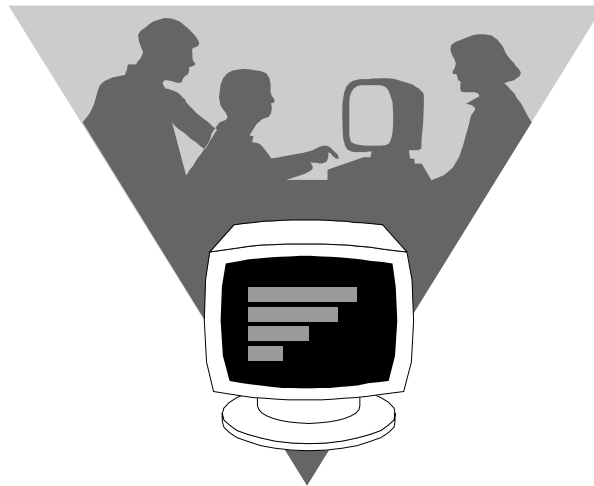


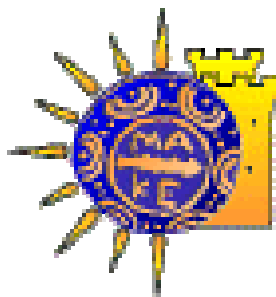
**ΣΑΜΟΥΗΛΙΔΗΣ ΣΑΜΟΥΗΛ**  
**ΑΜ : Μ8/98**

**Μεταπτυχιακό Τμήμα στα Πληροφοριακά Συστήματα**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Θέμα: Σχεδιασμός Δικτύων και Διαχείριση Πόρων



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**Θεσσαλονίκη 2000**

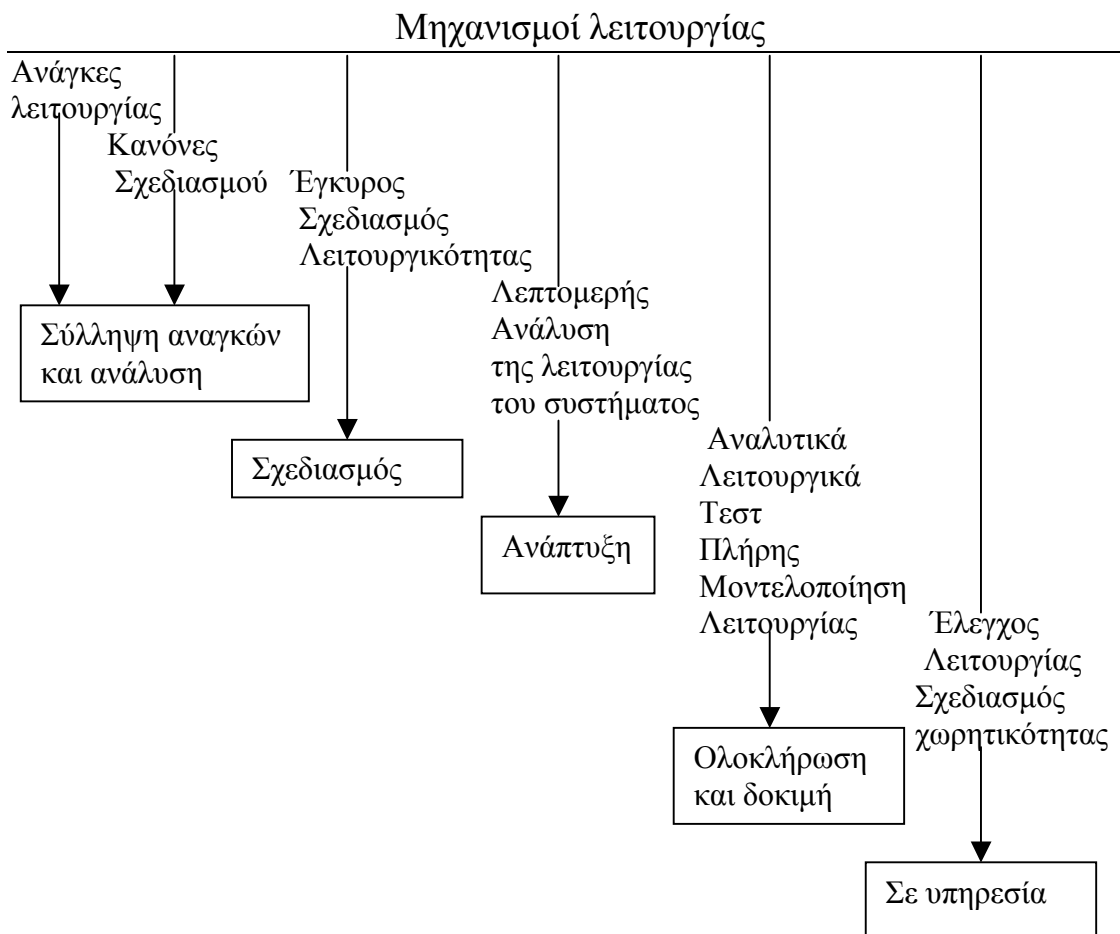
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον σχεδιασμό και τη μηχανική των νέων δικτύων που στοχεύουν στην εξυπηρέτηση των συνεχώς διαφορετικών και αυξανόμενων αναγκών των πελατών, παρουσιάζονται ευκαιρίες για νέες και πλούσιες αγορές, όπου θα αντικαθιστούνται τα παλιά προβληματικά συστήματα των δικτύων από τα καινούργια. Όσο η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών εξελίσσεται, οι πελάτες περιμένουν να νιώσουν τη στιγμιαία πρόσβαση στους παροχείς υπηρεσιών. Η λειτουργία του δικτύου υπαγορεύει ότι οι χρόνοι απόκρισης πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, να είναι εγκατεστημένη επαρκής εναλλακτική χωρητικότητα σε περίπτωση αποτυχίας, και να απαιτεί ελέγχους για τη διαχείριση έκτακτων περιπτώσεων οι οποίες απειλούν την ακεραιότητα του δικτύου. Ο σχεδιασμός ενός δικτύου που στηρίζεται στη μεθοδολογία «top down» και από άκρο σε άκρο παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην επίλυση προβλημάτων που συναντούν οι πελάτες. Είναι αναγκαίο να παίρνουμε υπ' όψιν διάφορες μίξεις σεναρίων, ανάγκες υπηρεσιών, την τοπολογία του φυσικού δικτύου, τις ροές μηνυμάτων, τη χάραξη των λειτουργικών οντοτήτων στα φυσικά στοιχεία του δικτύου, και τη δρομολόγηση ως μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού του δικτύου προκειμένου να υπάρχει η μέγιστη απόδοση με το δυνατότερο οικονομικό όφελος. Η χρήση των εργαλείων σχεδιασμού «what if» είναι απαραίτητα ως μέρος αυτής της διαδικασίας. Στη δουλειά που έχει να κάνει ο σχεδιαστής του συστήματος συναντά πολλές φορές τις συγκρούσεις μεταξύ της καλής λειτουργίας του δικτύου και της ευελιξίας των υπηρεσιών. Ιδιαίτερη και αναγκαία προσοχή πρέπει να δοθεί στην λειτουργία και στα ρίσκα που πρέπει να διευθετηθούν μέσα από τον κύκλο ζωής του δικτύου, από την έναρξη μέχρι τις υπηρεσίες του, για την διασφάλιση ενός ευέλικτου και αποδοτικού δικτύου. Απλά προσεγγιστικά μοντέλα λειτουργίας σε αρχικό στάδιο σ' αυτόν τον κύκλο ζωής είναι πολύτιμα για την ανεύρεση μεγίστων προβλημάτων λειτουργίας τα οποία επηρεάζουν το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής, για την ανάλυση συμφορήσεων και την ανάλυση των επιπτώσεων στο σχεδιασμό του δικτύου. Σημαντικά θέματα απόδοσης εμφανίζονται στην ευρεία μεγέθους σηματοδότηση. Πιθανές λύσεις περιλαμβάνουν τη χρήση της μέτα-σηματοδότησης για το διαμοιρασμό χωρητικότητας όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός πελατών και τη χρήση πληρεξούσιας σηματοδότησης για τη μείωση των καθυστερήσεων. Τέλος, τα διεθνή μηχανολογικά πρότυπα λειτουργίας έχουν ένα σημαντικό ρόλο για να επιτρέψουν τις από άκρο σε άκρο υπηρεσίες διαμέσου όλου του δικτύου, και να διευκολύνουν τον ανταγωνισμό. Παρ' όλο που υπάρχει ένα ευρύ πεδίο από εργαλεία και τεχνικές στο σχεδιασμό των δικτύων, υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η εισαγωγή νέων προγραμμάτων σχεδίασης δίνει τη δυνατότητα για πλούσιες ευκαιρίες αγοράς με ταχείς και ευέλικτες υπηρεσίες. Την ίδια στιγμή οι ανάγκες των πελατών θα αλλάζουν συνέχεια και θα αναπτύσσονται με την ολοένα αυξανόμενη απαίτηση της στιγμιαίας πρόσβασης στους παροχείς υπηρεσιών. Συγκεκριμένα οι χρόνοι απόκρισης πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, να είναι εγκατεστημένη επαρκής εναλλακτική χωρητικότητα σε περίπτωση αποτυχίας, και να υπάρχουν έλεγχοι για τη διαχείριση έκτακτων περιπτώσεων οι οποίες απειλούν την ακεραιότητα του δικτύου. Ο ρόλος του μηχανικού λειτουργίας δικτύων είναι πολύ σημαντικός όσον αφορά τη συμβολή του στην επιτυχία ενός συστήματος (δες σχήμα 1).

Οι ευκαιρίες για την εξέταση των θεμάτων λειτουργίας σε κάθε φάση του κύκλου ζωής πρέπει να εκμεταλλευθούν έτσι ώστε η λειτουργία να γίνει ένα έμφυτο μέρος του συστήματος και να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο αποτυχίας του και το κόστος του [1].

### Κύκλος ζωής πλατφόρμας [1]



Σχήμα 1

## 1.1 Θέματα Λειτουργικότητας Δικτύων

Ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο χρειάζεται να παρέχει ψηφιακές από άκρο σε άκρο υπηρεσίες σε απλούς ή σε επιχειρηματικούς πελάτες. Στις υπηρεσίες που είναι είτε στενής ζώνης είτε ευρείας ζώνης πρέπει να επιτρέπεται στους πελάτες ευθεία πρόσβαση στους παροχείς υπηρεσιών και σε μια ποικιλία από εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές είναι τυπικά αλληλεπιδρόμενες, όπως και πολυμεσικές. Οι τελευταίες απαιτούν μεγαλύτερο εύρος μπάντας συχνοτήτων απ' ότι οι συμβατές τηλεφωνικές υπηρεσίες.

Οι αποφάσεις όσον αφορά την πρόνοια για εφαρμογές στενής ή ευρείας ζώνης, «από άκρο σε άκρο» περιλαμβάνουν έναν αριθμό από εξισορροπήσεις, μεταξύ αυτού που μπορεί να επιτευχθεί και του κόστους της προκείμενης προσφοράς. Τα κύρια θέματα που περιέχονται στις περιοχές απόφασης είναι τα παρακάτω[1]:

- πώς οι πελάτες αναμένεται να κάνουν τις αιτήσεις τους για υπηρεσίες στο δίκτυο (π.χ. προβλέποντας τα χαρακτηριστικά του χρήστη-πελάτη),
- πώς θα επιβεβαιωθεί ότι οι πελάτες είναι ικανοποιημένοι και νιώθουν ότι αποκτούν αξίες για χρήματα (μέσω της αναγνώρισης και του ελέγχου των χαρακτηριστικών των πελατών),
- το κόστος παροχής υπηρεσιών διαφόρων επιπέδων,
- την τεχνολογική δυνατότητα.

Οι προηγούμενες ανάγκες απαιτούν τα παρακάτω τεχνολογικά ζητήματα :

- την αρχιτεκτονική του δικτύου και τη διαδικασία συναλλαγών,
- τα πρωτοκόλλα σηματοδότησης που χρησιμοποιούνται διαμέσου όλου του δικτύου για τον έλεγχο και την υποστήριξη υπηρεσιών «από άκρο σε άκρο»,
- σχεδιασμός χωρητικότητας,
- έλεγχοι κυκλοφορίας δικτύου.

Αυτά τα θέματα αναπτύσσονται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

### **1.1.1 Συμπεριφορά των πελατών και χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας**

Η κύρια δουλειά του σχεδιαστή του δικτύου είναι να φτιάξει ένα δίκτυο που να ικανοποιεί τις ανάγκες των πελατών στις υπηρεσίες που το δίκτυο προσφέρει. Έτσι οι ανάγκες των πελατών είναι μια σημαντική εισαγωγή στη διαδικασία του μεγέθους και του σχεδιασμού της χωρητικότητας του δικτύου.

Εκτιμήσεις και προβλέψεις της προσφερόμενης κυκλοφορίας είναι αρχικά τα μόνα αναγκαία δεδομένα που διατίθενται για τη διαδικασία σχεδιασμού. Οι εκτιμήσεις χρειάζονται στο να καλύψουν και τις κυκλοφοριακές ανάγκες που αντιπροσωπεύουν πρόσβαση σε μια υπηρεσία, και η ανάγκη σηματοδότησης για τον έλεγχο της υπηρεσίας.

#### **i) Κυκλοφοριακές ανάγκες**

Μερικές υπηρεσίες υπάρχουν ήδη, αλλά άλλες είναι επίσης έτοιμες να παρουσιαστούν. Ωστόσο σ' όλες τις περιπτώσεις, οι προτιμήσεις των πελατών στις μελλοντικές υπηρεσίες είναι αβέβαιες.

Για τις υπάρχουσες υπηρεσίες, οι τεχνικές πρόβλεψης μπορούν να δείξουν πραγματικές εκτιμήσεις για τις μελλοντικές ανάγκες. Για τις νέες υπηρεσίες ωστόσο που δεν είναι τόσο εύκολες, τα πρότυπα κλήσης μπορεί να είναι πολύ διαφορετικά από τις συμβατές υπηρεσίες. Η έρευνα αγοράς και οι μελέτες πρόγνωσης μπορούν να δείξουν πιθανές ευκαιρίες για αγορές όπως π.χ. σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές, πελάτες σε διαφορετικές δημογραφικές περιοχές κ.α. Αυτό που δεν είναι εύκολο να προβλεφτεί είναι ο τρόπος με τον οποίο οι πελάτες θα κάνουν χρήση μιας καινούργιας υπηρεσίας. Για παράδειγμα, πόση ώρα θα σπαταλήσει ένας πελάτης παρακολουθώντας βίντεο; Πότε διατίθενται οι πελάτες να παρακολουθούν περισσότερο;

Οι κυκλοφοριακές ανάγκες καλύπτουν τον πιθανό αριθμό των κατειλημμένων περιόδων μιας ημέρας, στις μεταβολές στο συγχρονισμό, στη διάρκεια και στη γεωγραφία. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ενωθούν μαζί με [1]:

- τον αριθμό των πελατών σε καθορισμένες γεωγραφικές περιοχές που είναι συνδρομητές σε μια υπηρεσία,
- τον αριθμό των πελατών που ταυτόχρονα απαιτούν υπηρεσίες σε μια κατειλημμένη περίοδο,
- το πόσες φορές ένας πελάτης είχε πρόσβαση σε μια υπηρεσία σε κατειλημμένη περίοδο,
- τη χρονική διάρκεια που ένας πελάτης έχει πρόσβαση σε μια υπηρεσία.

## ii) Αίτηση σηματοδότησης

Οι εκτιμήσεις για αίτηση σηματοδότησης περιλαμβάνουν επιπρόσθετες πληροφορίες για τη συμπεριφορά του καταναλωτή. Για παράδειγμα, πόσο συχνά οι πελάτες αλλάζουν το κανάλι μιας τηλεόρασης στη διάρκεια μιας μέρας; Έξτρα πληροφορίες που απαιτούνται είναι [1]:

- για τη συχνότητα με την οποία ένας τυπικός πελάτης έχει πρόσβαση σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό μιας υπηρεσίας (π.χ. μια αλλαγή σ' ένα κανάλι, ανακαθορισμός ενός προορισμού κ.α.),
- για τη σηματοδοτούμενη κυκλοφορία (μηνύματα, διάρκεια μηνυμάτων) που υποστηρίζει πρόσβαση σε υπηρεσίες και σε κάθε χαρακτηριστικό της υπηρεσίας.

### 1.1.2 Η απόδοση του δικτύου, όπως τη νιώθει ο πελάτης

Η ικανοποίηση του πελάτη για μια υπηρεσία επηρεάζεται επί μέρους από την αποδοτικότητα του δικτύου. Οι μετρήσεις κλειδιά είναι [1]:

- η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση,
- η διαθεσιμότητα του δικτύου.

## i) Από άκρο σε άκρο καθυστέρηση

Η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση είναι αυτή που αισθάνεται ο πελάτης, ανάμεσα στην αίτηση του πελάτη και στο αποτέλεσμα που παρουσιάζεται. Πολλές υπηρεσίες θα γίνουν αρκετά αλληλεπιδρόμενες, και η καθυστέρηση για αλλαγή επιλογών μέσω ενός μενού θα είναι επίσης σημαντική.

Οι πελάτες έχουν εξοικειωθεί με στιγμιαίες χρονικές αποκρίσεις στις τηλεφωνικές υπηρεσίες. Όσο νέες και περισσότερο περίπλοκες υπηρεσίες εισάγονται, ο καταναλωτής θα περιμένει ότι οι χρόνοι απόκρισης θα παραμείνουν ίδιοι. Έτσι οι νέες πλατφόρμες δικτύων έχουν χρονικές αναμονές απόκρισης μερικών εκατοντάδων milliseconds. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, στην πράξη, απαιτείται μια εκτεταμένη ρύθμιση της λειτουργικότητας του δικτύου.

Οι χρονικές αποκρίσεις που γίνονται αντιληπτές από τον πελάτη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις 3 παρακάτω περιοχές [2]:

- την πράσινη περιοχή, όπου υπάρχει μικρό περιθώριο στη βελτίωση των χρόνων απόκρισης, έτσι ώστε οι πελάτες να μην το αισθανθούν,

- τη κίτρινη περιοχή, όπου οι χρόνοι απόκρισης γίνονται γενικά αποδεκτά στους πιο πολλούς πελάτες, αλλά μια βελτίωση θα γίνει αισθητή,
- την κόκκινη περιοχή, όπου στην πλειοψηφία των πελατών οι χρόνοι απόκρισης είναι μη αποδεκτοί.

Ο βέλτιστος λόγος «απόδοση /κόστος» υπάρχει στην πράσινη ή στην κίτρινη περιοχή.

## ii) Διαθεσιμότητα

Η διαθεσιμότητα αναφέρεται σαν το κλάσμα του χρόνου στο οποίο ο πελάτης δέχεται μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Οι πελάτες έχουν εξοικειωθεί σε εξαιρετικά επίπεδα διαθεσιμότητας στις τηλεφωνικές υπηρεσίες, και θα περιμένουν ίδια «καλή μεταχείριση» και στις άλλες υπηρεσίες. Για προηγμένες υπηρεσίες με μεγάλης χρονικής διάρκειας κρατήσεις όπως π.χ. βίντεο κατά παραγγελία, η διαθεσιμότητα γίνεται ιδιαίτερα σημαντική στο να ολοκληρωθούν επιτυχώς μεγάλος αριθμός παρουσιάσεων.

Για τις πιο περίπλοκες, νεότερες υπηρεσίες, υπάρχουν πολλά περισσότερα συστατικά στοιχεία του δικτύου που παίρνουν μέρος, όπου μερικά απ' αυτά είναι αρκετά εξειδικευμένα, και όλα αυτά ρέπουν σε αποτυχία. Επομένως συνεπάγεται ότι απαιτείται πρωτοποριακή μηχανική δικτύων, προκειμένου να προσφερθεί στους πελάτες υψηλής στάθμης διαθεσιμότητα, και αυτή θα είναι η διαφοροποίηση μεταξύ των ανταγωνιστικών λειτουργιών του δικτύου και τους παροχείς υπηρεσιών.

### 1.1.3 Θέματα μηχανικής δικτύων

#### i) Αρχιτεκτονική δικτύων

Η αρχιτεκτονική δικτύων παίζει ένα μεγάλο μέρος στον καθορισμό της καθυστέρησης που γίνεται αντιληπτή από τους καταναλωτές και την προσαρμοστικότητα του δικτύου.

Ένα από τα κύρια θέματα είναι η χάραξη των λειτουργικών διαδικασιών στα φυσικά συστήματα και η αποφυγή των συμφορήσεων εξαιτίας των κυκλοφοριακών προτύπων που σχεδιάστηκαν. Ως μέρος αυτού, η ευφυία μπορεί να συγκεντρωθεί μέσα στο δίκτυο ή να διανεμηθεί περιφερειακά, κοντά στον καταναλωτή. Η συγκέντρωση έχει πλεονεκτήματα εκεί που υπάρχει μεγάλος αριθμός από καταναλωτικά δεδομένα που πρέπει να διαχειριστούν. Ωστόσο, εκεί που υπάρχουν σχετικά μικρές ποσότητες δεδομένων λίγων πελατών, οι καθυστερήσεις μπορούν να μειωθούν, κρατώντας τα δεδομένα κοντά στα σημεία εξυπηρέτησης των πελατών όπως π.χ. για αριθμητική μετάφραση [1].

## ii) Ευελιξία και διαθεσιμότητα

Η ευελιξία των υπηρεσιών, όπως τις βλέπει ο καταναλωτής, επηρεάζεται από [1]:

- τη διαθεσιμότητα της εφαρμοζόμενης υπηρεσίας, και
- τη διαθεσιμότητα του δικτύου μεταξύ του πελάτη και του παροχέα υπηρεσιών.

Ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να σχεδιάσει μόνο το τελευταίο.

Η ευελιξία του δικτύου στις αποτυχίες επηρεάζεται σημαντικά από την αρχιτεκτονική του δικτύου και τους ελέγχους αυτόματης επαναφοράς. Τυπικά, υψηλότερα επίπεδα της διαθεσιμότητας του δικτύου μπορούν να επιτευχθούν με σημαντικά αυξημένο κόστος, το οποίο όμως πρέπει να μεταφερθεί στους καταναλωτές.

Το διαθέσιμο κόστος κατά συνέπεια έχει μεγάλη επιρροή στο δείκτη αγοράς εκεί που η υπηρεσία είναι ελκυστική. Τεχνικές σχεδιασμού για προώθηση της ευελιξίας περιλαμβάνουν την πρόγνωση εναλλακτικών δρομολογήσεων (αυτόματα σχήματα αναδρομολόγησης μπορούν να είναι στατικά ή δυναμικά π.χ. [3]), και αυτόματης αναδιαμόρφωσης όπου τα κόστη δεν είναι απαγορευτικά. Όπου αυτό δεν είναι δυνατό λόγω κόστους, η ευελιξία πρέπει να χτιστεί στα εξοπλιστικά μέσα που χρησιμοποιούνται όπως π.χ. με χορήγηση μη-διακοπτόμενης παροχής ρεύματος και πλεοναζόντων καρτών.

## iii) Χρόνοι απόκρισης

Η αισθητή χρονική καθυστέρηση στον καταναλωτή επηρεάζεται από δύο παράγοντες [1]:

- την ποσότητα της κυκλοφορίας που παράγεται από τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν την υπηρεσία, η οποία επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία ο παροχέας υπηρεσίας θα μπορεί να ανταποκριθεί στις αιτήσεις, και
- τη σηματοδότηση μεταφοράς και τη διαδικασία καθυστέρησης μέσα στο δίκτυο και την πλατφόρμα του.

Η διαδικασία σχεδιασμού δικτύων χρειάζεται να εφαρμόσει την ίδια αρχιτεκτονική μαζί στο δίκτυο μεταφοράς και σηματοδότησης. Οι καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο μέσα στο δίκτυο κάτω από φυσιολογικές διαδικασίες εξαρτώνται από [1]:

- την αρχιτεκτονική του δικτύου σηματοδότησης,
- την τοποθεσία της διαδικασίας,
- πώς το δίκτυο επεκτάθηκε και που υπάρχουν συμφορήσεις.



Ξέροντας τη στοχαστική φύση της συμπεριφοράς των καταναλωτών και το φορτίο εξάρτησης από το σύστημα είναι σοφό να κοιτάζουμε την κατανομή του χρόνου απόκρισης, παρ' ότι το μέσο όρο της. Είναι καλή άσκηση να συμφωνήσουμε σε μια αξίωση στην ουρά της κατανομής, για να οριοθετήσουμε τη χρονική απόκριση για μερικές από τις χειρότερα επηρεαζόμενες κλήσεις π.χ. το 95% διάστημα εμπιστοσύνης της κατανομής του χρόνου απόκρισης. Δεν βοηθάει να έχουμε αξιώσεις που θέτουν ένα μέγιστο όριο στο χρόνο απόκρισης καθώς αυτό δεν είναι έγκυρο.

Η κατανομή των απαιτούμενων χρόνων απόκρισης στους επεξεργαστές που περιλαμβάνονται στη πλατφόρμα του δικτύου μας βοηθάει να προωθήσουμε συγκεκριμένους στόχους για κάθε συστατικό στοιχείο του δικτύου που παίρνει μέρος στη διαδικασία κλήσης.

#### **iv) Χωρητικότητα, αποδοτικότητα και διαβάθμιση**

Η αισθητή από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συνδέεται στενά με την χωρητικότητα που παρέχει το δίκτυο για την υποστήριξη μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Όσο οι ανάγκες προσεγγίζουν το σχεδιασμό της χωρητικότητας, η καθυστέρηση ενός συστήματος μειώνεται κάθετα. Ένα λειτουργικό σημείο πρέπει να τοποθετείται εκεί που τα λειτουργικά κόστη του δικτύου ελαχιστοποιούνται ενώ η αισθητή καθυστέρηση παραμένει αποδεκτή.

Δεδομένου ότι η ανάληψη μιας νέας υπηρεσίας μπορεί να μην εμμένει στις προβλέψεις, είναι ζωτικό για την ευελιξία του δικτύου, να φτιαχτεί μέσα στη σχεδίαση για να επιτραπούν αβέβαιες κυκλοφοριακές αυξήσεις στη διάρκεια του χρόνου, και τη χωρητικότητα που πρέπει να προστεθεί στιγμιαία αν η ανάληψη είναι γρηγορότερη από την προσδοκώμενη. Θα μπορούσε να υπάρξει ένα δημόσιο χάος για το διαχειριστή του δικτύου αν η ανάγκη ξεπεράσει τη χωρητικότητα σε μια αξιοπρόσεκτη περίοδο του χρόνου. Τα θέματα χωρητικότητας έχουν να κάνουν με τα εξής [1]:

- η συγκεντρωμένη αρχιτεκτονική της πλατφόρμας του δικτύου υπονοεί την απαιτούμενη υψηλή χωρητικότητα, έτσι ώστε να προσαρμοστεί στην βαθμωτή αύξηση της κυκλοφορίας του.
- μπορεί να χρειαστεί υψηλή σύμπτωση κλήσεων, ειδικά για υπηρεσίες όπου το γενικό πλαίσιο κρατείται στην πλατφόρμα του δικτύου για τη διάρκεια της κλήσης. Η χρήση κατάτμησης μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της υψηλής σύμπτωσης.
- η διαβάθμιση είναι επίσης μια αναγκαιότητα, από την 1<sup>η</sup> μέρα εφαρμογής σε ένα σύστημα, πιθανόν 10 φορές παραπάνω από την χωρητικότητα. Περιορισμοί γι' αυτό το στόχο είναι:

- οι συμφορήσεις του συστήματος, του οποίου η χωρητικότητα δεν μπορεί να αυξηθεί,
  - η υφιστάμενη αρχιτεκτονική η οποία μπορεί να μην υποστηρίζει την αύξηση της χωρητικότητας (π.χ. αν αυτό βασίζεται σε μη κατανεμημένα δεδομένα ή διαδικασίες). Μέρος των δεδομένων του καταναλωτή αυξάνει βαθμωτά, αλλά επιφέρει μια γενική αποδοτικότητα στη διαχείριση των δεδομένων,
  - η διαβάθμιση ενός κατανεμημένου συστήματος συνήθως καθορίζεται από το επίπεδο της διαχείρισης του συστήματος και των επικοινωνιών (συμπεριλαμβάνοντας τη διαχείριση δεδομένων), η οποία θα μπορούσε να αυξηθεί ανεξέλεγκτα όσο το σύστημα επεκτείνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο μέγεθος.
- είναι απαραίτητο να σιγουρέψουμε ότι η αντιληπτή απόδοση του δικτύου στον πελάτη των υπαρχόντων υπηρεσιών δε συμβιβάζεται με την εισαγωγή μιας νέας υπηρεσίας,
  - το μη-κυκλοφορούν σχετικό φορτίο πρέπει επίσης να μελετηθεί. Αυτό μπορεί να καταναλώσει ένα σημαντικό μέρος των διαδικαστικών πόρων, και θα πρέπει να συμπεριληφθεί στο λειτουργικό μοντέλο,
  - η υπάρχουσα τεχνολογία προωθώντας ένα Αξιόπιστο Κατανεμημένο Περιβάλλον (όπως ένα ORB) επιφέρει μια σημαντική απόδοση η οποία μπορεί να είναι αρκετά υψηλή για χρήση σε πραγματικού χρόνου τηλεπικοινωνιακές λειτουργίες.

Άλλα θέματα κλειδιά είναι οι ιδιότητες της διαδικασίας και ο προγραμματισμός και η καταλληλότητα του UNIX για πραγματικού χρόνου τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

#### **v) Έλεγχος υπερφόρτωσης**

Στο σημερινό κόσμο των ταχέως αναπτυσσόμενων υπηρεσιών και ανάπτυξης, και των συχνά διεγερόμενων γεγονότων, ο έλεγχος υπερφόρτωσης είναι θεμελιώδης στο να κρατηθούν οι αισθητές αποδόσεις του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Ένα συγκεκριμένο πρόβλημα προκύπτει όταν παρουσιάζονται εστιαζόμενες υπερφορτώσεις· αυτές μπορούν να επιφέρουν ευρεία συμφόρηση και μπορεί να καταρρεύσει το δίκτυο.

Είναι σημαντικό για ένα ευρέως μεγέθους δίκτυο ο έλεγχος υπερφόρτωσης. Αρκετά σχήματα για έλεγχο υπερφόρτωσης, το καθένα απομονωμένο από τα άλλα, μπορεί να μη φέρει τα καλύτερα αποτελέσματα [4]. Ένα σχήμα ελέγχου υπερφόρτωσης έχει τους παρακάτω στόχους:

- διατήρηση της ακεραιότητας του δικτύου και της πλατφόρμας κάτω από υψηλό φορτίο,
- μεγιστοποίηση του κέρδους με τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικής κυκλοφορίας.

Είναι καλά κατανοητό ότι, χωρίς τον έλεγχο του φορτίου, η μεταφερόμενη κυκλοφορία πέφτει ενώ η προσφερόμενη κυκλοφορία ανεβαίνει πέρα από τα όρια της χωρητικότητας όπως π.χ. το σύνδρομο της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ωστόσο τα στοιχεία του δικτύου τοποθετούνται (π.χ. στην πλατφόρμα του δικτύου και, στην περίπτωση των εστιαζόμενων υπερφορτώσεων, στους τερματικούς πόρους), η χωρητικότητα θα ξεπεραστεί από συγκεκριμένες ακολουθίες γεγονότων. Έτσι οι παρακάτω τύποι ελέγχου είναι απαραίτητοι [1]:

- ο έλεγχος προορισμού (για την οριοθέτηση της ποσότητας της κυκλοφορίας που στέλνεται σε ένα δοσμένο δίκτυο από γραμμές),
- ο έλεγχος της πηγής της πλατφόρμας του δικτύου (για να αποτραπεί η αποστολή κυκλοφορίας από τα SSPs στην πλατφόρμα του δικτύου όταν υπάρχει υπερφόρτωση).

Ιδανικά, μια βαθμωτή προσέγγιση πρέπει να υιοθετηθεί, με την οποία μια «μικρή» υπερφόρτωση τοπικά, αλλά «πιο σημαντικές» υπερφορτώσεις διαχειρίζονται βηματικά, όπως π.χ. περιορισμός των κλήσεων (στην πλατφόρμα του δικτύου) σε ένα συγκεκριμένο αριθμό υπερφόρτωσης, ή περιορισμός (στα SSP) των κλήσεων σε μια υπερφορτωμένη πλατφόρμα του δικτύου. Ακόμα, για μεγάλες υπερφορτώσεις, ο περιορισμός των κλήσεων κοντά στην πηγή της κυκλοφορίας είναι θεμελιώδης για την προστασία της ακεραιότητας του πυρήνα του δικτύου.

Μία συνεργαζόμενη στρατηγική ελέγχου είναι απαραίτητη στο ότι οι έλεγχοι σε διαφορετικά στοιχεία του δικτύου, σε διαφορετικά επίπεδα του πρωτοκόλλου, και μαζί με διαφορετικά προϊόντα, θα δουλέψουν μαζί σ' όλο το δίκτυο.

Τα θεμελιώδη στοιχεία αυτού του σχήματος ελέγχου είναι [1]:

- ταχύς εντοπισμός υπερφόρτωσης,
- αναγνώριση των αριθμών κλήσεων που προκάλεσαν την υπερφόρτωση,
- περιορισμός της κυκλοφορίας στους αριθμούς κλήσεων που επηρεάζουν τα σημεία που υπάρχει υπερφόρτωση (για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα leaky bucket σχήμα ),
- δυναμικές αλλαγές στο επίπεδο περιορισμών όσο η υπερφόρτωση αυξάνει.

Ο έλεγχος υπερφόρτωσης σε ευρέως μεγέθους δίκτυα έχει μια επιπρόσθετη διάσταση, γιατί οι κλήσεις θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ευρύ φάσμα ζώνης [5].

#### **vi) Τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών ευρείας ζώνης**

Ένα σημαντικό θέμα είναι η καταλληλότητα της διεπαφής του χρήστη με το δίκτυο, δηλαδή η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο συμβατικών POTS και σε υπηρεσίες ευρείας ζώνης, και όποτε μια ολοκληρωμένη διεπαφή μπορεί να υποστηριχτεί χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες τεχνολογίες [1]. Για παράδειγμα, υπάρχουν σκέψεις για το αν το ISDN μπορεί να υποστηριχτεί από την τεχνολογία πρόσβασης ADSL, λόγω του υπερκεράσματος του φάσματος συχνοτήτων που απαιτούνται. Εναλλακτικοί τρόποι τηλεπικοινωνιών είναι λύσεις βασισμένες στο ATM και στο IP. Το ATM είναι πιο ευέλικτο και γενικό, αλλά οι επικοινωνίες με βάση το IP έχουν ήδη εφαρμοσθεί και δείχνουν ανάπτυξη. Εφαρμόζοντας το IP σε δίκτυα ATM είναι μια άποψη, αλλά έχει το μειονέκτημα αύξησης της στοίβας του πρωτοκόλλου.

#### **vii) Σηματοδότηση για υπηρεσίες ευρείας ζώνης**

Η σηματοδότηση για στενής ζώνης δίκτυα έχει αρχίσει να εγκαθίσταται ταχέα και να γίνεται καλά κατανοητή [6]. Ωστόσο, η σηματοδότηση ευρείας ζώνης είναι ακόμα στα σπάργανα. Θέματα κλειδιά για σηματοδότηση σε ευρείας ζώνης δίκτυα περιγράφονται παρακάτω.

Περιορισμοί, στις καθυστερήσεις που είναι αποδεκτές από τους καταναλωτές σημαίνει ότι κάποιες στοίβες πρωτοκόλλου έγιναν πολύ μεγάλες. Για παράδειγμα, το Q.2931 [7] είναι τόσο «βαρύ», έτσι ώστε είναι δυσκίνητο για να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών (δεν μπορεί να παράσχει σηματοδότηση κι απ' τις δύο κατευθύνσεις για αλληλεπιδρόμενες υπηρεσίες, ενώ ούτε μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλές συνδέσεις π.χ. για βίντεο και μουσική).

Οι εναλλακτικές λύσεις στα πρωτόκολλα είναι για να περιορίζουν την πρόσβαση (σηματοδότηση proxy), όπου ο εξοπλισμός του πελάτη αντιλαμβάνεται μια υποομάδα μίας γεμάτης στοίβας πρωτοκόλλου. Αυτό βελτιώνει την λειτουργικότητα των καθυστερήσεων χωρίς να μειώνεται η λειτουργία των CPE, αλλά εισάγεται μία έξτρα διεπαφή σηματοδότησης μέσα στο δίκτυο.

Παραπέρα, ο Τομέας Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (Telecommunications Standardization Sector) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union ή ITU-T) [8]

αντιμετωπίζει μια δύσκαμπτη πρόκληση να αναπτύξει πρότυπα στα χρονικά περιθώρια που επιτρέπει η αγορά των υπηρεσιών ευρείας ζώνης.

Η χρήση των μη-ITU-T προτύπων σηματοδότησης θα επέτρεπε πιο νωρίς την εισαγωγή νέων υπηρεσιών, αλλά θα απαιτούσε επίσης τη χρήση ειδικών διεπαφών σηματοδότησης μέσα στο δίκτυο, το οποίο θα κόστιζε και θα παρεμπόδιζε την ανάπτυξη όλου του μέσου σε μακροχρόνια κλίμακα.

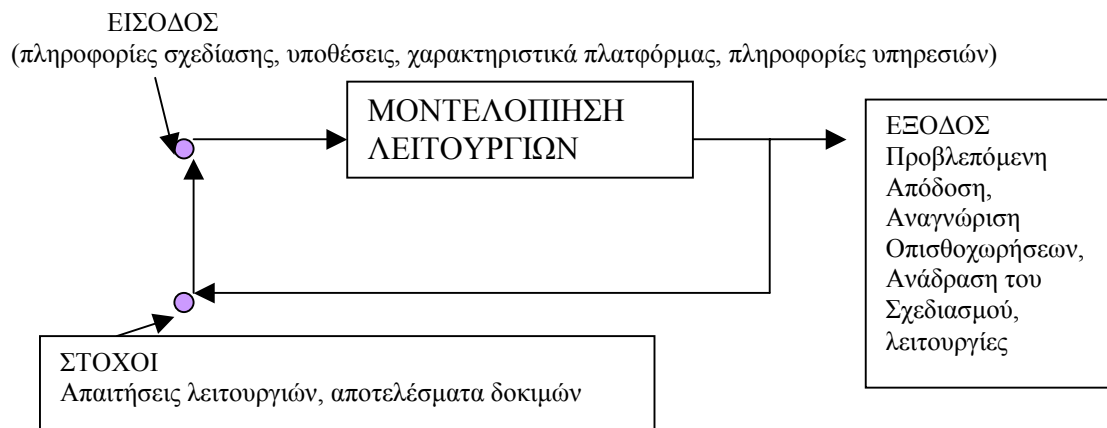
## **1.2 Διαδικασία μοντελοποίησης λειτουργιών**

Ο σκοπός της «μοντελοποίησης λειτουργιών» είναι να εκτιμήσει την πιο πρόσφατη ευκαιρία κατά την οποία προτάσεις για νέες ή για μετατρεπόμενες υπηρεσίες ή για τον σχεδιασμό ενός δικτύου ή μιας πλατφόρμας θα συμφωνήσουν με τις απαιτούμενες αποδόσεις. Οι πληροφορίες που εξάγονται, στέλνονται πίσω και χρησιμοποιούνται από την ομάδα σχεδιασμού του συστήματος. Η μοντελοποίηση έχει το επιπρόσθετο πλεονέκτημα της ικανότητας να εγκρίνει την ακεραιότητα του δικτύου και της πλατφόρμας του κάτω από πολλές διαφορετικές περιβαλλοντολογικές συνθήκες που θα μπορούσαν να καταναλώνουν πολύ χρόνο ή να τα καταφέρουν δύσκολα χρησιμοποιώντας το πραγματικό σύστημα.

Στον τομέα της αποδοτικότητας, η μοντελοποίηση χρησιμοποιείται κυρίως στο να αναγνωρίζει συμφορήσεις και να προτείνει εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που προκύπτουν.

### **1.2.1 Πώς εφαρμόζεται η μοντελοποίηση**

Το σχήμα 2 δείχνει τον επαναληπτικό βρόχο μοντελοποίησης λειτουργιών που υπάρχει μέσα στον κύκλο ζωής (δες σχήμα 1) [1]. Όσο η σχεδίαση προχωρεί και ωριμάζει το μοντέλο μπορεί επαναλαμβανόμενα να ανανεώνεται και να ρυθμίζεται έτσι ώστε να περιλαμβάνει λεπτομερή χαρακτηριστικά των συστατικών του στοιχείων. Η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα του μοντέλου θα αυξάνει όσο οι υποθέσεις θα αντικαθιστούνται από γνωστά ή μετρήσιμα δεδομένα. Η συμπεριφορά κάτω από διάφορα σενάρια επιφόρτωσης θα προβλέπεται, και ενδεχόμενες οπισθοχωρήσεις ή συμφορήσεις στο σχεδιασμό του συστήματος ή της αρχιτεκτονικής θα αναγνωρίζονται και θα επιστρέφεται πίσω στην ομάδα σχεδίασης.



Σχήμα 2 [1]

Υπάρχει μία συμβολική σύνδεση μεταξύ του μοντέλου λειτουργιών και της δοκιμασίας αυτών. Η μοντελοποίηση κατά τη φάση της ανάπτυξης μπορεί να προβλέψει την θέση ενδεχόμενων συμφορήσεων, και έτσι να υποδείξει ειδική διαμόρφωση για τις δοκιμές των λειτουργιών. Αντίστροφα, τα αποτελέσματα από αυτά τα τεστ παρέχουν δεδομένα για ανατροφοδότηση στα μοντέλα λειτουργιών. Αυτό βοηθάει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών των τεστ και παρέχει μια καλή ένδειξη για το πόσο ακριβή είναι αυτά τα μοντέλα, ανάλογα με το αν επαληθεύουν ή όχι τις υποθέσεις μας.

Η μοντελοποίηση λειτουργιών μέσα από τον κύκλο ζωής του έργου μπορεί να επιβεβαιώσει ότι οι στόχοι πετυχαίνονται και επιλέγονται λογικές λύσεις σχεδιασμού, έτσι ώστε να μειώνονται τα κόστη αποτυχίας. Κυριότερα, τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα με μικρότερο κόστος επιτυγχάνονται με τη χρήση τεχνικών μοντελοποίησης στην πιο πρόσφατη δυνατή ευκαιρία π.χ. στη φάση σχεδιασμού.

### 1.2.2 Εργαλεία για σχεδιασμό δικτύων

Υπάρχει μία κλάση εργαλείων μοντελοποίησης δικτύων η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει μια «ταχέως πρωτότυπη» προσέγγιση σε πολλές σημαντικές πλευρές του σχεδιασμού δικτύων, παρέχοντας στους χρήστες με το βρόχο *σχεδίασε, πρόβλεψε, σύγκρινε* με κύκλο χρόνου μετρημένο σε λεπτά, απ' ό,τι σε ώρες ή μέρες. Τέτοια εργαλεία επιτρέπουν την εύκολη διαχείριση εισαγωγής παραμέτρων, ταυτόχρονα από τους μηχανικούς λειτουργιών και από τους σχεδιαστές δικτύων το ίδιο, και να παράγουν ταχείες προβλέψεις σε τέτοια μορφή που να είναι έτοιμα κατανοητή.

Αυτά αναφέρονται σαν «what if» εργαλεία σχεδιασμού δικτύων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη μιας ευρείας γκάμας από μελέτες [9], περιλαμβάνοντας και ανάλυση ευαισθησίας,

αισθητές καθυστερήσεις στον πελάτη, ανάλυση συμφορήσεων, εξάντληση χωρητικότητας, και απλός ή πολλαπλός τρόπος ανάλυσης αποτυχίας. Έτσι, αυτοί οι τύποι μελετών συχνά ανατρέφονται μέσα σ' όλες τις δραστηριότητες σχεδιασμού, και άρα βοηθούν στην ανάπτυξη ανταγωνιστικών ευκαιριών. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων στη φάση σχεδιασμού που πλεονεκτούν από τα εργαλεία μοντελοποίησης «what if» δίνονται παρακάτω.

### **i) Απαιτήσεις υψηλού επιπέδου εργαλείων**

Για να γίνουν πιο αποτελεσματικά τα εργαλεία σχεδιασμού «what if» πρέπει να παρουσιάσουν μία υψηλού επιπέδου άποψη του προβλήματος, έτσι ώστε να απομονώσει τον χρήστη από την πολυπλοκότητα του να φτιάχνεις ακόμα και μικρής κλίμακας αλλαγές του μοντέλου των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ομάδα χαρακτηριστικών τέτοιων εργαλείων περιλαμβάνει: μηχανισμούς που επιτρέπουν γρήγορες αλλαγές σε μερικές ή όλες τις παραμέτρους – κλειδιά των Ευφυών Δικτύων και τις υπηρεσίες που προσφέρουν.

### **ii) Μελέτες ανάπτυξης περιβάλλοντος**

Προκειμένου να υποστηριχτούν οι διάφορες προσεγγίσεις σε μία σχεδίαση «what if» δικτύων όπως περιγράφηκαν παραπάνω, τα παρακάτω στοιχεία πρέπει να παρουσιαστούν στο επιλεγμένο περιβάλλον ανάπτυξης: ένα εργαλείο Graphical User Interface το οποίο θα υποστηρίζει την κατασκευή και διαχείριση γραφικών οντοτήτων, όπως επίσης το συνηθισμένο πλαίσιο διαλόγου και μενού κατασκευής χαρακτηριστικών & έναν ερμηνευτή κανόνων & εύκολη πρόσβαση σε εξωτερικά αρχεία και /ή σε βάσεις δεδομένων, για να επιτρέπεται στις περιγραφές των δικτυακών υπηρεσιών να σώζονται ή να επαναφορτώνονται [1].

Το παράδειγμα του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού είναι μια φυσική επιλογή, λόγω των σχέσεων που υποστηρίζει όπως «είναι ένα» ή «έχει μέρη», οι οποίες διευκολύνουν την κατασκευή και των περίπλοκων υπηρεσιών και των περιγραφών του δικτύου. Παραπέρα, η επιλογή μιας γλώσσας αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού η οποία επιτρέπει τη δημιουργία νέων κλάσεων (για παράδειγμα, μια νέα κατηγορία Σημείου Σηματοδοσίας) στο χρόνο εκτέλεσης, επιτρέποντας στο χρήστη να πειραματιστεί είτε με νέους είτε με διάφορους τύπους δικτυακών στοιχείων.

### **iii) Σενάριο μίξης υπηρεσιών**

Το σενάριο μίξης υπηρεσιών είναι το ποσοστό κλήσεων που πηγαίνουν σε κάθε έγκυρη ροή μέσω μιας δοσμένης υπηρεσίας. Παραδείγματα τέτοιων ροών είναι «μη επιστροφή τόνου», «επιτυχία», «εσφαλμένη Προσωπική Αναγνώριση Αριθμού». Στην έναρξη μιας υπηρεσίας είναι δύσκολο να προβλεφθούν τα αρεστά ποσοστά, έτσι ώστε η ικανότητα να κρατηθούν όλοι οι παράγοντες अपαράλλακτοι, ενώ η εναλλαγή του ποσοστού των κλήσεων που πηγαίνουν σε κάθε ροή είναι πολύ ισχυρή [1].

### **iv) Απαίτηση υπηρεσιών**

Για να αποφευχθεί η ανάγκη αντιπροσώπευσης σε κάθε Σημείο Τέλους Σηματοδότησης (Signalling End Point), δύο αποτελεσματικές απλουστεύσεις πρέπει να υιοθετηθούν. Πρώτον, η τοποθέτηση μίας απλής σειράς πληκτρολογημένων ψηφίων σε κάθε Σημείο Τέλους Σηματοδότησης για κάθε υπηρεσία η οποία μπορεί να τερματιστεί σ' αυτό. Δεύτερον, διαχωρίζοντας τα Σημεία Τέλους Σηματοδότησης σε «ρεαλιστικά» και «μη ρεαλιστικά», όπου τα πρώτα κάνουν αντιπροσωπευτικές αιτήσεις σε υπηρεσίες που τερματίζονται από το ένα στο άλλο, και τα δεύτερα κάνουν για τα Σημεία Τέλους Σηματοδότησης που έχουν παραβλεφθεί. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρουσιαστεί ένα ρεαλιστικό υπόβαθρο φορτίου στο μοντέλο του δικτύου σαν όλο, επιτρέποντας τις επιρροές ποικίλων αιτήσεων που φτιάχνονται σε «ρεαλιστικά» Σημεία Τέλους Σηματοδότησης να φαίνονται σ' αυτό το γενικό πλαίσιο, παρά σε απομόνωση [1].

Οι διακλαδώσεις της αλλαγής αιτήσεων εξυπηρέτησης μπορούν να μελετηθούν με κατασκευή ενός πίνακα αιτήσεων δια των Σημείων Τέλους Σηματοδότησης, για κάθε υπηρεσία Ευφυούς Δικτύου που μοντελοποιείται.

Η χρήση των πινάκων των αιτούμενων υπηρεσιών (ή κάποιου παρόμοιου μηχανισμού) δίνει μία ψηφιδωτή προσέγγιση για την τοποθέτηση ολόκληρη τη μίξη των υπηρεσιών που θεωρούμε.

### **v) Τοπολογία του φυσικού δικτύου**

Λόγω της απανταχού παρουσίας των Windows, εικονιδίων, μενού, και δεικτών, στα οποία στηρίζεται το σύγχρονο υπολογιστικό περιβάλλον στην οθόνη, στους σχεδιαστές δικτύων έχει αυξηθεί η ευκολία των διεπαφών του υπολογιστή με τον χρήστη που αναπτύσσει τέτοιες τεχνικές. Αυτό είναι ένα τεράστιο όφελος για τους αναλυτές που δουλεύουν με τα εργαλεία «what if», γιατί τους επιτρέπει να δώσουν



στην κοινότητα των σχεδιαστών δικτύου την ικανότητα να δημιουργήσουν και να επιβλέψουν νέες τοπολογίες με ένα κλικ του mouse του υπολογιστή.

Μία προσέγγιση είναι να παρέχεται μία παλέτα από διαθέσιμους τύπους δικτυακών στοιχείων, από τους οποίους ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μερικά και να τα τοποθετήσει όπως πρέπει σ' έναν καμβά. Αφού τα δικτυακά στοιχεία μπουν στον καμβά, μπορούν να συνδεθούν, να ανατοποθετηθούν, ή ακόμα και να διαγραφούν. Οι πληροφορίες σχετικές με ξεχωριστά στοιχεία, μπορούν να εξετασθούν και να μετατραπούν, μέσω διαφορών μενού και φορμών. Επιπρόσθετα στοιχεία μπορούν να μπουν στον καμβά σε κάθε στάδιο, και τα δικτυακά σχέδια μπορούν να σωθούν και να επαναφορτωθούν για χρήση αργότερα.

#### **vi) Ροές σηματοδότησης μηνυμάτων**

Υπάρχουν δύο κυριότερα θέματα εδώ – η σχετική αστάθεια του σχεδιασμού των ροών μηνυμάτων, από την προγενέστερη ως την τελική εφαρμογή, και η ανάγκη για παροχή μιας γενικής προσέγγισης στη δημιουργία υπηρεσιών και στην ανάπτυξη λειτουργιών.

Όπως αναφέρθηκε πριν, ένα καλό «what if» εργαλείο σχεδιασμού δικτύων θα παρείχε ένα σχετικά απλό μηχανισμό για αλλαγές πολύπλοκων όψεων των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Σ' αυτήν την περίπτωση κάνοντας η αυξημένη αλλαγή στις ροές μηνυμάτων θα έπρεπε να μη δυσκολεύει πολύ τον χρήστη.

Μια γενική προσέγγιση στη δημιουργία υπηρεσιών και ανάπτυξη λειτουργιών αναφέρεται στην ικανότητα να εκτιμήσει γρήγορα την επίδραση των, για παράδειγμα, «ένα μήνυμα πάνω και δύο κάτω» (π.χ. στέλνοντας ένα μήνυμα από το Σημείο Μεταγωγής Υπηρεσιών στο Σημείο Ελέγχου Υπηρεσιών και λαμβάνοντας δύο για επιστροφή). Όπως η σειρά μηνυμάτων ανάμεσα στο Σημείο Μεταγωγής Υπηρεσιών και στο Σημείο Ελέγχου Υπηρεσιών, είναι χρήσιμο να μπορούμε να πειραματιστούμε με διάφορες παραμέτρους όπως ξεχωριστά μήκη μηνυμάτων, και την καθυστέρηση της διαδικασίας σχετικά με την λήψη και αποστολή ενός δοσμένου τύπου μηνύματος [1].

## **vii) Χαρτογράφηση των λειτουργικών οντοτήτων στα φυσικά στοιχεία**

Η λειτουργική αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου καθορίζει τα λειτουργικά «μπλοκ» (για παράδειγμα Λειτουργία Μεταγωγής Υπηρεσιών, Λειτουργία Ελέγχου Υπηρεσιών) που απαιτούνται για την υποστήριξη των υπηρεσιών του δικτύου. Ωστόσο, δεν καθορίζει που, και σε ποιους συνδυασμούς, θα πρέπει να τοποθετηθούν αυτές οι λειτουργίες. Οι τεχνικές «what if» μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για τη εξαγωγή των λειτουργικών επιπτώσεων του συνδυασμού ή του διαχωρισμού διαφόρων λειτουργιών (π.χ. η Λειτουργία Δεδομένων Υπηρεσιών τοποθετείται μαζί ή εξωτερικά στη Λειτουργία Ελέγχου Υπηρεσιών) αλλά επίσης η επίδραση στην πλατφόρμα του δικτύου [1].

## **viii) Δρομολόγηση**

Η δρομολόγηση συνδέεται στενά με την λειτουργική οντότητα/ τη χαρτογράφηση των φυσικών στοιχείων που λέχθηκε παραπάνω, έτσι ώστε αλλαγές στο πρώτο κατά πάσα πιθανότητα επιφέρουν αλλαγές στο δεύτερο.

Ένα «ρεαλιστικό» μοντέλο δρομολόγησης θα εμπεριέχει τρία επίπεδα δρομολόγησης: Επίπεδο Μεταφοράς Μηνυμάτων, Επίπεδο Ελέγχου Σύνδεσης Σηματοδότησης, Επίπεδο Χρήστη. Για ένα τέτοιο μοντέλο, χειρωνακτική κατασκευή ξεχωριστών στοιχείων δρομολόγησης σηματοδότησης για δίκτυα που περιέχουν δεκάδες από συνδέσεις σηματοδότησης είναι μία χρονοβόρα δραστηριότητα, ειδικά όταν περιλαμβάνονται εναλλακτικές δρομολογήσεις. Άρα είναι συμβουλευτική η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της τοποθέτησης δρομολογήσεων μέσα στο μοντέλο, χρησιμοποιώντας «επιχειρηματικούς κανόνες» για να επιβεβαιωθεί ότι οι δικτυακές αρχές σχεδιασμού δεν διαταράσσονται. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ότι όχι περισσότερα από τρία Σημεία Μεταφοράς Σηματοδότησης επιτρέπονται σε μία δρομολόγηση σηματοδότησης [1].

Είναι πιθανή η υποστήριξη μιας «what if» προσέγγισης στη διαμόρφωση των επιχειρηματικών τους κανόνων. Για να γυρίσουμε στο προηγούμενο παράδειγμα, είναι ίσως καλό να εξερευνηθεί η επίδραση της αλλαγής του κανόνα που λέει «όχι παραπάνω από δύο Σημεία Μεταφοράς Σηματοδότησης...», και ανακατασκευάζοντας τις δρομολογήσεις σ' αυτήν τη βάση, ενώ κρατώντας τους άλλους παράγοντες σταθερούς.

Οι κανόνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να ξεριζώσουν τα άκυρα μονοπάτια δρομολόγησης ανάμεσα σ' ένα δοσμένο ζευγάρι συνδεδεμένων σημείων τέλους σηματοδότησης. Τέτοιοι κανόνες

«περπατούν» μέσα από την αναπαράσταση του φυσικού δικτύου συναρμολογώντας λίστες από τα κυριότερα στοιχεία δρομολόγησης, εξετάζοντας την ομάδα των λειτουργικών οντοτήτων του Ευφυούς Δικτύου που βρίσκονται σε κάθε κόμβο της δρομολόγησης.

## 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

Ένα από τα πιο κοινά προβλήματα που εμπεριέχονται στο σχεδιασμό ενός δικτύου είναι η επιλογή των θέσεων που θα εγκατασταθούν τα μηχανήματα συγκέντρωσης δεδομένων. Παρ' όλο που οι σχεδιαστές πρέπει να πάρουν υπ' όψη πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα χώρου για τα μηχανήματα και το προσωπικό για να παράσχει πρόσβαση σε τέτοιο εξοπλισμό στους εμπόρους, ο σημαντικότερος παράγοντας που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του εξοπλισμού είναι ο οικονομικός. Γενικά, όταν υπάρχει ένας αριθμός από τοποθετήσεις, μεταδίδοντας και δέχοντας δεδομένα σε μια γεωγραφική περιοχή θα προσπαθείς να επιλέξεις μια τοποθεσία για την εγκατάσταση του εξοπλισμού που αντιπροσωπεύει το ελάχιστο κόστος μετάδοσης απ' όλες τις θέσεις μέσα στη γεωγραφική περιοχή προς την επιλεγμένη τοποθεσία. Η θεωρία γράφων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράσχει μια μεθοδολογία για την επιλογή μιας τοποθεσίας η οποία να αντιπροσωπεύει μία ελάχιστου κόστους τοποθεσία σε σχέση με τις άλλες σε μια γεωγραφική περιοχή. Χρησιμοποιώντας τη σχέση ανάμεσα στη θεωρία γράφων και την τοπολογία δικτύων θα μας παράσχει τις πληροφορίες που χρειάζεται η θεωρία γράφων για να αποδώσουμε ή να αυτοματοποιήσουμε τη διαδικασία αυτή.

Από τα πολλά προβλήματα που έχουν να κάνουν με την απόκτηση δεδομένων από τις συσκευές των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, όπως επιλογείς θυρών, πολυπλέκτες, και συγκεντρωτές, κάθε κομμάτι συχνά απαιτεί ανάλυση στη διαμόρφωση και στο μέγεθος του. Η διαδικασία της επιβεβαίωσης της διαμόρφωσης των επιλεγμένων μηχανημάτων είναι η θεμελίωση του επιπέδου διαθεσιμότητας στο οποίο χτίζεται το δίκτυο και, σε πολλές περιπτώσεις, συσχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των γραμμών κλήσης που συνδέονται με τη συσκευή.

Η αποτυχία παροχής ενός επιπέδου πρόσβασης που να είναι αποδεκτή από τους χρήστες μπορεί να φέρει σαν αποτέλεσμα πολλά προβλήματα. Πρώτον, ένας χρήστης που συναντά μία κατειλημμένη σηματοδότηση μπορεί να καταστεί κουραστικό γιαυτόν, και άρα να κάνει ένα διάλειμμα, ή οτιδήποτε άλλο από να ξανακαλέσει ένα τηλεφωνικό νούμερο μίας θύρας πρόσβασης στο δίκτυο. Τέτοιες ενέργειες προφανώς θα αποτελέσουν μείωση της παραγωγικότητας του χρήστη. Αν η μεταχείριση του δικτύου ανταποκρίνεται στις ανάγκες του χρήστη, μια αποτυχία ασφάλειας αγοράς ενός πελάτη, επιστροφής, εξυπηρέτησης, ή οποιασδήποτε άλλης ενέργειας σε χρονική διάρκεια θα μπορούσε να επιφέρει χάσιμο πελατείας έναντι των ανταγωνιστών. Αυτό είναι παρόμοιο με την κατάσταση όπου έχουμε μια μακριά ουρά σε μια

τράπεζα μπροστά σε έναν υπάλληλο όπου μπορεί να αποτελέσει απώλεια λογαριασμών από τους πελάτες αν το επίπεδο εξυπηρέτησης παραμείνει ίδιο.

Παρακάτω θα εστιάσουμε την προσοχή μας στην εφαρμογή των τύπων της τηλεφωνικής κυκλοφορίας στη διάσταση των συσκευών των τηλεπικοινωνιακών δεδομένων και των γραμμών. Παρ' όλο που οι πιο πολύ τύποι κυκλοφορίας έχουν αναπτυχθεί τη δεκαετία του '20, πολλοί είναι εφαρμόσιμοι σε παρόμοια προβλήματα όπως ο καθορισμός του αριθμού κλήσεων στις επιχειρήσεις και των γραμμών WATS που απαιτούνται να εξυπηρετήσουν τους χρήστες των τερματικών όπως ακόμα και τον αριθμό των θυρών ή των καναλιών που πρέπει να εγκατασταθούν στον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό που συνδέεται με τις γραμμές κλήσεων [10]. Για να κάνουμε μια εκτίμηση της διαδικασίας σχετικά με τη διάσταση, θα εξετάσουμε αρκετές μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέγεθος του εξοπλισμού και των γραμμών.

## **2.2 Θεωρία γράφων και σχεδιασμός δικτύων**

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα θέματα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι οι τοπολογικές σχέσεις με τους γράφους. Μπορείς να δεις ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο σε μια σειρά από μονοπάτια μετάδοσης που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν διαφορετικά μηχανήματα όπως τερματικά, πολυπλέκτες, συγκεντρωτές, και άλλες παρόμοιες συσκευές.

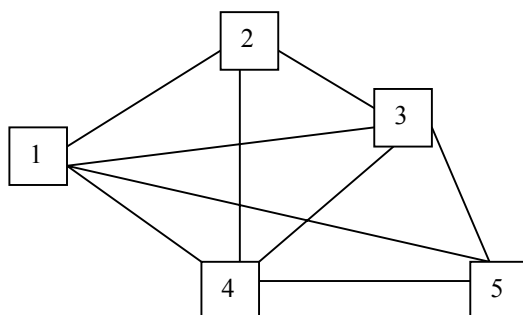
### **2.2.1 Ζεύξεις και κόμβοι**

Αν θεωρήσετε τα μονοπάτια μετάδοσης σαν κλαδιά ενώ ο εξοπλισμός που εξαπλώνεται σε διάφορες τοποθεσίες συνήθως αντιπροσωπεύεται από κόμβους, τότε μπορείς να επανασχεδιάσεις ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στη μορφή ενός γράφου που αποτελείται από κλαδιά που επίσημα αναφέρονται σε συνδέσεις.

Τώρα που εξετάσαμε σύντομα τη σχέση μεταξύ της θεωρίας γράφων και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, ας εστιάσουμε την προσοχή μας στις ιδιότητες των γράφων, που θα μας επιτρέψει να θεωρούμε τη χρήση ενός πίνακα ζεύξεων (links) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή των μονοπατιών ανάμεσα στους κόμβους και τη σχέση μεταξύ των ζεύξεων που συνδέουν κάθε κόμβο. Αφού γίνει αυτό θα εστιάσουμε την προσοχή μας πάνω στο τυπικό πρόβλημα σχεδιασμού δικτύων όπως την τοποθεσία του εξοπλισμού και τη χρήση της θεωρίας γράφων για τη λύση αυτού του προβλήματος.

### 2.2.2 Ιδιότητες γράφων

Στο παρακάτω σχήμα υπάρχει ένας γράφος που έχει πέντε κόμβους το οποίο θα μας βοηθήσει να εξετάσουμε τις ιδιότητες των γράφων όπως και να εξετάσουμε τις ιδιότητες ενός πίνακα ζεύξεων που βγαίνει από την τοπολογία του γράφου.



Σχήμα 3

Η πολλαπλή χρησιμότητα των γράφων για την περιγραφή δικτύων μπορεί να ειπωθεί θεωρώντας μερικές από τις πιθανές διαμορφώσεις του δικτύου που μας παρουσιάζει το σχήμα 3. Αυτό το διάγραμμα θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει την θέση ενός κεντρικού υπολογιστή και τεσσάρων απομακρυσμένων θέσεων που πρέπει να διασυνδεθούν άμεσα με τον κεντρικό υπολογιστή ή θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τα πιθανά δρομολόγια που επιτρέπονται για την κατασκευή μίας απλής γραμμής που συνδέει κάθε απομακρυσμένο μέρος με τον κεντρικό υπολογιστή. Σα μια άλλη πιθανότητα, το διάγραμμα θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει πέντε απομακρυσμένα μέρη που είναι τοποθετημένα σε μια γεωγραφική περιοχή που πρέπει να επικοινωνήσουν με ένα απομακρυσμένο σύστημα υπολογιστών, όπως πέντε πόλεις ανατολικά του Mississippi που πρέπει να επικοινωνήσουν με έναν υπολογιστή στο Denver [10].

Ο γράφος των πέντε κόμβων που υπάρχει στο σχήμα 3 περιέχει εννιά ζεύξεις, όπου κάθε ζεύξη αντιπροσωπεύει μία γραμμή ή έναν κλάδο που συνδέει δύο κόμβους. Έτσι, κάθε σύνδεση μπορεί να καθοριστεί από μία ομάδα από ζευγάρια κόμβων, όπως τα (1, 2), (1, 3), (1, 4), (1, 5), και ούτω καθ' εξής. Αν υποθέσουμε ότι η ροή των επικοινωνιών που αντιπροσωπεύεται από έναν γράφο είναι δύο κατευθύνσεων δεν χρειάζεται να ξεχωρίζουμε τις συνδέσεις (i, j) και (j, i), όπου τα i και j αντιπροσωπεύουν αριθμούς κόμβων. Έτσι, μπορούμε να γράψουμε σύνδεση(i, j) = σύνδεση(j, i). Παραπέρα, μπορούμε να καθορίσουμε ένα γράφο από N κόμβους και L ζεύξεις σαν  $G(N, L)$ .

### **i) Υποομάδες δικτύου**

Σαν παράδειγμα μιας υποδιαίρεσης του δικτύου, ας υποθέσουμε ότι το δίκτυο που υπάρχει στο σχήμα 3 διαιρείται στις ομάδες που έχει τα ζευγάρια κόμβων (1, 4) και τα (1, 2), (2, 3), (3, 5). Τότε, αν το  $G_1(N_1, L_1)$  αντιπροσωπεύει την υποομάδα του δικτύου που περιέχει το ζευγάρι κόμβων είναι το (1, 4) ενώ το  $G_2(N_2, L_2)$  αντιπροσωπεύει την υποομάδα που περιέχει τα ζευγάρια κόμβων (1, 2), (2, 3), (3, 5) και τα οποία είναι οι δεσμοί που συνδέουν τον κόμβο 1 στο 2, το 2 στο 3 και το 3 στο 5, τότε η ένωση του  $G_1$  και του  $G_2$  ( μαθηματικά γράφεται  $G_1 \cup G_2$  ) αντιπροσωπεύει το αδιαίρετο δίκτυο. Έτσι, το  $G_1 \cup G_2$  είναι ο γράφος του οποίου η ομάδα των κόμβων είναι  $N_1 \cup N_2$  και η ομάδα των δεσμών είναι  $L_1 \cup L_2$ .

### **ii) Δρομολόγια**

Αν τα  $i$  και  $j$  είναι ξεχωριστοί κόμβοι του γράφου  $G(N, L)$ , μπορούμε να καθορίσουμε τον όρο δρομολόγιο σε μια διατεταγμένη λίστα από ζεύξεις όπως  $(i, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_n, j)$  όπως ότι το  $i$  εμφανίζεται μόνο στην αρχή του πρώτου δεσμού ενώ το  $j$  εμφανίζεται μόνο στο τέλος του τελευταίου δεσμού. Εξαιρώντας τους κόμβους  $i$  και  $j$ , όλοι οι άλλοι κόμβοι του δρομολογίου θα εμφανιστούν ακριβώς δύο φορές, αφού αντιπροσωπεύουν την είσοδο ενός κόμβου σε έναν δεσμό όπως και την έξοδο ενός κόμβου σε έναν δεσμό που φιλοξενεί έναν άλλον κόμβο. Βάσει των προηγούμενων ιδιοτήτων δρομολόγησης δε θα περιέχει έναν βρόχο και ούτε θα αντιπροσωπεύει μια επιπλέον ιχνηλάτηση ενός δεσμού.

### **iii) Κύκλοι και δέντρα**

Δύο επιπρόσθετες ιδιότητες των γράφων που αξίζουν προσοχής είναι οι κύκλοι και τα δέντρα. Ένας κύκλος είναι ένα δρομολόγιο το οποίο έχει τον ίδιο αρχικό και τελικό κόμβο. Έτσι, το δρομολόγιο (1, 2), (2, 4), (4, 5) στο σχήμα 3 θα μπορούσε να γίνει ο κύκλος (1, 2), (2, 4), (4, 5), (5, 1) χρησιμοποιώντας τη ζεύξη (5, 1) για να γυρίσει στον κόμβο 1. Ένα δέντρο είναι μια συλλογή από ζεύξεις που συνδέουν όλους τους κόμβους σε ένα γράφο και του οποίου οι ζεύξεις δεν περιέχουν κύκλους.

Παρ' όλο που μία σύγκριση μεταξύ μιας δρομολόγησης και ενός δέντρου μπορεί να εμφανίζεται ασήμαντη, στην πραγματικότητα η διαφορά μεταξύ των δύο είναι διακριτή και έχει μια εφαρμογή – κλειδί σε μια ειδική περιοχή του σχεδιασμού δικτύων. Διαφορετικά απ' ότι ένα δρομολόγιο που μπορεί να συνδέει ή να μη συνδέει όλους τους κόμβους σε ένα γράφο, ένα δέντρο θα συνδέει όλους τους κόμβους. Αυτό σημαίνει

ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ανάλυση του μήκους πολλών διαφορετικών δέντρων που μπορούν να κατασκευαστούν από έναν κοινό γράφο.

### 2.2.3 Ο βασικός πίνακας ζεύξεων

Μπορούμε να περιγράψουμε έναν γράφο  $G(N, L)$  που περιέχει  $N$  κόμβους και  $L$  ζεύξεις μέσω ενός  $N \times N$  πίνακα. Σ' αυτόν τον πίνακα μπορούμε να αναθέσουμε τις τιμές σε κάθε στοιχείο ανάλογα με το αν υπάρχει διασύνδεση μεταξύ των κόμβων  $i$  και  $j$ . Έτσι, αν  $X$  είναι ο πίνακας ζεύξεων, μπορούμε να περιγράψουμε για το κάθε στοιχείο του πίνακα  $X$  ως:

$$\begin{aligned} X_{ij} &= 0 && \text{αν δεν υπάρχει διασύνδεση μεταξύ } i \text{ και } j \\ X_{ij} &= 1 && \text{αν υπάρχει διασύνδεση μεταξύ των } i \text{ και } j \end{aligned}$$

Στην προηγούμενη περιγραφή θα χρησιμοποιήσουμε τη μεταβλητή  $i$  για την  $i$ -οστή σειρά και τη μεταβλητή  $j$  για τη  $j$ -οστή στήλη του πίνακα δεσμών. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τον πίνακα δεσμών για το γράφο του σχήματος 3.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Σχήμα 4

Παρ' όλο που ένας βασικός πίνακας ζεύξεων περιγράφει τη σχέση μεταξύ των διασυνδέσεων και των κόμβων, αυτή η σχέση εκφράζεται ως μια δυαδική σχέση. Στην πραγματικότητα, φυσιολογικά θέλουμε να θεωρούμε την ανάθεση τιμών στις ζεύξεις όπου τέτοιες τιμές μπορούν να αντιπροσωπεύουν το μήκος μιας διασύνδεσης, το κόστος της, τη χωρητικότητα μετάδοσης, ή κάποια άλλη τιμή όσο αυτές οι τιμές εκφράζονται για την ίδια φυσική οντότητα σε κάθε διασύνδεση. Οι αναθέσεις των τιμών στις διασυνδέσεις έχει ως αποτέλεσμα έναν πραγματικό αριθμό γνωστό σα βάρος που τοποθετείται σε κάθε διασύνδεση του γράφου.

Αν παραστήσουμε το βάρος μιας διασύνδεσης μεταξύ των κόμβων  $i$  και  $j$  ως  $W_{ij}$ , τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι  $W_{ij} = W_{ji}$  αφού δεν διακρίνουμε τις διασυνδέσεις  $(i, j)$  και  $(j, i)$ . Ανάλογα, αν δεν υπάρχει διασύνδεση μεταξύ των κόμβων  $i$  και  $j$ , τότε το  $W_{ij}$  είναι 0. Για να δείξουμε τη χρησιμότητα των βαρών, ας θεωρήσουμε ένα γράφο πέντε κόμβων στον οποίο κάθε κόμβος είναι διασυνδεδεμένος με τον άλλον. Ας



θεωρήσουμε τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων που φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1

<u>Διασύνδεση</u>	<u>Απόσταση (μίλια)</u>
(1, 2)	9
(1, 3)	11
(1, 4)	8
(1, 5)	13
(2, 3)	7
(2, 4)	14
(2, 5)	12
(3, 4)	8
(3, 5)	6
(4, 5)	6

Οι αποστάσεις που υπάρχουν στον πίνακα 1 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός πίνακα ζεύξεων με βάρη. Αυτός ο πίνακας υπάρχει στο παρακάτω σχήμα και θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει μια γεωγραφική περιοχή που αποτελείται από μια πόλη και τα προάστια της στα οποία έχουν τοποθετηθεί πέντε γραφεία. Σ' αυτήν την περίπτωση, ένα τυπικό πρόβλημα σχεδιασμού δικτύων που θα μπορούσε να συζητηθεί είναι ο καθορισμός της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του κέντρου ελέγχου σε ένα από τα πέντε γραφεία. Αφού ένα τερματικό σε κάθε ένα από τα άλλα γραφεία θα συνδεόταν με το κέντρο ελέγχου με τη χρήση μισθωμένης γραμμής, θα θέλατε να επιλέξετε την τοποθέτηση της εγκατάστασης του κέντρου ελέγχου για να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση σ' όλα τα άλλα γραφεία.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 11 & 8 & 13 \\ 9 & 0 & 7 & 14 & 12 \\ 11 & 7 & 0 & 8 & 6 \\ 8 & 14 & 8 & 0 & 6 \\ 13 & 12 & 6 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$

Σχήμα 5

Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, ένας πίνακας ζεύξεων με βάρη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιπροσωπεύσει όλες τις πιθανές διασυνδέσεις ανάμεσα σ' ένα αριθμό από γραφεία σε μια γεωγραφική περιοχή. Αν υποθέσουμε ότι ένα τερματικό τοποθετείται σε κάθε γραφείο και θέλουμε να συνδέσουμε αυτά τα τερματικά σε ένα κοινό κέντρο ελέγχου, η ερώτηση που ανακύπτει, είναι η εύρεση της κατάλληλης τοποθεσίας του κέντρου ελέγχου. Άρα έχουμε να κάνουμε με ένα πρόβλημα δρομολόγησης στην ελάχιστη απόσταση το οποίο μπορεί να

λυθεί με το χειρισμό των στοιχείων του πίνακα βαρών που αναπτύχθηκε παραπάνω.

## **2.3 Μέθοδοι καθορισμού διαστάσεων**

### **2.3.1 Εμπειρική μοντελοποίηση**

Βασικά, δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση του μεγέθους των μηχανημάτων στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η πρώτη μέθοδος, που κοινά λέγεται πειραματική μοντελοποίηση, έχει να κάνει με την επιλογή της διαμόρφωσης του εξοπλισμού βασισμένη πάνω σ' ένα μείγμα προηγούμενης εμπειρίας και διαίσθησης. Φυσιολογικά, η διαμόρφωση που επιλέγεται είναι μικρότερη από τη χωρητικότητα βάσης συν την επέκταση χωρητικότητας του μηχανήματος. Αυτό επιτρέπει στο μέγεθος της συσκευής να ρυθμιστεί ή να αναβαθμιστεί χωρίς μεγάλη μετατροπή του εξοπλισμού αν η αρχική διάσταση του αποδειχθεί ανακριβής [10].

### **2.3.2 Η επιστημονική προσέγγιση**

Η δεύτερη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτίμηση διάστασης του εξοπλισμού των δικτύου αγνοεί την εμπειρία και τη διαίσθηση. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην γνώση των κυκλοφοριακών δεδομένων και την επιστημονική προσέγγιση των μαθηματικών τύπων στα κυκλοφοριακά δεδομένα. Δηλαδή είναι γνωστή σαν επιστημονική προσέγγιση ή μέθοδος εκτίμησης μεγέθους του εξοπλισμού. Όσο κάποια από τα μαθηματικά συμμετέχουν στον καθορισμό της εκτίμησης μεγέθους μπορεί να γίνει περίπλοκα, μια σειρά από πίνακες που μπορούν να γεννηθούν από ειδικά υπολογιστικά προγράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των προβλημάτων εκτίμησης μεγέθους σε ένα από μία απλού πίνακα διαδικασία εξέτασης [10].

Παρ' όλο που υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε μέθοδο, η εφαρμογή μιας ειδικής μεθοδολογίας στην εκτίμηση μεγέθους του εξοπλισμού είναι μια γρήγορα καθορισμένη προσέγγιση. Έτσι, θα μπορούσε να υπάρχει μια μεγαλύτερου βαθμού εμπιστοσύνη και ακρίβεια της επιλεγμένης διαμόρφωσης όταν επιλέγεται αυτή η μέθοδος. Στην αρνητική πλευρά, η χρήση μιας επιστημονικής μεθόδου απαιτεί τη γνώση της εταιρίας ή μια ακριβή εκτίμηση των δεδομένων της κυκλοφορίας. Δυστυχώς για μερικούς οργανισμούς, αυτό μπορεί να είναι δύσκολο να αποκτηθεί. Σε πολλές περιπτώσεις, ένας συνδυασμός των δύο τεχνικών θα επιφέρει τη βέλτιστη λύση [10].

## 2.4 Σχέσεις όρων στην τηλεφωνία

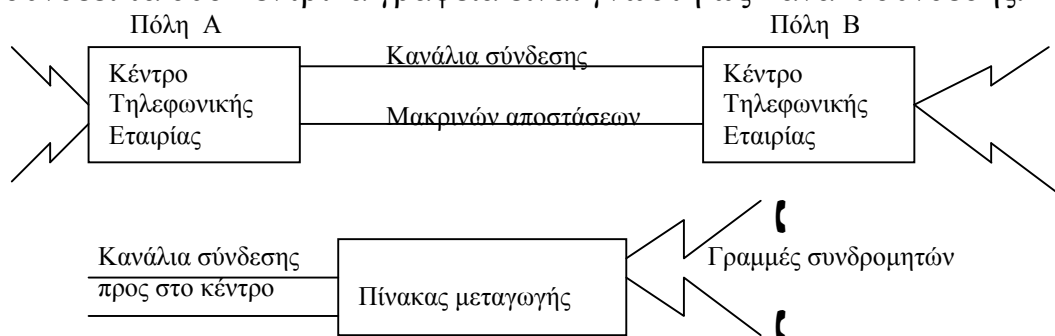
Τα πιο πολλά από τα μαθηματικά που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση μεγέθους του εξοπλισμού των τηλεπικοινωνιών συμμετείχαν στη λύση προβλημάτων σχετικά με την εκτίμηση μεγέθους στα τηλεφωνικά δίκτυα. Από μια συζήτηση μερικών βασικών όρων και εννοιών των τηλεφωνικών δικτύων, θα δούμε τις ομοιότητες μεταξύ του εξοπλισμού των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και τη δομή των τηλεφωνικών δικτύων. Έτσι τα μαθηματικά που χρησιμοποιούνται και στα δύο δίκτυα είναι παρόμοια [10].

### 2.4.1 Δομή τηλεφωνικού δικτύου

Η στάνταρ μέθοδος παροχής μιας διασύνδεσης ανάμεσα στους συνδρομητές μιας τοπικής περιοχής είναι να συνδέσει όλων των συνδρομητών τα τηλέφωνα σ' αυτό που είναι γνωστό ως κέντρο της τηλεφωνικής εταιρίας. Άλλοι συνώνυμοι όροι για το κέντρο της τηλεφωνικής εταιρίας περιλαμβάνουν το «τοπικό κέντρο» και το «κεντρικό γραφείο της τηλεφωνικής εταιρίας». Όταν ένας συνδρομητής καλεί άλλον στο ίδιο κέντρο, η κλήση του συνδρομητή μετάγεται στον καλούμενο αριθμό μέσω του τοπικού κέντρου. Αν υποθέσουμε ότι κάθε πόλη έχει μόνο ένα τοπικό κέντρο, τότε όλες οι κλήσεις που προέρχονται από εκείνη την πόλη και ο προορισμός τους είναι μέσα σ' εκείνη την πόλη τότε θα δρομολογηθεί μέσα από ένα κοινό κέντρο.

#### i) Κανάλια σύνδεσης και εκτίμηση διάστασης

Όπως δείχνεται στο παρακάτω σχήμα, μια πλειοψηφία της τηλεφωνικής κυκλοφορίας στο τμήμα ενός δικτύου που αποτελείται από δύο πόλεις θα είναι μεταξύ των συνδρομητών κάθε πόλης. Παρ' όλο που θα υπάρχει τηλεφωνική κυκλοφορία ανάμεσα στους συνδρομητές κάθε πόλης, φυσιολογικά θα είναι λιγότερη από την ποσότητα της τοπικής κυκλοφορίας σε κάθε πόλη. Η δίοδος ανάμεσα στις δύο πόλεις που συνδέει τα δύο κεντρικά γραφεία είναι γνωστή ως κανάλι σύνδεσης.



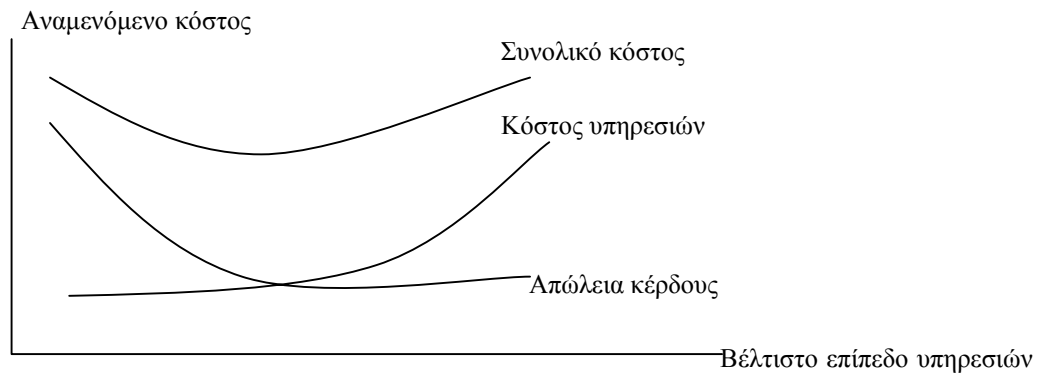
Σχήμα 6 [10]

Ένα από τα προβλήματα στο σχεδιασμό των τηλεφωνικών δικτύων είναι ο καθορισμός του αριθμού των καναλιών σύνδεσης που πρέπει να εγκατασταθούν ανάμεσα στα τηλεφωνικά κέντρα. Ένα παρόμοιο πρόβλημα εκτίμησης μεγέθους συμβαίνει πολλές φορές σε κάθε πόλη σε θέσεις που ιδιωτικοί οργανισμοί επιθυμούν να εγκαταστήσουν τους πίνακες μεταγωγής. Ένα παράδειγμα αυτού του προβλήματος με αυτόν τον τύπο του εξοπλισμού εμφανίζεται στο κάτω μέρος του σχήματος 6. Σαν αποτέλεσμα, ο πίνακας μεταγωγής λειτουργεί σαν ένα μικρό τηλεφωνικό κέντρο, οι δρομολογημένες κλήσεις μεταφέρονται μέσα από ένα αριθμό καναλιών σύνδεσης που είναι εγκατεστημένα ανάμεσα στον πίνακα μεταγωγής και στο κέντρο της τηλεφωνικής εταιρίας προς σ' ένα μεγάλο αριθμό γραμμών των συνδρομητών που συνδέονται με τον πίνακα μεταγωγής. Ο καθορισμός των καναλιών σύνδεσης που απαιτούνται για να εγκατασταθούν ανάμεσα στο τηλεφωνικό κέντρο και τον πίνακα μεταγωγής ονομάζεται εκτίμηση διάστασης και είναι κρίσιμος για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου. Αν ανεπαρκή κανάλια σύνδεσης είναι διαθέσιμα, το προσωπικό της εταιρίας θα αντιμετωπίσει ένα μη αποδεκτό αριθμό από κατειλημμένες σηματοδοτήσεις κυκλοφορίας όταν γίνεται προσπάθεια τοποθέτησης μια εξωτερικής τηλεφωνικής κλήσης. Για άλλη μια φορά, θα επιδεινωθεί η παραγωγικότητα.

Γυρνώντας στο πρόβλημα των εσωτερικών κλήσεων, ας θεωρήσουμε μερικά προβλήματα που μπορούν να συμβούν στον καθορισμό του αριθμού των καναλιών σύνδεσης ανάμεσα στα κεντρικά γραφεία που υπάρχουν στις δύο πόλεις. Βάσει μιας προηγούμενης έρευνας, ας υποθέσουμε ότι όχι παραπάνω από 50 άνθρωποι θα ήθελαν να έχουν ταυτόχρονες τηλεφωνικές συνδιαλέξεις όπου ο καλών βρίσκεται στη μία πόλη ενώ ο καλούμενος στην άλλη. Αν εγκαθιστούσαμε 50 κανάλια σύνδεσης ανάμεσα στις πόλεις και ο αριθμός των καλούντων στις υπεραστικές κλήσεις δεν ξεπερνούσε ποτέ το 50, η πιθανότητα ενός συνδρομητή για να ολοκληρώσει την κλήση του στη μακρινή πόλη θα είναι πάντα ένα, επιτυχία εγγυημένη. Παρ' όλο που το κόστος υπηρεσίας παροχής 50 καναλιών σύνδεσης είναι προφανές περισσότερο από την παροχή λιγότερων καναλιών σύνδεσης, κανένας συνδρομητής δε θα αντιμετώπιζε μία κατειλημμένη σηματοδοσία της κυκλοφορίας.

Αφού κάποιος συνδρομητής μπορεί να αναβάλει ή να μην επιλέξει να κάνουν μια μακρινής απόστασης κλήση αργότερα αν αντιμετωπίσουν μία κατειλημμένη σηματοδοσία κυκλοφορίας, ένα μέγιστο επίπεδο υπηρεσιών θα παρήγαγε ένα ελάχιστο επίπεδο απώλειας κέρδους. Αν περισσότεροι από 50 συνδρομητές προσπαθήσουν να καλέσουν ταυτόχρονα στην άλλη πόλη, κάποιος απ' αυτούς θα αντιμετωπίσουν κατειλημμένη σηματοδοσία κυκλοφορίας αφού και τα

50 κανάλια σύνδεσης θα είναι σε χρήση. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, το επίπεδο της υπηρεσίας θα ήταν τέτοιο ώστε να μην είναι εγγυημένη η επιτυχία σ' όλους τους συνδρομητές στα μακρινής απόστασης κανάλια σύνδεσης και η πιθανότητα μακρινής κλήσης θα ήταν μικρότερη του ενός. Παρομοίως, αφού το επίπεδο υπηρεσιών είναι μικρότερο από το απαιτούμενο, για την παροχή κλήσεων απ' όλους τους καλούντες για πρόσβαση σε μακρινής απόστασης κανάλια σύνδεσης, το κόστος υπηρεσιών είναι μικρότερο απ' αυτό που έχει για παροχή στους χρήστες με πιθανότητα ένα για πρόσβαση στα κανάλια σύνδεσης. Παρόμοια, όσο η πιθανότητα επιτυχούς πρόσβασης στα μακρινά κανάλια σύνδεσης μειώνεται, το ποσό απώλειας κέρδους ή το κόστος αναμονής των πελατών θα αυξηθεί. Βάσει του προηγούμενου, ένα μοντέλο απόφασης μπορεί να χτιστεί λαμβάνοντας υπ' όψη το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 7 [10]

## ii) Το μοντέλο απόφασης

Για το μοντέλο απόφασης που υπάρχει στο σχήμα 7 ας υποθέσουμε ότι ο βέλτιστος αριθμός καναλιών σύνδεσης που απαιτούνται για τη διασύνδεση δύο πόλεων είναι 40. Η αναλογία γραμμής προς κανάλι σύνδεσης για αυτήν την περίπτωση θα ήταν 1000 γραμμές για 40 κανάλια σύνδεσης, δηλαδή αναλογία 25:1.

Για να εκτιμήσουμε σωστά τον βέλτιστο αριθμό καναλιών σύνδεσης που διασυνδέουν δύο πόλεις απαιτείται μια κατανόηση και των οικονομικών αλλά και της κυκλοφορίας. Για τον καθορισμό του κατάλληλου επιπέδου υπηρεσιών, απαιτείται ένα μοντέλο απόφασης όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7. Εδώ, η πιθανότητα επιτυχούς πρόσβασης ενός συνδρομητή σ' ένα κανάλι σύνδεσης αντιστοιχεί στο επίπεδο παροχής υπηρεσιών. Όσο πιο πολλά κανάλια σύνδεσης προστίθενται, η πιθανότητα πρόσβασης αυξάνεται όσο όμως και το κόστος αυτής της αύξησης πρόσβασης. Ανάλογα, το κόστος αναμονής του συνδρομητή ή της απώλειας κέρδους στην τηλεφωνική εταιρία μειώνεται όσο το επίπεδο υπηρεσιών αυξάνεται, ενώ το συνολικό κόστος

είναι ίσο με το κόστος υπηρεσιών και του κόστους αναμονής. Το σημείο που το κόστος αυτό είναι ελάχιστο αντιστοιχεί στο βέλτιστο αριθμό καναλιών σύνδεσης ή επιπέδου υπηρεσιών για την παροχή διασύνδεσης ανάμεσα στις δύο πόλεις [10].

## 2.5 Μετρήσεις κυκλοφοριακής κίνησης

Η τηλεφωνική δραστηριότητα μπορεί να καθορισθεί από τον ρυθμό κλήσεων και της χρονικής διάρκειας των κλήσεων. Ο ρυθμός κλήσεων είναι ο αριθμός χρήσεων ενός δρομολογίου ή μονοπατιού προς τη χρονική μονάδα, ενώ η χρονική διάρκεια της κλήσης είναι ο χρόνος που καταναλώνει η κλήση στο μονοπάτι. Δύο άλλοι όροι που απαιτούνται προσοχής είναι η προσφερόμενη κυκλοφορία και η μεταφερόμενη κυκλοφορία. Η προσφερόμενη κυκλοφορία είναι η ποσότητα της κυκλοφορίας που δρομολογείται στο τηλεφωνικό κέντρο κατά τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης περιόδου, ενώ η μεταφερόμενη κυκλοφορία είναι η ποσότητα της κυκλοφορίας που πραγματικά μεταδίδεται από το τηλεφωνικό κέντρο στον προορισμό της κατά τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης περιόδου.

### 2.5.1 Οι ώρες αιχμής

Ο παράγοντας κλειδί για την εκτίμηση μεγέθους ενός μονοπατιού κυκλοφορίας είναι η γνώση της κυκλοφοριακής έντασης κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής. Παρ' όλο που η κυκλοφορία μεταβάλλεται μέρα με τη μέρα, και είναι γενικά τυχαία, ακολουθεί μια συνέπεια που μπορεί να αναγνωρισθεί. Γενικά, οι αιχμές της κυκλοφοριακής κίνησης συμβαίνουν τις μεσημεριανές ώρες και μερικές ώρες αργότερα το απόγευμα. Η μέγιστη ωριαία περίοδος κυκλοφοριακής κίνησης της μέρας ονομάζεται ώρα αιχμής. Το επίπεδο κυκλοφοριακής κίνησης αυτήν την ώρα είναι που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση μεγέθους του τηλεφωνικού κέντρου και των εκπομπών δρομολόγησης.

Η τηλεφωνική κυκλοφοριακή κίνηση μπορεί να καθοριστεί ως το προϊόν του ρυθμού κλήσεων ανά ώρα και της μέσης διάρκειας μιας κλήσης. Αυτή η μέτρηση μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής [10]:

$$T = C * D$$

Όπου

C = ρυθμός κυκλοφορίας ανά ώρα

D = μέση διάρκεια κλήσης

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο, η κυκλοφορία μπορεί να εκφραστεί σε κλήσεις λεπτών (CM) ή κλήσεις ωρών (CH), όπου μία κλήση ώρας είναι η ποσότητα που αντιστοιχεί από μία ή περισσότερες κλήσεις μέσης διάρκειας μίας ώρας.

Αν ο ρυθμός κλήσεων κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής μιας συγκεκριμένης μέρας είναι 500 και η μέση διάρκεια κάθε κλήσης είναι 10 λεπτά, η κυκλοφοριακή ροή ή ένταση θα ήταν  $500 \cdot 10$  ή 5000 CM, το οποίο θα ήταν ισοδύναμο με  $5000/60$  ή προσεγγιστικά με 83.3 CH.

### 2.5.2 Erlangs και κλήσεις δευτερολέπτων [10]

Η επιλεγμένη μονάδα μέτρησης στην ανάλυση της κυκλοφοριακής κίνησης είναι το erlang, που πήρε το όνομα της από τον Δανό μαθηματικό Erlang. Το erlang είναι μια αδιάστατη μονάδα σε σχέση με τις προηγούμενες κλήσεις λεπτών και κλήσεις δευτερολέπτων. Αντιπροσωπεύει την καταληπτότητα ενός κυκλώματος όπου ένα erlang κυκλοφοριακής έντασης σε ένα κύκλωμα, αντιστοιχεί στη συνεχή καταληπτότητα του κυκλώματος.

Ένας δεύτερος όρος που συχνά χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει την κυκλοφοριακή ένταση είναι κλήση δευτερολέπτων (CS). Η ποσότητα που αντιστοιχεί σε 100 κλήσεις δευτερολέπτων είναι γνωστή ως 1 CCS. Εδώ το πρώτο C αντιστοιχεί στην ποσότητα 100 και προέρχεται από το Γαλλικό όρο «cent». Υποθέτοντας ένα ωριαίο χρονικό διάστημα, οι προηγούμενοι όροι συσχετίζονται με το erlang ως εξής:

$$1 \text{ erlang} = 60 \text{ κλήσεις δευτερολέπτων} = 36 \text{ CCS} = 3600 \text{ CS}$$

Αν μία ομάδα από 20 κανάλια σύνδεσης είχαν μετρηθεί και μία κυκλοφοριακή ένταση των 10 erlangs είχε βρεθεί πάνω σ' αυτήν την ομάδα, τότε θα περιμέναμε τα μισά κανάλια σύνδεσης να είναι κατειλημμένα την ώρα της μέτρησης. Ανάλογα, μια κυκλοφοριακή ένταση των 600 CM ή των 360 CCS που προσφέρεται στα 20 κανάλια σύνδεσης θα εγγυούταν το ίδιο αποτέλεσμα.

### 2.5.3 Βαθμός εξυπηρέτησης

Μία σημαντική έννοια στη διαδικασία εκτίμησης μεγέθους είναι αυτό που είναι γνωστό ως βαθμός εξυπηρέτησης. Για την κατανόηση αυτής της έννοιας, ας γυρίσουμε στο παράδειγμα του σχήματος 5, και ας θεωρήσουμε ξανά ότι 50 κανάλια σύνδεσης χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των τηλεφωνικών κέντρων των δύο πόλεων. Αν ένας συνδρομητής προσπαθήσει να πραγματοποιήσει μια κλήση από μια πόλη σε μια άλλη όταν όλα τα κανάλια σύνδεσης είναι κατειλημμένα, τότε λέμε ότι η κλήση μπλοκάρεται. Βάσει μαθηματικών τύπων, η πιθανότητα για να μπλοκαριστεί μια κλήση μπορεί να υπολογιστεί δοσμένης της κυκλοφοριακής έντασης και των διαθέσιμων καναλιών σύνδεσης. Η έννοια του καθορισμού της πιθανότητας μπλοκαρίσματος μπορεί να προσαρμοσθεί εύκολα στην εκτίμηση μεγέθους του εξοπλισμού των επικοινωνιών.

Από μια λογική ανάλυση της κυκλοφοριακής έντασης, συμπεραίνουμε ότι αν μια κλήση ήταν να μπλοκαριστεί, αυτό θα συνέβαινε στην ώρα αιχμής αφού εκείνη την περίοδο υπάρχει η μεγαλύτερη ποσότητα δραστηριότητας. Έτσι, η χωρητικότητα του τηλεφωνικού κέντρου σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει ένα μέρος της κυκλοφορίας στην ώρα αιχμής, η ακριβής ποσότητα εξυπηρέτησης εξαρτάται από τα οικονομικά όπως και από την πολιτική διαδικασία του καθορισμού του επιπέδου εξυπηρέτησης που κάποιος θέλει να παράσχει στους πελάτες.

Κάποιος θα μπορούσε να υπερμεγεθύνει τη δρομολόγηση ανάμεσα στις δύο πόλεις και να παράσχει ένα κανάλι σύνδεσης για κάθε συνδρομητή. Αυτό θα εξασφάλιζε ότι δε θα συνέβαινε ποτέ μια χαμένη κλήση και θα ήταν ισοδύναμο με την παροχή μιας γραμμής κλήσης για κάθε τερματικό στο δίκτυο. Αφού μια 1:1 αναλογία συνδρομητή προς κανάλι σύνδεσης δεν είναι οικονομική και θα έχει σαν αποτέλεσμα τα πιο πολλά κανάλια σύνδεσης να είναι ανενεργά για μια μεγάλη περίοδο της μέρας, μπορούμε να περιμένουμε ένα μικρότερο αριθμό καναλιών ανάμεσα στις πόλεις απ' ό,τι στους συνδρομητές. Όσο ο αριθμός των καναλιών σύνδεσης μειώνεται και κατά συνέπεια η αναλογία συνδρομητή προς κανάλι σύνδεσης αυξάνεται, μπορούμε διαισθητικά να εκτιμήσουμε τα αποτελέσματα του μπλοκαρίσματος κλήσεων. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τον αριθμό των κλήσεων που θέλουμε να έχουμε μπλοκαρισμένα κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής. Αυτός ο προσδιορισμός είναι γνωστός ως βαθμός εξυπηρέτησης και αντιστοιχεί στην πιθανότητα  $P$  μια κλήση να μπλοκαριστεί. Αν πούμε ότι έχουμε βαθμό εξυπηρέτησης ίσο με 0.05 ανάμεσα στις πόλεις, απαιτούμε ένα σαφή αριθμό καναλιών σύνδεσης έτσι ώστε 1 κλήση σε κάθε 20, ή 5 κλήσεις σε κάθε 100, θα μπλοκαριστούν στη διάρκεια της ώρας αιχμής [10].

#### **2.5.4 Παράμετροι εκτίμησης μεγέθους της δρομολόγησης**

Για τον καθορισμό των καναλιών σύνδεσης που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση μιας συγκεκριμένης δρομολόγησης κάποιος μπορεί να θεωρήσει τη χρήση αρκετών τύπων. Η χρήση κάθε τύπου εξαρτάται από την άφιξη κλήσεων και την κατανομή της χρονικής διάρκειας τους, από ένα αριθμός από πηγές της κυκλοφορίας, και από τη διαχείριση των μπλοκαρισμένων ή των χαμένων κλήσεων. Ανεξάρτητα από τον τύπο που χρησιμοποιούμε, το αποτέλεσμα του υπολογισμού θα παρέχει κάποιον την πιθανότητα μπλοκαρίσματος κλήσεων ή του βαθμού εξυπηρέτησης βάσει ενός δοσμένου αριθμού καναλιών σύνδεσης και επιπέδου κυκλοφοριακής έντασης.



Παίρνοντας υπ' όψη των αριθμό των κυκλοφοριακών πηγών, κάποιος μπορεί να θεωρήσει τον πληθυσμό των κλήσεων σαν πεπερασμένο ή άπειρο. Αν οι κλήσεις που συμβαίνουν από ένα μεγάλο αριθμό συνδρομητών και οι συνδρομητές τείνουν να ξανακαλέσουν αν συναντήσουν μπλοκάρισμα, η πληθυσμός των καλούντων μπορεί να θεωρηθεί ως άπειρος. Η θεώρηση μιας άπειρης κυκλοφοριακής πηγής έχει ως αποτέλεσμα ότι η πιθανότητα άφιξης μιας κλήσης να γίνεται σταθερή και δεν κάνει την κλήση να εξαρτάται από την κατάσταση της κυκλοφορίας στο σύστημα. Οι δύο πιο κοινές εξισώσεις κυκλοφοριακής εκτίμησης μεγέθους βασίζονται σε άπειρο πληθυσμό κλήσεων.

Παίρνοντας υπ' όψη τη διαχείριση των χαμένων κλήσεων, τέτοιες κλήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως καθαρισμένες, καθυστερημένες, ή κρατημένες. Όταν τέτοιες κλήσεις θεωρούνται κρατημένες, υποτίθεται ότι ο τηλεφωνικός συνδρομητής, όταν συναντήσει κατειλημμένη σηματοδότηση, αμέσως ξανακαλεί το επιθυμητό μέρος. Η έννοια των χαμένων-καθυστερημένων κλήσεων δέχεται ότι κάθε συνδρομητής τοποθετείται σ' ένα μηχανισμό αναμονής για εξυπηρέτηση και σχεδιάζει τη βάση για την θεωρία ουρών. Αφού μπορούμε να θεωρήσουμε μια συνθήκη εξυπηρέτησης ή μη-εξυπηρέτησης, μπορούμε να αγνοήσουμε την έννοια των χαμένων-καθυστερημένων κλήσεων εκτός αν η πρόσβαση στους πόρους του δικτύου συμβαίνει μέσα από ένα PBX ή έναν επιλέκτη θύρας που έχει δυνατότητα τοποθέτησης των δεδομένων σε ουρά [10].

### **2.5.5 Τύποι εκτίμησης μεγέθους κυκλοφορίας**

Ο κυριότερος τύπος για την εκτίμηση μεγέθους της κυκλοφοριακής κίνησης που χρησιμοποιείται στη Βόρεια Αμερική βασίζεται στην έννοια των χαμένων κλήσεων και είναι γνωστός ως ο τύπος του Poisson [10]. Στην Ευρώπη, οι τύποι κυκλοφορίας βασίζονται στην υπόθεση ότι αν ο συνδρομητής συναντήσει μία κατειλημμένη σηματοδοσία θα κατεβάσει το τηλέφωνο και θα περιμένει ένα αρκετό χρονικό διάστημα για να ξανακαλέσει. Ο τύπος Erlang B βασίζεται σ' αυτήν την υπόθεση.

## **2.6 Ο τύπος κυκλοφορίας του Erlang**

Η πιο κοινή εξίσωση για την περιγραφή της κυκλοφοριακής κίνησης που χρησιμοποιείται είναι ο τύπος Erlang B. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται βασικά στις περιοχές εκτός Βορείου Αμερικής. Επιπρόσθετα υποθέτοντας ότι τα δεδομένα της κυκλοφορίας προέρχονται από άπειρο αριθμό πηγών, αυτός ο τύπος βασίζεται στην έννοια των χαμένων κλήσεων. Αυτή η υπόθεση είναι ισοδύναμη με την αποδοχή ότι

η προσφερόμενη κυκλοφορία δεν μεταφέρεται από ένα ή περισσότερα κανάλια σύνδεσης αλλά εξαφανίζεται και αυτή είναι η διαφορά κλειδί μεταξύ αυτού του τύπου και του τύπου του Poisson. Ο τελευταίος τύπος υποθέτει ότι οι χαμένες κλήσεις κρατούνται, και χρησιμοποιείται στη Βόρεια Αμερική.

Αν σαν  $a$  συμβολίσουμε την κυκλοφοριακή ένταση σε erlangs και το  $c$  αντιστοιχεί στον αριθμό των καναλιών σύνδεσης ή θύρων που σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν την κυκλοφορία, η πιθανότητα  $B(a, c)$  αντιστοιχεί στην πιθανότητα όπου τα  $c$  κανάλια σύνδεσης είναι κατειλημμένα όταν η κυκλοφοριακή ένταση των  $a$  erlangs προσφέρεται σ' αυτά τα κανάλια σύνδεσης. Η πιθανότητα είναι ισοδύναμη για τον προσδιορισμό του βαθμού εξυπηρέτησης και μπορεί να εκφραστεί από τον τύπο Erlang B ως εξής [10]:

$$B(a, c) = \frac{a^c / c!}{\sum_{k=0}^c a^k / k!}$$

## **3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ - ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Η δρομολόγηση είναι μια απαραίτητη λειτουργία στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, η οποία συνδέει μία κλήση από την προέλευση της ως τον προορισμό της, και είναι η καρδιά της αρχιτεκτονικής, του σχεδιασμού και της κάθε είδους λειτουργίας του δικτύου. Ο ίδιος ο όρος δίκτυο δηλώνει τη ρύθμιση των συστημάτων μεταγωγής που διασυνδέονται μεταξύ τους. Η ραγδαία αύξηση των προγραμμάτων ελέγχου των δικτύων, που αποτελούνται από τα ηλεκτρονικά συστήματα μεταγωγής (ESS) τα οποία διασυνδέονται μέσω κοινών καναλιών σηματοδότησης (CCS), παρέχει μια ευκαιρία να επεκταθούν οι κανόνες δρομολόγησης στο δίκτυο πέρα από τη συμβατική προκαθορισμένη ιεραρχική δρομολόγηση έναντι της δυναμικής μη-ιεραρχικής δρομολόγησης. Ο όρος δυναμική περιγράφει μεθόδους δρομολόγησης οι οποίες είναι χρονοεξαρτημένες, ή πιθανόν πραγματικού χρόνου, καταστατικές, αντίθετα με τους τωρινούς κανόνες ιεραρχικής δρομολόγησης, οι οποίοι είναι χρονοανεξάρτητοι [11]. Η εισαγωγή της δυναμικής δρομολόγησης σε αρκετά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είχε σαν αποτέλεσμα μια σημαδιακή βελτίωση στη διαθεσιμότητα σύνδεσης στο δίκτυο και ταυτόχρονα στη μείωση κόστους.

Οι παράγοντες που οδηγούν στην εξέλιξη της δρομολόγησης στα δίκτυα είναι οι βελτιώσεις στην ποιότητα της απόδοσης, οι εισαγωγές νέων υπηρεσιών, και η τεχνολογική εξέλιξη. Η βελτίωση στη ποιότητα της απόδοσης επιτυγχάνεται όταν η δρομολόγηση στα δίκτυα αυξάνει την πραγματικού χρόνου ικανότητα προσαρμογής. Η εισαγωγή νέων υπηρεσιών βοηθείται όταν η δρομολόγηση του δικτύου ξεπερνάει τη δυναμική δρομολόγηση και την εγκατάσταση νέων υπηρεσιών σ' ένα ευέλικτο εύρος φάσματος. Η τεχνολογική εξέλιξη ενισχύεται όταν η δρομολόγηση του δικτύου εκμεταλλεύεται τις νέες τεχνολογίες εκπομπής, μεταγωγής, και σχεδιασμού – διαχείρισης του δικτύου, για την επίτευξη πιο απλών, πιο αυτοματοποιημένων, και πιο αποτελεσματικών δικτύων από τα προηγούμενα. Υπάρχουν τρία στάδια εξέλιξης δρομολόγησης στα δίκτυα για την επίτευξη αυτών των στόχων [11]:

1. Η προκαθορισμένη κυκλοφοριακή δρομολόγηση – σ' ένα σταθερό κυκλοφοριακό δίκτυο δρομολόγησης, όπως στα σημερινά σταθερά ιεραρχικά δίκτυα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί σ' όλο τον κόσμο, υπάρχει ελάχιστη ευελιξία για το μοίρασμα του εύρους φάσματος ανάμεσα στα ζευγάρια μεταγωγής.

2. Η δυναμική κυκλοφοριακή δρομολόγηση – εδώ η κυκλοφοριακή δρομολόγηση μοιράζει το εύρος φάσματος στα ζευγάρια μεταγωγής και στις υπηρεσίες με αποτελεσματικό χειρισμό, ίσως με προσχεδιασμένους ωριαίους πίνακες δρομολόγησης, όπως σ’ ένα δίκτυο δυναμικής μη-ιεραρχικής δρομολόγησης (DNHR), ή ίσως σε πραγματικό χρόνο, όπως σ’ ένα πραγματικού χρόνου δίκτυο δρομολόγησης (RTNR) για ολοκληρωμένες κλάσεις υπηρεσιών.
3. Η δυναμική κυκλοφοριακή δρομολόγηση και η δρομολόγηση μεταφοράς – εδώ η δυναμική κυκλοφοριακή δρομολόγηση συνδυάζεται με τη δυναμική δρομολόγηση μεταφοράς, όπου η τελευταία κατανέμει το εύρος φάσματος μεταφοράς στιγμιαία ανάμεσα στα ζευγάρια μεταγωγής και στις υπηρεσίες, για την αυτόματη πρόβλεψη μεταφοράς ποικίλων ζεύξεων δρομολόγησης και στιγμιαίας επανόρθωσης.

### **3.2 Μέθοδοι δρομολόγησης**

Παρακάτω θα αναφέρουμε λεπτομερώς τις μεθόδους προκαθορισμένης δρομολόγησης, δυναμικής δρομολόγησης, και δυναμικής δρομολόγησης μεταφοράς [11].

#### **3.2.1 Προκαθορισμένη δρομολόγηση [11]**

Η προκαθορισμένη ιεραρχική δρομολόγηση που συζητείται σ’ αυτήν την παράγραφο και ισχύει σχεδόν σε όλα τα σημερινά δίκτυα, όπως τα πιο πολλά μητροπολιτικά, τα υπεραστικά δίκτυα, και τα καθολικά διεθνή δίκτυα. Ένα παράδειγμα μη ιεραρχικής προκαθορισμένης δρομολόγησης από το δίκτυο AUTOVON που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Αμύνης των ΗΠΑ.

Τα σχέδια δρομολόγησης στα δίκτυα είχαν πάντοτε δυνατή σχέση με τις τεχνολογικές δυνατότητες. Τέτοια είναι η περίπτωση της ιεραρχικής κυκλοφοριακής δρομολόγησης όταν το 1930 μια ιεραρχία των κέντρων μεταγωγής εγκαταστάθηκε το General Toll Switching Plan. Αυτό το σχέδιο περιόρισε τον αριθμό των μεταγωγών για «μακρινής απόστασης» κλήσεις σε έξι σε κάθε σύνδεση περιλαμβανομένων και τα κέντρων μεταγωγής στα οποία οι μεταγωγές ενός μητροπολιτικού δικτύου διασυνδέονται. Η δρομολόγηση εκείνη την εποχή γινόταν χειρωνακτικά από υπαλλήλους σε ειδικούς πίνακες μεταγωγής που κάνανε περίπλοκες διαδικαστικές λειτουργίες. Κατά τη δεκαετία του ’40, ένα νέο σχέδιο εγκαταστάθηκε σε 10 περιοχές και μία πέντε – επιπέδων ιεραρχία συστημάτων μεταγωγής. Το 1951, αυτή η πέντε επιπέδων ιεραρχία των κέντρων μεταγωγής αναπτύχθηκε και η άμεση κλήση

εισήχθηκε ταυτόχρονα με την αυτόματη εναλλακτική δρομολόγηση. Η σχεδίαση για άμεση κλήση και του πέντε-επιπέδων ιεραρχικού δικτύου ήταν τέτοιας ποιότητας που μόνο λίγες αλλαγές ήταν απαραίτητες μέχρι που αντικαταστάθηκε από το DNHR τη δεκαετία του '80.

Όταν αναπτύχθηκαν τα ιεραρχικά δίκτυα, οι υπολογιστές ήταν στα σπάργανα και οι κανόνες σχεδιασμού έπρεπε να μένουν απλοί για να γίνεται χειρωνακτικά ο σχεδιασμός των δικτύων. Ήταν επίσης απαραίτητο ότι οι αποφάσεις δρομολόγησης των πρώτων ηλεκτρομηχανικών μεταγωγών ήταν περιορισμένες. Η ιεραρχική κυκλοφοριακή δρομολόγηση ήταν σε υπηρεσία εδώ και τουλάχιστον 50 χρόνια μέχρι δηλαδή την πρώτη εφαρμογή της δυναμικής δρομολόγησης που άρχισε το 1984, και που είναι ακόμα διαδεδομένη στο σημερινό κόσμο. Στην πραγματικότητα, είναι η μόνη στάνταρ μέθοδος δρομολόγησης η οποία επιτρέπει τη διεργασία ανάμεσα σε προϊόντα μεταγωγής από πολλαπλούς εμπόρους. Η ιεραρχική κυκλοφοριακή δρομολόγηση είναι, ωστόσο, λιγότερο αποτελεσματική και με περισσότερα πλεονεκτήματα από τις μεθόδους δυναμικής κυκλοφοριακής δρομολόγησης, αφού η ικανότητα διαμοιρασμού του διαθέσιμου εύρους φάσματος ανάμεσα στα ζευγάρια μεταγωγής είναι ελάχιστη.

### **3.2.2 Δυναμική κυκλοφοριακή δρομολόγηση [11]**

Η δυναμική κυκλοφοριακή δρομολόγηση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχει αναπτυχθεί σε δέκα δίκτυα μέχρι τώρα, και είναι το θέμα συζήτησης και έρευνας παγκοσμίως. Η δυναμική δρομολόγηση εκμεταλλεύεται τα τεχνολογικά πλεονεκτήματα για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα όλων των δικτύων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 η τεχνολογία των δικτύων αναπτύχθηκε ραγδαία ενάντια στις δυνατότητες των αποθηκευμένων προγραμμάτων ελέγχου. Στο δίκτυο AT&T, για παράδειγμα, το δίκτυο εξελίχθηκε διαχειρίζοντας μεγαλύτερους όγκους κυκλοφορίας με λιγότερες μεταγωγές, γιατί η 4ESS μεταγωγή, ένα μεγάλο σύστημα μεταγωγής με όχι μεγαλύτερη από 3 φορές τη χωρητικότητα του No. 4A, έγινε το κυριότερο όχημα μεταγωγής του δικτύου και επέτρεψε τη σταθεροποίηση των πολλών ηλεκτρομηχανικών μεταγωγών σε μια απλή μεγάλη ESS μεταγωγή. Οι μεταγωγές ESS παρέχουν αυξημένες δυνατότητες αποθήκευσης προγραμμάτων ελέγχου που επιτρέπουν περίπλοκες οδηγίες δρομολόγησης που πρέπει να εκτελεστούν. Επιπρόσθετα, το δίκτυο CCS, ένα υψηλής ταχύτητας, υψηλής χωρητικότητας συστήματα σηματοδότησης για τη σύνδεση των μεταγωγών ESS, έχει επίσης αναπτυχθεί. Το CCS επιτρέπει πολύ περισσότερες πληροφορίες δρομολόγησης να στέλνονται ανάμεσα στις μεταγωγές σε μηνύματα εγκατάστασης κλήσεων απ' ότι είναι πιθανό με σηματοδότηση εντός

μπάντας, και επιτρέπει στις μεταγωγές ESS να κάνουν πλήρη χρήση των δυνατοτήτων των αποθηκευμένων προγραμμάτων ελέγχου. Τελικά, η σχεδίαση του δικτύου με βάση τον υπολογιστή έχει δημιουργήσει πολλά πλεονεκτήματα στην αυτοματοποίηση λειτουργιών πολύπλοκων δικτύων. Αυτά τα συστήματα μπορούν να διαχειριστούν μεγάλα ποσά σειριακών δεδομένων, να εφαρμόσουν πολύ πολύπλοκες διαδικασίες σχεδίασης δικτύων, και να αυτοματοποιήσουν τη ροή των εντολών δρομολόγησης και άλλες πληροφορίες για τη διαχείριση του δικτύου μέσα και έξω από τις μεταγωγές ESS. Άρα οι απλοί χειρωνακτικοί κανόνες σχεδιασμού για τα ιεραρχικά δίκτυα θα μπορούσε να ήταν πιο αποτελεσματικοί και πιο περίπλοκοι με την εφαρμογή μέσω υπολογιστή.

Η δυναμική δρομολόγηση επιτρέπει στους πίνακες δρομολόγησης ESS να αλλάζουν δυναμικά, είτε με προσχεδιασμένο και χρονοεξαρτημένο χειρισμό, ή on-line και πραγματικού χρόνου. Με τις μεθόδους της προσχεδιασμένης δυναμικής δρομολόγησης, οι παράμετροι δρομολόγησης που περιέχονται σε πίνακες δρομολόγησης μπορεί να αλλάζουν κάθε ώρα ή τουλάχιστον αρκετές φορές τη μέρα για να ανταποκριθούν στις γνωστές μετατοπίσεις του κυκλοφοριακού φορτίου, και γενικά οι πίνακες προσχεδιασμένης δρομολόγησης αλλάζουν με μια σταθερά του χρόνου που κανονικά είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διάρκεια μιας κλήσης. Μία τυπική μέθοδος προσχεδιασμένης δυναμικής δρομολόγησης μπορεί να αλλάζει τους πίνακες δρομολόγησης κάθε ώρα, η οποία διαρκεί περισσότερο από τη διάρκεια μιας κλήσης μερικών λεπτών.

Η πραγματικού χρόνου δρομολόγηση είναι η πιο περίπλοκη μέθοδος της κυκλοφοριακής δρομολόγησης. Η πραγματικού χρόνου δρομολόγηση δεν εξαρτάται από τους προϋπολογισμένους πίνακες δρομολόγησης. Αντίθετα, το σύστημα μεταγωγής ή το σύστημα διαχείρισης του δικτύου έχει αίσθηση του στιγμιαίου κυκλοφοριακού φορτίου και αν είναι αναγκαίο ψάχνει νέα δρομολόγια μέσα από το δίκτυο πιθανόν, όπως στο RTNR, σε μια βάση κλήσης με κλήση. Με τις μεθόδους της πραγματικού χρόνου δρομολόγησης, οι πίνακες δρομολόγησης αλλάζουν με μια σταθερά του χρόνου μικρότερης τάξης από την διάρκεια μιας κλήσης. Οι μέθοδοι δρομολόγησης πραγματικού χρόνου μπορούν να είναι καταστατικές ή εξαρτημένες από γεγονότα. Τέτοια παραδείγματα δρομολόγησης είναι η μέθοδος DAR που χρησιμοποιείται στο δίκτυο της British Telecom και η μέθοδος STR που αναπτύχθηκε στην NTT της Ιαπωνίας. Στις προσεγγίσεις μάθησης της STR και της DAR, στο μονοπάτι που τελευταία έγινε προσπάθεια δρομολόγησης, και που ήταν επιτυχής, γίνεται ξανά προσπάθεια δρομολόγησης μέχρι να μπλοκαριστεί, όπου αφού γίνει αυτό επιλέγεται ένα άλλο μονοπάτι τυχαία και γίνεται προσπάθεια δρομολόγησης της επόμενης κλήσης. Οι επιλογές μονοπατιών στο STR αλλάζουν με τον

χρόνο που εξαρτώνται από τις αλλαγές στα πρότυπα του κυκλοφοριακού φορτίου.

Παραδείγματα καταστατικών πραγματικού χρόνου δρομολόγησης δίκτυα είναι το RTNR και το DCR. Το RTNR χρησιμοποιεί την πραγματικού χρόνου πληροφόρηση της αλλαγής κατάστασης του δικτύου, με ερωτήματα CCS και μηνύματα κατάστασης, για τον καθορισμό μιας βέλτιστης δρομολόγησης από έναν αριθμό πολλών πιθανών επιλογών. Με το RTNR, το αρχικό κέντρο προσπαθεί πρώτα το ευθύ μονοπάτι και αν δεν είναι διαθέσιμο βρίσκει ένα βέλτιστο, δύο ζεύξεων μονοπάτι ρωτώντας το τερματικό κέντρο μέσα από το δίκτυο CCS για την ενεργή – ανενεργή κατάσταση όλων των ζεύξεων που συνδέονται με το τερματικό κέντρο. Το αρχικό κέντρο συγκρίνει την δικιά του ενεργή – ανενεργή κατάσταση διασύνδεσης με αυτή που πήρε από το τερματικό κέντρο, και βρίσκει το δύο ζεύξεων μονοπάτι που έχει το λιγότερο φορτίο για να δρομολογήσει την κλήση. Το DCR είναι μια συγκεντρωτική μέθοδος δρομολόγησης με ανανεώσεις της κατάστασης του δικτύου ανά 10 δευτερόλεπτα. Το συγκεντρωτικό σύστημα διαχείρισης δικτύου DCR παρέχει ανανεώσεις δρομολόγησης ανά 10 δευτερόλεπτα σε όλες τις μεταγωγές στο δίκτυο δυναμικής δρομολόγησης, στο οποίο οι πίνακες δρομολόγησης καθορίζονται από την ανάλυση των δεδομένων κατάστασης των ζεύξεων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο δυναμικής δρομολόγησης DCR. Χρησιμοποιείται μια προκαθορισμένη τεχνική διανομή καναλιών σύνδεσης, και οι επιλογές των μονοπατιών αλλάζουν με το χρόνο σε συνάρτηση με τις αλλαγές των προτύπων του φορτίου κυκλοφορίας. Οι καταστατικές πραγματικού χρόνου μέθοδοι δρομολόγησης μπορούν να αλλάζουν τους πίνακες δρομολόγησης μέχρι και κάθε μερικά λεπτά βάσει των εκτιμήσεων του φορτίου κυκλοφορίας.

### **i) Προσχεδιασμένη δυναμική ιεραρχική δρομολόγηση**

Η δυναμική ιεραρχική δρομολόγηση χρησιμοποιεί τριαδικές υποζεύξεις (sub-links) για να ικανοποιήσει τις ωριαίες ανάγκες. Ο αριθμός των καναλιών σύνδεσης σε κάθε τριαδική υποζεύξη μπορεί να αλλάζει δυναμικά από ώρα σε ώρα μαζί με την υπάρχουσα ιεραρχική δομή δρομολόγησης, και με διάταξη τριάδων ο ακριβής αριθμός των καναλιών σύνδεσης σε κάθε υψηλής χρηστότητας τελική ζεύξη επιτρέπεται να αλλάζει από ώρα σε ώρα σε συνάρτηση με την ανάγκη για κυκλώματα ανάμεσα στις μεταγωγές του δικτύου. Η αποτελεσματικότητα της χρήσης του δικτύου με την ιεραρχική δυναμική δρομολόγηση μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά στις επιδράσεις του μη συμπτωματικού φορτίου και να μην περιλάβει τα πλεονεκτήματα της επιλογής του μη ιεραρχικού βέλτιστου μονοπατιού.

## **ii) Προσχεδιασμένη δυναμική πολυζευκτική δρομολόγηση μονοπατιού**

Σ' αυτήν την περίπτωση η δρομολόγηση μονοπατιού υπονοεί την επιλογή ενός ολόκληρου μονοπατιού μεταξύ των αρχικών και των τερματικών κόμβων πριν μια γίνει μια προσπάθεια σύνδεσης στο μονοπάτι. Αν μια σύνδεση σε μία ζεύξη σε ένα μονοπάτι μπλοκαριστεί, η κλήση τότε προσπαθεί να συνδεθεί μέσω άλλου μονοπατιού. Η εφαρμογή μιας τέτοιας μεθόδου μπορεί να γίνει μέσω ελέγχου από την αρχική μεταγωγή, συν την πολυζευκτική δυνατότητα crankback για να επιτρέψει δύο, τρεις ή περισσότερες ζεύξεις να χρησιμοποιηθούν. Το crankback είναι μια δυνατότητα του μηνύματος CCS η οποία επιτρέπει μια κλήση να μπλοκαριστεί σε μία ζεύξη ενός μονοπατιού και να επιστρέψει στον αρχικό κόμβο για παραπέρα εναλλακτική δρομολόγηση σε άλλα μονοπάτια. Η δρομολόγηση από μονοπάτι σε μονοπάτι είναι μη ιεραρχική και επιτρέπει την επιλογή των πιο οικονομικών μονοπατιών απ' ό,τι να περιοριστεί στα ιεραρχικά μονοπάτια. Μία μέθοδος εφαρμογής δυναμικής πολυζευκτικής δρομολόγησης μονοπατιού είναι να τοποθετήσει μέρη του κυκλοφοριακού φορτίου σε δρομολόγια και να επιτρέψει τα μέρη αυτά να αλλάζουν σε σχέση με τον χρόνο.

## **iii) Προσχεδιασμένη δυναμική εξελικτική δρομολόγηση**

Σ' αυτήν τη μέθοδο, μια κλήση στέλνεται από μια μεταγωγή σ' μια άλλη, και ο έλεγχος της κλήσης επίσης στέλνεται στην άλλη μεταγωγή. Δεν επιτρέπεται επιστροφή στην προηγούμενη μεταγωγή, ούτε crankback, αλλά η κλήση πρέπει να συνεχίσει προς τον προορισμό της σε κάθε μεταγωγή ή αλλιώς να μπλοκαριστεί. Ένα οικείο παράδειγμα εξελικτικής δρομολόγησης είναι η προκαθορισμένη ιεραρχική δρομολόγηση. Η κυριότερη δυσκολία με την εξελικτική δρομολόγηση είναι η αποφυγή βρόχου. Στην ιεραρχική δρομολόγηση αυτό αποτρέπεται αυτόματα από τη δομή του δικτύου. Στη μη ιεραρχική εξελικτική δρομολόγηση, μια προσέγγιση αποφυγής βρόχου είναι η μεταφορά της του ιστορικού της κλήσης σε ένα CCS εγκατάστασης κλήσης μήνυμα. Μ' αυτόν τον τρόπο κάθε μεταγωγή ξέρει από ποιες μεταγωγές έχει δρομολογηθεί η κλήση και τις αποκλείει από την επόμενη επιλογή. Εκτός από την αποφυγή βρόχου, αυτή η μέθοδος ελέγχου δρομολόγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οριοθετήσει το μέγιστο μήκος μονοπατιού μιας δοσμένης κλήσης και έτσι να περιορίσει την υπερβολική εναλλακτική δρομολόγηση. Η μείωση μονοπατιών με περισσότερες ζεύξεις αποκλείει τις κλήσεις από το να «κλέβουν» κανάλια σύνδεσης από άλλες κλήσεις που μπορεί να ολοκληρώνονται σε μία ή δύο ζεύξεις. Αλλιώς, παίρνει μέρος η υπερβολική εναλλακτική δρομολόγηση, έχοντας μια



καταρρακτώδης επίδραση που προκαλεί η χρήση ανεπιτυχών ζεύξεων, με λιγότερες ολοκληρώσεις κλήσεων απ' ότι σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση. Στη δυναμική εξελικτική δρομολόγηση, η κυκλοφοριακή κίνηση τοποθετείται στις πιο οικονομικά επόμενης-μεταγωγής επιλογές σε μια χρονοεξαρτημένη βάση.

#### **iv) Προσχεδιασμένη, με μονοπάτια μέχρι δύο ζεύξεων, δυναμική δρομολόγηση**

Στο σχεδιασμό δικτύων πολυζευκτικών μονοπατιών, ένα μεγάλο ποσοστό της κυκλοφορίας δρομολογείται σε μονοπάτια μίας ή δύο ζεύξεων, ακόμα και όταν επιτρέπεται η κίνηση σε μονοπάτια μεγαλύτερου μήκους. Λόγω των κόστων μεταγωγής, τα μονοπάτια ενός ή δύο ζεύξεων είναι λιγότερο ακριβά απ' ότι με περισσότερες ζεύξεις. Γι' αυτό, η δρομολόγηση με μονοπάτια μέχρι δύο ζεύξεις χρησιμοποιεί τον απλό περιορισμό που λέει ότι τα μονοπάτια μπορούν να έχουν έναν ή δύο ζεύξεις, το οποίο απαιτεί ένα crankback απλής ζεύξης για να μην εφαρμόσει και χρησιμοποιήσει κοινούς δεσμούς με την δρομολόγηση με πολυζευκτικά μονοπάτια. Οι εναλλακτικές μέθοδοι δρομολόγησης με διζευκτικά μονοπάτια περιλαμβάνουν την κυκλική μέθοδο δρομολόγησης που περιγράφηκε προηγουμένως, τη δρομολόγηση CGH, και τη σειριακή δρομολόγηση. Η δρομολόγηση CGH, που ονομάστηκε χάριν στους Chung, Graham, και Hwang, που το εφάρμοσαν, αποτελείται από κυκλικά μπλοκ. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχουν επτά μονοπάτια. Μία πιθανή πραγματοποίηση κυκλικών μπλοκ με τα επτά μονοπάτια είναι το (1)(234)(56)(7). Αυτός ο συμβολισμός εννοεί ότι όλο το προσφερόμενο φορτίο σ' αυτό το δρομολόγιο προσφέρεται πρώτα στο μονοπάτι 1. Η υπερχείλιση του μονοπατιού 1 προσφέρεται τότε στο κυκλικό μπλοκ που αποτελείται από τα μονοπάτια 2, 3, και 4. Ο όρος κυκλικό μπλοκ σημαίνει ένα μέρος  $\beta_{ik}$  του συνολικού προσφερόμενου φορτίου στο κ-ιοστό μπλοκ παρέχεται στην κυκλική αντιμετάθεση  $i$ , όπου η κυκλική αντιμετάθεση  $i$  επιλέγεται έτσι ώστε η ταξινόμηση μέσα στο μπλοκ να διατηρείται αλλά ένα διαφορετικό μονοπάτι εμφανίζεται πρώτα. Στη μέθοδο του κυκλικού μπλοκ, ένα μέρος  $\beta_{12}$  της εισαγόμενης κυκλοφορίας θα προσφερθεί στα μονοπάτια με τη σειρά:(2, 3, 4) και το άλλο μέρος  $\beta_{22}$  με τη σειρά (3, 4, 2), και ούτω καθ' εξής. Η κυκλοφοριακή δρομολόγηση μ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών όταν μια κλήση προσφέρεται στο κυκλικό μπλοκ. Σημειώστε ότι όλες οι κλήσεις βλέπουν την ίδια πιθανότητα μπλοκαρίσματος μέσα στο κυκλικό μπλοκ, αφού διερευνώνται όλα τα μονοπάτια.

Στη σειριακή δρομολόγηση, όλη η κυκλοφορία σε μια δοσμένη ώρα προσφέρεται σε ένα απλό δρομολόγιο, και το πρώτο μονοπάτι

επιτρέπεται να υπερχειλίσει στο δεύτερο μονοπάτι, το οποίο υπερχειλίζει προς το τρίτο μονοπάτι και ούτω καθ' εξής. Έτσι, η κυκλοφορία δρομολογείται σειριακά από μονοπάτι σε μονοπάτι χωρίς να χρησιμοποιηθούν πιθανοκρατικές μεθόδους για να επηρεάσουν τις πραγματοποιήσιμες ροές. Ο λόγος που η σειριακή δρομολόγηση δουλεύει καλά είναι η μεταθετική σειρά των μονοπατιών παρέχει σαφή ευελιξία για την επίτευξη των ποθούμενων ροών χωρίς την ανάγκη της πιθανοκρατικής δρομολόγησης.

#### **ν) Πραγματικού χρόνου εξαρτημένη από γεγονότα δρομολόγηση**

Ένας αριθμός από πραγματικού χρόνου, δυναμικής δρομολόγησης, μεθόδους έχουν ερευνηθεί. Οι πραγματικού χρόνου δυναμικής δρομολόγησης μέθοδοι μπορούν να είναι εξαρτημένες από γεγονότα ή καταστάσεις. Οι εξαρτημένες από γεγονότα πραγματικού χρόνου μέθοδοι δρομολόγησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν μαθησιακά μοντέλα, όπως τη μάθηση με την τυχαία δρομολόγηση (LRR), την επιτυχία ως την κορυφή (STT) δρομολόγηση, την DAR που αναπτύχθηκε από την British Telecom, και τη μέθοδο STR που εφαρμόστηκε από τη NTT Japan. Η LRR είναι μια αποκεντρωποιημένη μέθοδος από κλήση σε κλήση με ανανέωση που βασίζεται στη τυχαία δρομολόγηση. Η LRR χρησιμοποιεί μια απλοποιημένη αποκεντρωποιημένη μέθοδο μάθησης για την επίτευξη ευέλικτης ευπροσάρμοστης δρομολόγησης. Η ευθεία διασύνδεση χρησιμοποιείται πρώτα αν είναι διαθέσιμη, και ένα προκαθορισμένο εναλλακτικό μονοπάτι χρησιμοποιείται μέχρι να μπλοκαριστεί. Σ' αυτήν την περίπτωση ένα νέο εναλλακτικό μονοπάτι επιλέγεται τυχαία καθώς η επιλογή εναλλακτικού δρομολογίου για την επόμενη υπερχειλίση κλήσης από την ευθεία διασύνδεση. Δεν χρησιμοποιείται crankback μέσω μιας μεταγωγής στην LRR, και έτσι μια κλήση που θα μπλοκαριστεί σε μια μεταγωγή θα χαθεί. Δυναμικά η ενεργοποίηση καναλιών σύνδεσης χρησιμοποιείται κάτω από συνθήκες μπλοκαρίσματος κλήσης. Η STT δρομολόγηση είναι μια επέκταση της μεθόδου LRR, όπου το crankback επιτρέπεται, όταν υπάρχει μπλοκάρισμα σ' ένα μονοπάτι, και η κλήση μεταπηδά σε ένα νέο μονοπάτι τυχαία. Σε μια οριοθετημένη περίπτωση της STT, όλες οι πιθανές επιλογές με μονοπάτια μίας ή δύο ζεύξεων μπορούν να δοκιμασθούν μέσω μιας δοσμένης κλήσης πριν η κλήση μπλοκαρισθεί. Στις μαθησιακές προσεγγίσεις LRR και STT, το ευθύ μονοπάτι χρησιμοποιείται πρώτα και τότε το τελευταίο που δοκιμάζεται τελευταία, και που είναι επίσης επιτυχής, δοκιμάζεται ξανά μέχρι να μπλοκαριστεί, και που την ίδια στιγμή επιλέγεται άλλο μονοπάτι τυχαία και δοκιμάζεται στη νέα κλήση, αν είναι αναγκαίο. Χρησιμοποιείται μια τεχνική σταθερής υλοποίησης καναλιών σύνδεσης. Στην επαύξηση STR

του DAR, οι επιλογές των μονοπατιών αλλάζουν με τον χρόνο σε συνάρτηση με τις αλλαγές στα πρότυπα του κυκλοφοριακού φορτίου. Οι εξαρτημένες από γεγονότα πραγματικού χρόνου μέθοδοι δρομολόγησης αποδίδουν καλά αλλά όχι τόσο όσο οι καταστατικές πραγματικού χρόνου μέθοδοι δρομολόγησης.

#### **vi) Πραγματικού χρόνου καταστατική δρομολόγηση**

Οι καταστατικές πραγματικού χρόνου μέθοδοι δρομολόγησης μπορούν να αλλάζουν τους πίνακες δρομολόγησης κάθε λίγα λεπτά, όπως στο σύστημα δοκιμής προσαρμοσμένης δρομολόγησης (STAR) που δοκιμάστηκε από την French Telecom, τη μέθοδο DR-5 που δοκιμάστηκε από την Bellcore, τη δρομολόγηση WIN (Worldwide International Network), και αυτόματα μοντέλα μάθησης, όπως και μπορούν να αλλάζουν τους πίνακες κάθε μερικά δευτερόλεπτα, όπως στη μέθοδο DCR ή δρομολόγηση με βάση χάρτη καταστάσεων των καναλιών σύνδεσης, ή σε κάθε κλήση, όπως στη μέθοδο RTNR. Οι μέθοδοι πραγματικού χρόνου δυναμικής δρομολόγησης μπορούν να αλλάζουν τους πίνακες δρομολόγησης κάθε λίγα λεπτά βάσει μιας εκτίμησης του κυκλοφοριακού φορτίου. Μια μέθοδος εκτιμά το κυκλοφοριακό φορτίο σε μερικά λεπτά με βάση τη σειριακή εκτίμηση της πρόσφατης συμπεριφοράς της κυκλοφορίας. Με το υποφαινόμενο κυκλοφοριακό φορτίο, η βέλτιστη δρομολόγηση της μέγιστης ροής υπολογίζεται και εφαρμόζεται, το οποίο απαιτεί μια μεγάλη υπολογιστική προσπάθεια και συγκεντρωτικό πραγματικού χρόνου έλεγχο των πινάκων δρομολόγησης. Παραδείγματα συγκεντρωτικών πεντάλεπτων περιοδικών δυναμικής δρομολόγησης συστημάτων είναι τα STAR και DR-5. Αυτές οι μέθοδοι επαναυπολογίζουν εναλλακτικά μονοπάτια δρομολόγησης με βάση το κυκλοφοριακό φορτίο. Το WIN είναι ένα παράδειγμα κατανεμημένου πεντάλεπτου περιοδικού πραγματικού χρόνου συστήματος. Στο WIN, αρκετές χώρες ανταλλάσσουν κυκλοφοριακά δεδομένα κάθε 5 λεπτά ανάμεσα στους επεξεργαστές διαχείρισης δικτύου, και βάσει ανάλυσης αυτών των δεδομένων, οι επεξεργαστές διαχείρισης δικτύου μπορούν δυναμικά να επιλέγουν εναλλακτικά μονοπάτια έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του δικτύου. Η κατανεμημένη περιοδική πραγματικού χρόνου δυναμική δρομολόγηση μπορεί επίσης να βασιστεί στα στατιστικά των κλήσεων που ολοκληρώθηκαν που έχουν καθορισθεί από τα μοντέλα μάθησης. Μια τέτοια μέθοδος μάθησης περιλαμβάνει την παρατήρηση του ρυθμού ολοκλήρωσης των κλήσεων που δρομολογούνται από υποψήφια μονοπάτια και επιλογή μονοπατιών ανάλογα με την πιθανότητα ολοκλήρωσης τους, επιλέγοντας πρώτα το μονοπάτι που έχει τη μέγιστη πιθανότητα, και προς τα κάτω με τη λιγότερη πιθανότητα.

## vii) Μικτή δυναμική δρομολόγηση

Σε ένα μικτής δυναμικής δρομολόγησης δίκτυο (MXDR), πολλές διαφορετικές μέθοδοι δυναμικής δρομολόγησης χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Οι κλήσεις που ξεκινούν από διαφορετικές μεταγωγές χρησιμοποιούν την ειδική δυναμική μέθοδο δρομολόγησης που εφαρμόζεται σ' αυτή τη μεταγωγή, και στις διαφορετικές μεταγωγές μπορεί να είναι μια μίξη των STT, TSMR, και RTNR, για παράδειγμα. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι μια μίξη μεθόδων δυναμικής δρομολόγησης επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την απόδοση των επιμέρους μεθόδων δυναμικής δρομολόγησης. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ότι δεν είναι αναγκαίο να τυποποιήσεις μια απλή μέθοδο δυναμικής δρομολόγησης για να χρησιμοποιηθεί ομοιόμορφα σ' όλο το δίκτυο.

### 3.2.3 Δυναμική δρομολόγηση μεταφοράς [11]

Όπως στη δυναμική δρομολόγηση, η εισαγωγή νέων τεχνολογιών δημιουργεί νέες ευκαιρίες για τη δυναμική δρομολόγηση μεταφοράς. Η δυναμική δρομολόγηση μεταφοράς μπορεί να συνδυάσει τη δυναμική δρομολόγηση για τη μετατόπιση του bandwidth των τηλεπικοινωνιών ανάμεσα στα ζεύγη μεταγωγών και υπηρεσιών μέσα από την χρήση ευέλικτης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Η δυναμική δρομολόγηση μεταφοράς μπορεί να παράσχει αυτόματη πρόβλεψη ζεύξεων, αντίστροφη δρομολόγηση ζεύξεων, και ραγδαία αποκατάσταση ζεύξεων για βελτιωμένη χρήση της χωρητικότητας τηλεπικοινωνιών κάτω από πίεση για απόδοση. Τα κανάλια σύνδεσης του λογικού δικτύου είναι ανεξάρτητες λογικές συνδέσεις ανάμεσα στις μεταγωγές των δικτύων, τα οποία φτιάχνουν τις συνδέσεις των ζεύξεων και είναι δρομολογημένες στο φυσικό δίκτυο. Οι ζεύξεις μπορούν να προβληθούν σε πολλαπλές DS1 μονάδες χωρητικότητας, η οποία είναι ισοδύναμη με 24 κανάλια 64-kbps, που ονομάζονται DS0, και τα οποία πολυπλέκονται μέσω ενός καναλιού DS1 συνδυάζοντας το με ένα bandwidth των 1.536Mbps. Οι ζεύξεις μπορούν να ποικίλουν σε χωρητικότητα από μηδέν κανάλια μέχρι χιλιάδες κανάλια, κι αυτό εξαρτάται από το επίπεδο κυκλοφοριακής απαίτησης ανάμεσα στις μεταγωγές. Στο λογικό δίκτυο, πολλά ζευγάρια μεταγωγών έχουν μια «ευθεία» λογική σύνδεση όπου καμία δεν επιβιώνει στο φυσικό δίκτυο. Μια λογική σύνδεση αποκτάται μέσω κόμβων και μέσα από τηλεπικοινωνιακά μηχανήματα μεταγωγής. Αυτή διαφέρει καθαρά από μια δρομολόγηση κλήσης, η οποία μεταγάγει μια κλήση στα DS0 κανάλια σύνδεσης σε κάθε ESS μεταγωγή στο μονοπάτι της κλήσης. Έτσι, το δίκτυο των καναλιών σύνδεσης είναι ένα λογικό

δίκτυο τηλεπικοινωνιών που είναι εγκατεστημένο πάνω στο διάσπαρτο φυσικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών.

Τα ψηφιακά μηχανήματα των κόμβων (DCS) είναι ικανά να μεταγάγουν τα κανάλια των τηλεπικοινωνιών, για παράδειγμα τα κανάλια DS1, σε διαφορετικές υψηλότερης χωρητικότητας ζεύξεις όπως τα κανάλια DS3 και τις οπτικές ίνες. Τα δρομολόγια στις τηλεπικοινωνίες μπορούν να αναβαθμιστούν σε υψηλότερη ταχύτητα χρησιμοποιώντας ψηφιακά κομβικά συστήματα, τυπικά με χρόνους μεταγωγής εκατοστών του δευτερολέπτου. Αυτά τα ψηφιακά κομβικά μηχανήματα μπορούν να αναδιαμορφώνουν τη χωρητικότητα του λογικού δικτύου προς απαίτηση για χρήση της προσχεδιασμένης αναδιάρθρωσης της χωρητικότητας των ζεύξεων, όπως για την ημερήσια κυκλοφοριακή αιχμή, για τον ανασχεδιασμό της χωρητικότητας των ζεύξεων ανά εβδομάδα, ή για την επείγουσα επανόρθωση της χωρητικότητας κάτω από κατάρρευση ζεύξεων ή τηλεπικοινωνιών. Η αναδιάρθρωση της χωρητικότητας των ζεύξεων περιλαμβάνει ανατοποθέτηση του bandwidth των τηλεπικοινωνιών και των τερματικών κέντρων σε διαφορετικές ζεύξεις. Η ψηφιακή τεχνολογία στα συστήματα κόμβων είναι διαθέσιμη στον συγκεντρωμένο έλεγχο διαχείρισης δικτύου παρέχοντας αναδιαρθρωμένη δρομολόγηση τηλεπικοινωνιών και ίσως πραγματικού χρόνου δρομολόγηση τηλεπικοινωνιών.

## 4. ΜΙΑ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία σχεδιασμού για τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις εξής φάσεις: τοπολογικό σχεδιασμό, κυκλοφοριακή δρομολόγηση και εκτίμηση μεγέθους στο δίκτυο μεταγωγής της κυκλοφορίας (σύνθεση δικτύου), και το σχεδιασμό της δρομολόγηση του κυκλώματος στο δίκτυο μετάδοσης [15]. Παραδοσιακά το αποτέλεσμα της τοπολογικής βελτιστοποίησης γίνεται είσοδος στο πρόβλημα της σύνθεσης του δικτύου, και με τη σειρά, το αποτέλεσμα της σύνθεσης του δικτύου γίνεται είσοδος στο σχεδιασμό του φυσικού δικτύου. Παρ' όλο που υπάρχει ένα χαλαρό ζευγάρι ανάμεσα στις δύο διαδικασίες και στον τοπολογικό σχεδιασμό επαναληπτικής φύσης, το τηλεπικοινωνιακό κυκλοφοριακό δίκτυο (ή αλλιώς λογικό δίκτυο) και το υποκείμενο φυσικό δίκτυο σχεδιάζονται, στην πράξη, ανεξάρτητα. Εδώ, το κυκλοφοριακό δίκτυο αναφέρεται στο λογικό δίκτυο όπου διαφορετικές υπηρεσίες παρέχονται (π.χ. φωνής, δεδομένων, βίντεο), και το δίκτυο μετάδοσης αναφέρεται στο φυσικό δίκτυο. Το θέμα του σχεδιασμού για το κυκλοφοριακό δίκτυο οριοθετείται βασικά στην παροχή βέλτιστης χωρητικότητας καναλιών σύνδεσης σε σχέση με ένα αποδεκτό επίπεδο μπλοκαρίσματος για το δίκτυο σε κανονική κατάσταση [13]. Ανάλογα, ο σχεδιασμός της δρομολόγησης κυκλώματος για το φυσικό δίκτυο βασίζεται στην ελάχιστου κόστους δρομολόγηση [14], [16], [17], [18], [19], [20]. Ωστόσο, όσο το φυσικό δίκτυο αλλάζει ραγδαία μέσω ενός δικτύου οπτικών ινών, ο γράφος του δικτύου γίνεται διάσπαρτος. Σαν αποτέλεσμα, μία απλή ζεύξη μετάδοσης σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να μεταφέρει ένα σημαντικό ποσό κυκλοφορίας.

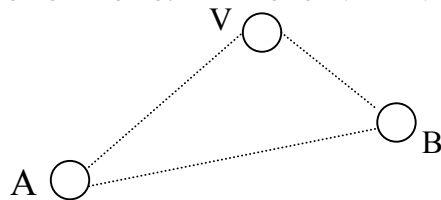
Εδώ θα παρουσιάσουμε μια ενοποιημένη προσέγγιση για το σχεδιασμό ευρείας περιοχής μεταγωγής κυκλώματος για το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κυκλοφορίας και του δικτύου μετάδοσης ταυτόχρονα [12], [15]. Αυτή η δουλειά δηλαδή έχει να κάνει με μη ιεραρχικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με δυνατότητες δυναμικής δρομολόγησης οι οποίες χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερες λογικές ζεύξεις για τη σύνδεση μιας κλήσης. Το φυσικό δίκτυο θεωρείται διάσπαρτο. Να σημειωθεί ότι δεν θεωρούμε το θεμελιώδη σχεδιασμό του φυσικού δικτύου (για παράδειγμα όχι επέκταση της χωρητικότητας του φυσικού δικτύου). Υπάρχουν δύο μοντέλα όπου δεν υπάρχουν ήδη κανάλια σύνδεσης στο δίκτυο (το μοντέλο «desert») και όπου υπάρχουν ήδη κανάλια σύνδεσης, αλλά ο σχεδιασμός γίνεται στην επιπρόσθετη εγκατάσταση καναλιών σύνδεσης για την ικανοποίηση των καινούργιων

αναγκών (το επαυξημένο μοντέλο). Στο μοντέλο Desert ωστόσο η δρομολόγηση επιτρέπει μονοπάτια μόνο μέχρι 2 λογικών ζεύξεων (two-link). Εδώ προτείνουμε μια αλλαγή στο μοντέλο αυτό, αφού θα δοκιμάζουμε σταδιακά για μονοπάτια μέχρι 2 ζεύξεων, μετά μέχρι 3 ζεύξεων κ.ο.κ. μέχρι να βρούμε το ελάχιστο κόστος για τις διάφορες τιμές της κίνησης στο δίκτυο. Και στις δύο περιπτώσεις, η χωρητικότητα των φυσικών ζεύξεων θεωρείται δοσμένη. Για αυτά τα δύο μοντέλα, εφαρμόζουμε γραμμικό προγραμματισμό τόσο για το λογικό όσο και για το φυσικό δίκτυο. Η διαδικασία μοντελοποίησης εφαρμόζεται σε γλώσσα προγραμματισμού C++ [22].

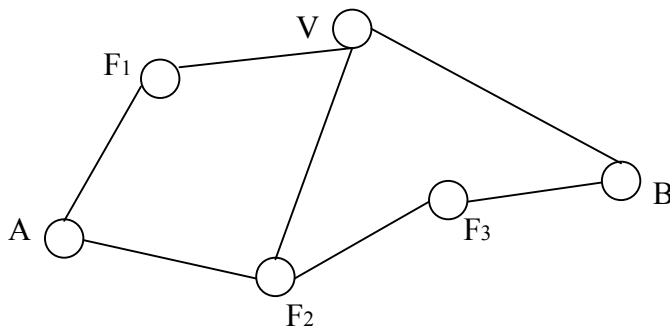
#### 4.2 Ενοποιημένα μοντέλα δικτύων

Θεωρούμε τον ενοποιημένο σχεδιασμό ενός μη ιεραρχικού δυναμικής δρομολόγησης λογικό δίκτυο μαζί με ένα διάσπαρτο φυσικό δίκτυο για τη μεταφορά της κυκλοφορίας στο δίκτυο, με ελαχιστοποίηση κόστους. Το επίπεδο της κυκλοφορίας που μεταφέρεται μπορεί να παρασχεθεί με βάση την παράμετρο του βαθμού εξυπηρέτησης (GOS) δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο μπλοκαρίσματος. Για το λογικό δίκτυο, έχουμε σαν δεδομένα το σετ των τερματικών κέντρων κυκλοφορίας, τον τηλεπικοινωνιακό πίνακα ανάμεσα στους κόμβους για διαφορετικές χρονικές περιόδους (ώρες) κατά τη διάρκεια μιας μέρας, το κόστος κάθε καναλιού σύνδεσης για κάθε ζεύξη, και το βαθμό εξυπηρέτησης GOS. Για το φυσικό δίκτυο, υποθέτουμε ότι έχουμε το σετ των κομβικών κέντρων, ένα σετ από ζεύξεις μετάδοσης, τη μέγιστη χωρητικότητα σ' αυτές τις ζεύξεις, και το κόστος του κυκλώματος για διαφορετικά μονοπάτια μετάδοσης του δικτύου. Παραπέρα υποθέτουμε ότι το σχέδιο του κυκλώματος παραμένει στατικό κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ η δρομολόγηση της κλήσης είναι δυναμική, που ποικίλει όσο οι αλλαγές στην κυκλοφορία από ένα γεγονός σ' ένα άλλο κατά τη διάρκεια μιας μέρας. Σημειώστε ότι οι θέσεις των κομβικών κέντρων δεν συμπίπτουν απαραίτητα με τις θέσεις των τερματικών κέντρων. Μία λογική ζεύξη (γνωστή ως ομάδα καναλιών σύνδεσης), που διαφέρει από τη φυσική ζεύξη, συνδέει δύο τερματικά κέντρα ενώ η φυσική ζεύξη συνδέει δύο κομβικά κέντρα. Ένα κυκλοφοριακό μονοπάτι αποτελείται από δύο ή περισσότερες λογικές ζεύξεις που συνδέει ένα ζευγάρι τερματικών κέντρων είτε άμεσα είτε έμμεσα. Ένα μονοπάτι μετάδοσης είναι το φυσικό μονοπάτι μιας λογικής ζεύξης που αποτελείται από φυσικές ζεύξεις που συνδέονται αλυσιδωτά. Πιο ξεκάθαρα, ένα κυκλοφοριακό μονοπάτι είναι διαφορετικό από ένα μονοπάτι μετάδοσης. Στο σχήμα 8(α) και 8(β), υπάρχει ένα παράδειγμα που δείχνει τις λογικές ζεύξεις ανάμεσα σε τρία κέντρα, δεδομένου ότι είναι τμήμα ενός μεγαλύτερου δικτύου. Υποθέτουμε ότι τα κομβικά κέντρα είναι τερματικά κέντρα για

τα A, V, και B. Για παράδειγμα, για μια κλήση ανάμεσα στα τερματικά κέντρα A και B, μπορούν να συνδεθούν χρησιμοποιώντας μια άμεση λογική ζεύξη A-B ή να γίνει μεταγωγή μέσω του κόμβου V & στη δεύτερη περίπτωση, η κλήση χρησιμοποιεί κανάλια σύνδεσης από τις λογικές ζεύξεις A-V και V-B. Το σχήμα 8(β) αντιστοιχεί στο υφιστάμενο φυσικό δίκτυο, όπως στο σχήμα 8(α), δείχνει τις φυσικές ζεύξεις. Εδώ τα κανάλια σύνδεσης ανάμεσα στα κέντρα A και B μπορούν να δρομολογηθούν χρησιμοποιώντας τα φυσικά μονοπάτια A-F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>-B, A-F<sub>1</sub>-V-B ή A-F<sub>2</sub>-V-B ή ένα συνδυασμό αυτών. Ανάλογα, η A-V μπορεί να χρησιμοποιήσει τα A-F<sub>1</sub>-V, A-F<sub>2</sub>-V, και η V-B μπορεί να χρησιμοποιήσει τα V-B, F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>-B. Αυτό το παράδειγμα δείχνει τη διαφορά ανάμεσα στο λογικό δίκτυο και στο φυσικό δίκτυο όπως και τη διαφορά ανάμεσα στη δρομολόγηση κλήσης και τη δρομολόγηση κυκλώματος.



(a)



(b)

Σχήμα 8

Παρακάτω θα κάνουμε μια μαθηματική περιγραφή του προβλήματος, αλλά πρώτα θα πρέπει να κάνουμε τους ανάλογους συμβολισμούς. Οι συμβολισμοί γίνονται ξεχωριστά για το λογικό δίκτυο και το φυσικό δίκτυο.

Λογικό δίκτυο:

K : Σύνολο των ζευγαριών των τερματικών κέντρων

L : Σύνολο των λογικών ζεύξεων

H : Σύνολο των περιόδων κυκλοφοριακού φορτίου (ώρες)



$J_{kh}$  : Σύνολο των λογικών μονοπατιών για το ζευγάρι κέντρων  $k \in K$  την ώρα  $h \in H$

$c_i$  : Κόστος ανά κανάλι σύνδεσης στη λογική ζεύξη  $i \in L$  (σε μονάδες των 100\$)

$y_i$  : Αριθμός καναλιών σύνδεσης που χρειάζονται για τη λογική ζεύξη  $i \in L$  (μεταβλητή)

$r_{kjh}$  : Ποσότητα ροής στο λογικό μονοπάτι  $j$  για το ζευγάρι κέντρων  $k$  την ώρα  $h$  (μεταβλητή)

$\delta_{ikjh}$  : 1 αν το λογικό μονοπάτι  $j$  για το ζευγάρι κέντρων  $k$  χρησιμοποιεί τη ζεύξη  $i$  την ώρα  $h$ , αλλιώς 0

$a_{kh}$  : Προσφερόμενο κυκλοφοριακό φορτίο (σε erlangs) για το ζευγάρι κέντρων  $k$  την ώρα  $h$

$(ut)_{kh}$  : Απαιτούμενα κανάλια σύνδεσης για εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας για το ζευγάρι κέντρων  $k$  την ώρα  $h$

#### Φυσικό δίκτυο:

$F$  : Σύνολο των φυσικών ζεύξεων στο φυσικό δίκτυο

$L_i$  : Σύνολο των φυσικών μονοπατιών για την λογική ζεύξη  $i$

$s_{ij}$  : Ροή κυκλώματος στο φυσικό μονοπάτι  $j \in L_i$  για την λογική ζεύξη  $i \in L$  (μεταβλητή)

$\Delta_{ijl}$  : 1 αν το φυσικό μονοπάτι  $j$  για την λογική ζεύξη  $i$  χρησιμοποιεί την φυσική ζεύξη  $l$ , αλλιώς 0

$u_i$  : Μέγιστη χωρητικότητα της φυσικής ζεύξης  $l \in F$

$f_{ij}$  : Κόστος ανά μονάδα ροής του κυκλώματος στο φυσικό μονοπάτι  $j$  για την λογική ζεύξη  $i$  (σε μονάδες των 100\$)

#### **4.2.1 Το μοντέλο Desert**

Πρώτα θα παρουσιάσουμε ένα μοντέλο όπου δεν υπάρχουν ήδη κανάλια σύνδεσης στο δίκτυο, έστω και αν η χωρητικότητα στις φυσικούς ζεύξεις θεωρείται δεδομένη. Σ' αυτό το μοντέλο θα αναφερόμαστε σαν το μοντέλο «desert» ή Μοντέλο A. Ο σκοπός εδώ είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των καναλιών σύνδεσης και του κόστους της δρομολόγησης κυκλωμάτων.

##### Μοντέλο Desert (μοντέλο A)

$$\min \sum_i c_i * y_i + \sum_i \sum_j f_{ij} * s_{ij} \quad (A1)$$

ως προς:

$$\sum_k r_{kjh} = (ut)_{kh}, \quad k \in K; h \in H; \quad (A2)$$

$$\sum_k \sum_j \delta_{ikjh} * r_{kjh}, \quad R \ y_i, \quad i \in L; h \in H; \quad (A3)$$

$$\sum_j s_{ij} = y_i, \quad i \in L; \quad (A4)$$

$$\sum_i \sum_j \Delta_{ij} * s_{ij} R_{ui}, \quad l \in F; \quad (A5)$$

Στο μοντέλο A, η εξίσωση (A1) αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος των καναλιών σύνδεσης και της δρομολόγησης κυκλώματος. Η εξίσωση (A2) αναφέρεται στην απαίτηση για την κυκλοφοριακή εξυπηρέτηση σε ποικίλα μονοπάτια κυκλοφορίας, σε διαφορετικές περιόδους κατά τη διάρκεια μιας μέρας. Η συνάρτηση  $u_i$ , χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απαίτηση για τον αριθμό των αρχικών ιδεατών καναλιών σύνδεσης για δοσμένο κυκλοφοριακό φορτίο δοσμένο σε erlangs, και την κατάσταση του δικτύου. Η έννοια των ιδεατών καναλιών σύνδεσης χρησιμοποιείται αφού μια κλήση μπορεί να απαιτεί μίας, δύο ή περισσότερων ζεύξεων γραμμές για την ολοκλήρωση της. Η (A3) δείχνει την χωρητικότητα των καναλιών σύνδεσης που καθορίζεται από την κυκλοφοριακή ροή κάθε λογικής ζεύξης. Η εξίσωση (A4) ενισχύει τις κυκλοφοριακές ανάγκες σε κάθε λογική ζεύξη στα φυσικά μονοπάτια. Η (A5) εξασφαλίζει ότι οι ανάγκες στις φυσικές ζεύξεις δεν ξεπερνούν τα άνω όρια. Σημειώστε ότι σ' ένα πλήρες διασυνδεδεμένο λογικό δίκτυο, ο αριθμός των καναλιών σύνδεσης είναι ίσος με τον αριθμό των ζευγαριών κέντρων. Σημειώστε επίσης ότι ο συνολικός αριθμός των τερματικών κέντρων μπορεί να διαφέρει από τον συνολικό αριθμό των κομβικών κέντρων.

#### 4.2.2 Το επαυξημένο μοντέλο

Το μοντέλο Desert είναι ένα βασικό μοντέλο για το ενοποιημένο σχεδιασμό δικτύων. Εδώ παρουσιάζουμε μια επέκταση του μοντέλου desert που την αναφέρουμε σαν επαυξημένο μοντέλο. Χρησιμοποιούμε τον όρο επαυξημένο μοντέλο με την έννοια ότι υποτίθεται ένα δοσμένο δίκτυο στην αρχή του κύκλου σχεδίασης και αναζητεί ένα βέλτιστο σχεδιασμό βασισμένο σ' αυτό το δίκτυο. Έτσι, αρχίζουμε με ένα δίκτυο το οποίο έχει ήδη ένα αρχικό αριθμό καναλιών σύνδεσης από μια προηγούμενη περίοδο σχεδίασης και τη γνώση σε ποια φυσικά μονοπάτια αυτά τα αρχικά κανάλια σύνδεσης έχουν δρομολογηθεί. Έτσι, ο στόχος για τον παρών κύκλο σχεδιασμού είναι η βελτιστοποίηση με βάση το αρχικό δίκτυο.

Οι μεταβλητές του μοντέλου desert χρησιμοποιούνται και στο επαυξημένο μοντέλο. Ωστόσο, οι παρακάτω έχουν τώρα διαφορετική έννοια:

- $t_i$  : Αρχικός αριθμός καναλιών σύνδεσης στο δεσμό  $i$  που υπάρχουν ήδη στο δίκτυο
- $y_i$  : Επιπλέον αριθμός καναλιών σύνδεσης που απαιτούνται για την λογική ζεύξη  $i$  (μεταβλητή)

$s_{ij}$  : Επιπρόσθετες κυκλοφοριακές ροές στο μονοπάτι  $j$  για το ζευγάρι  $i$  (μεταβλητή)

#### Επαυξημένο μοντέλο (Μοντέλο Β)

$$\min \sum_i c_i * y_i + \sum_i \sum_j f_{ij} * s_{ij} \quad (B1)$$

ως προς:

$$\sum_j r_{kjh} = (ut)_{kh}, \quad k \in K; h \in H; \quad (B2)$$

$$\sum_k \sum_j \delta_{ikjh} * r_{kjh}, R y_i + t_i, \quad i \in L; h \in H; (B3)$$

$$\sum_j s_{ij} = y_i, \quad i \in L; \quad (B4)$$

$$\sum_i \sum_j \Delta_{ijl} * s_{ij} R u_l, \quad l \in F; \quad (B5)$$

#### 4.2.3 Υπολογισμός των ιδεατών καναλιών σύνδεσης (ut)

Για ένα δοσμένο προσφερόμενο φορτίο, οι απαιτήσεις για τον αριθμό των καναλιών σύνδεσης υπολογίζονται με βάση το προσφερόμενο φορτίο, την κατάσταση του δικτύου και το επίπεδο GOS. Το φορτίο που μεταφέρεται σε ένα περιβάλλον δυναμικής δρομολόγησης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: μέσω μιας άμεσης (με μία λογική ζεύξη) κυκλοφοριακής σύνδεσης ή μέσω μιας έμμεσης (με δύο ή περισσότερες λογικές ζεύξεις). Άρα τα ιδεατά κανάλια που απαιτούνται προκειμένου να μεταφερθεί το προσφερόμενο φορτίο δίνεται από το τύπο του Erlang [10]:

$$B(\alpha, c) = \frac{\alpha^c / c!}{\sum_{k=0}^c \alpha^k / k!}$$

όπου  $\alpha$  είναι το προσφερόμενο φορτίο,  $c$  τα κανάλια σύνδεσης και  $B(c, \alpha)$  το ποσοστό μπλοκαρίσματος. Η συνάρτηση (ut) είναι τότε η αντίστροφη της Erlang B σχέσης δηλαδή:

$$(ut)_{kh} = B^{-1}(\alpha_{kh}, B_{kh})$$

#### 4.3 Ο γραμμικός προγραμματισμός των δύο μοντέλων

Προκειμένου να κάνουμε απλούστερο το επαυξημένο μοντέλο, το χωρίζουμε σε δύο μικρότερα μοντέλα, ένα για το λογικό δίκτυο και ένα για το φυσικό. Άρα το μοντέλο C έχει τις παρακάτω εξισώσεις (το οποίο αναφέρεται στο λογικό δίκτυο):

##### Μοντέλο C

$$\min \sum_i c_i * y_i \quad (C1)$$

$$\sum_j r_{kjh} = (ut)_{kh}, \quad k \in K; h \in H; \quad (C2)$$

$$\sum_k \sum_j \delta_{ikjh} * r_{kjh}, \quad R y_i, \quad i \in L; h \in H; (C3)$$

Αφού βρεθούν το κόστος του λογικού δικτύου καθώς και τα  $y_i$  βάζουμε τα τελευταία στο παρακάτω μοντέλο D για το φυσικό δίκτυο. Έτσι βρίσκουμε και το κόστος του φυσικού δικτύου (άρα και το συνολικό κόστος):

Μοντέλο D

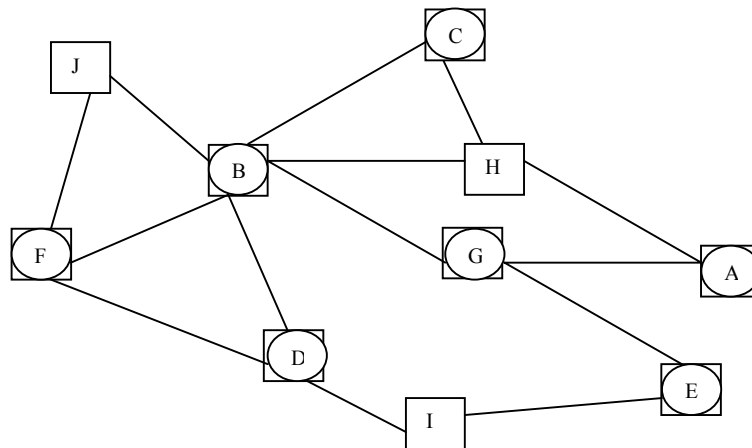
$$\min \sum_i \sum_j f_{ij} * s_{ij} \quad (D1)$$

$$\sum_j s_{ij} = y_i, \quad i \in L; \quad (D2)$$

$$\sum_i \sum_j \Delta_{ijl} * s_{ij} \leq u_l, \quad l \in F; \quad (D3)$$

#### 4.4 Εφαρμογή της νέας πρότασης στο μοντέλο Desert σε τέσσερα υποδείγματα δικτύων

Κατ' αρχήν θα θεωρήσουμε τέσσερα δίκτυα στα οποία θα γίνει εφαρμογή του μοντέλου Desert. Το πρώτο θα το ονομάσουμε «Δίκτυο 1» και έχει την παρακάτω τοπολογία και χαρακτηριστικά:



□ : Κομβικά Κέντρα Μεταγωγής

○ : Τερματικά Κέντρα

Δίκτυο 1

Το Δίκτυο 1 έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

$c_i$  (100\$):

- 0 AG = 4.000000
- 1 BC = 3.600000
- 2 BD = 6.500000
- 3 BF = 3.300000
- 4 BG = 3.600000
- 5 DF = 8.000000
- 6 EG = 5.900000

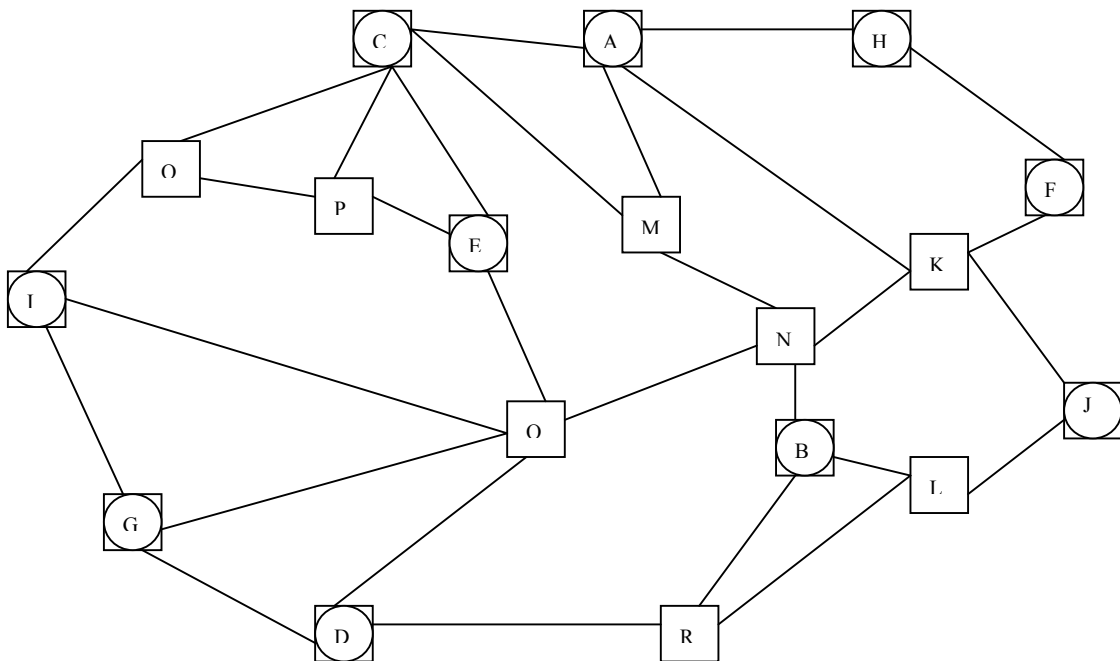
7 AB = 9.000000  
 8 AC = 4.400000  
 9 DE = 6.400000,

$u_i = 1400.0$

και

$f_{ij}$  (100\$): 0 AG = 5.600000  
 1 BC = 3.600000  
 2 BHC = 3.600000  
 3 BD = 4.700000  
 4 BF = 2.600000  
 5 BJF = 3.200000  
 6 BG = 5.700000  
 7 DF = 3.600000  
 8 EG = 3.200000  
 9 AHB = 5.300000  
 10 AHC = 5.700000  
 11 DIE = 3.600000

Το δεύτερο δίκτυο θα το ονομάσουμε «Δίκτυο 2» και έχει την παρακάτω τοπολογία και χαρακτηριστικά:



□ : Κομβικά Κέντρα Μεταγωγής

○ : Τερματικά Κέντρα

Δίκτυο 2

Το Δίκτυο 2 έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

$c_i$  (100\$): 0 AC =4.000000  
 1 AH =3.600000  
 2 CE =6.500000  
 3 DG =3.300000  
 4 FH =3.600000  
 5 GI =8.000000  
 6 AF =5.900000  
 7 AJ =9.000000  
 8 BD =4.400000  
 9 BJ =6.400000  
 10 CI =5.000000  
 11 DE =4.500000  
 12 DI =5.400000  
 13 EG =7.500000  
 14 EI =5.300000  
 15 FJ =9.500000  
 16 AB =3.800000  
 17 BC =5.500000  
 18 BE =2.300000  
 19 BG =7.400000  
 20 BI =5.500000  
 21 CJ =6.000000  
 22 DJ =5.900000  
 23 EJ =4.500000  
 24 GJ =2.600000  
 25 IJ =6.300000  
 26 AD =3.400000  
 27 AE =5.600000  
 28 AG =4.600000  
 29 AI =4.500000  
 30 CD =3.500000  
 31 CG =5.300000

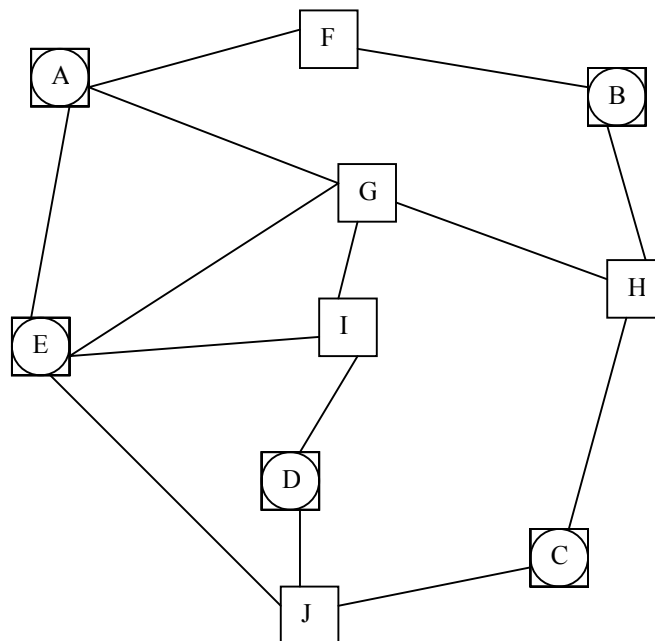
$u_i = 3000.0$

και

$f_{ij}$  (100\$): 0 AC =5.600000  
 1 AMC =3.600000  
 2 AH =3.600000  
 3 CE =4.700000  
 4 CPE =2.600000  
 5 CQPE =3.200000  
 6 CMNOE =5.700000  
 7 DG =3.600000

8 DOG =3.200000  
9 FH =5.300000  
10 GI =5.700000  
11 GOI =3.600000  
12 AKF =3.600000  
13 AKJ =3.200000  
14 AMNJ =4.500000  
15 BRD =6.200000  
16 BNOD =3.400000  
17 BLRD =3.500000  
18 BLJ =2.000000  
19 BNJ =1.300000  
20 BRLJ =1.500000  
21 CQI =3.600000  
22 CPQI =3.600000  
23 CMNOI =2.400000  
24 DOE =5.200000  
25 DOI =4.600000  
26 EOG =3.400000  
27 EOI =6.300000  
28 EPQI =2.500000  
29 FKJ =5.200000  
30 AMNB =2.400000  
31 BNMC =2.600000  
32 BNOE =4.300000  
33 BNOG =5.600000  
34 BNOI =4.600000  
35 CMNJ =3.700000  
36 DRLJ =2.400000  
37 DONJ =7.500000  
38 EONJ =3.500000  
39 GONJ =6.300000  
40 IONJ =4.600000  
41 AMNOD =3.200000  
42 AMNOE =4.600000  
43 AMNOG =7.400000  
44 AMNOI =3.500000  
45 CMNOD =6.500000  
46 CMNOG =5.400000

Το 3<sup>ο</sup> δίκτυο το ονομάζουμε «Δίκτυο 3» και έχει την παρακάτω τοπολογία και χαρακτηριστικά:



- : Κομβικά Κέντρα Μεταγωγής
- : Τερματικά Κέντρα

Δίκτυο 3

$c_i$  (100\$):

- 0 AE = 9.000000
- 1 AB = 4.400000
- 2 BC = 6.400000
- 3 CD = 5.000000
- 4 CE = 4.500000
- 5 DE = 5.400000
- 6 AC = 7.500000
- 7 AD = 5.300000
- 8 BE = 9.500000
- 9 BD = 5.400000

$u_i = 1000.0$

και

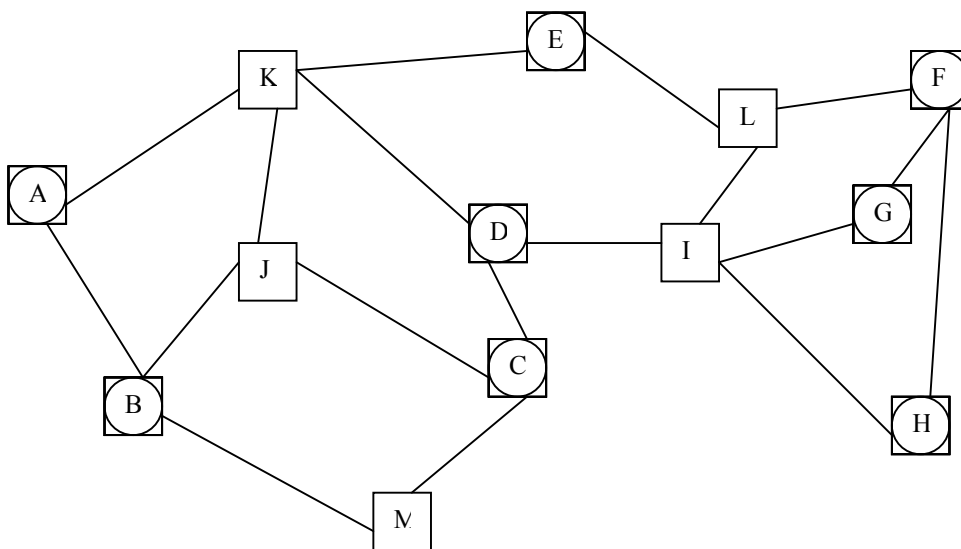
$f_{ij}$  (100\$):

- AE = 3.600000
- AGE = 3.200000



AGIE = 5.300000  
 AFB = 5.700000  
 AGHB = 3.600000  
 BHC = 3.600000  
 CJD = 3.200000  
 CHGID = 4.500000  
 CJE = 6.200000  
 CHGE = 3.400000  
 CHGIE = 3.500000  
 DIE = 2.000000  
 DJE = 1.300000  
 DIGE = 1.500000  
 AGHC = 3.600000  
 AGID = 4.300000

Το 4<sup>ο</sup> δίκτυο το ονομάζουμε «Δίκτυο 4» και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:



□ : Κομβικά Κέντρα Μεταγωγής  
 ○ : Τερματικά Κέντρα

Δίκτυο 4

$c_i$  (100\$):  
 0 AB = 4.000000  
 1 CD = 3.600000  
 2 FG = 6.500000  
 3 FH = 3.300000  
 4 AD = 3.600000

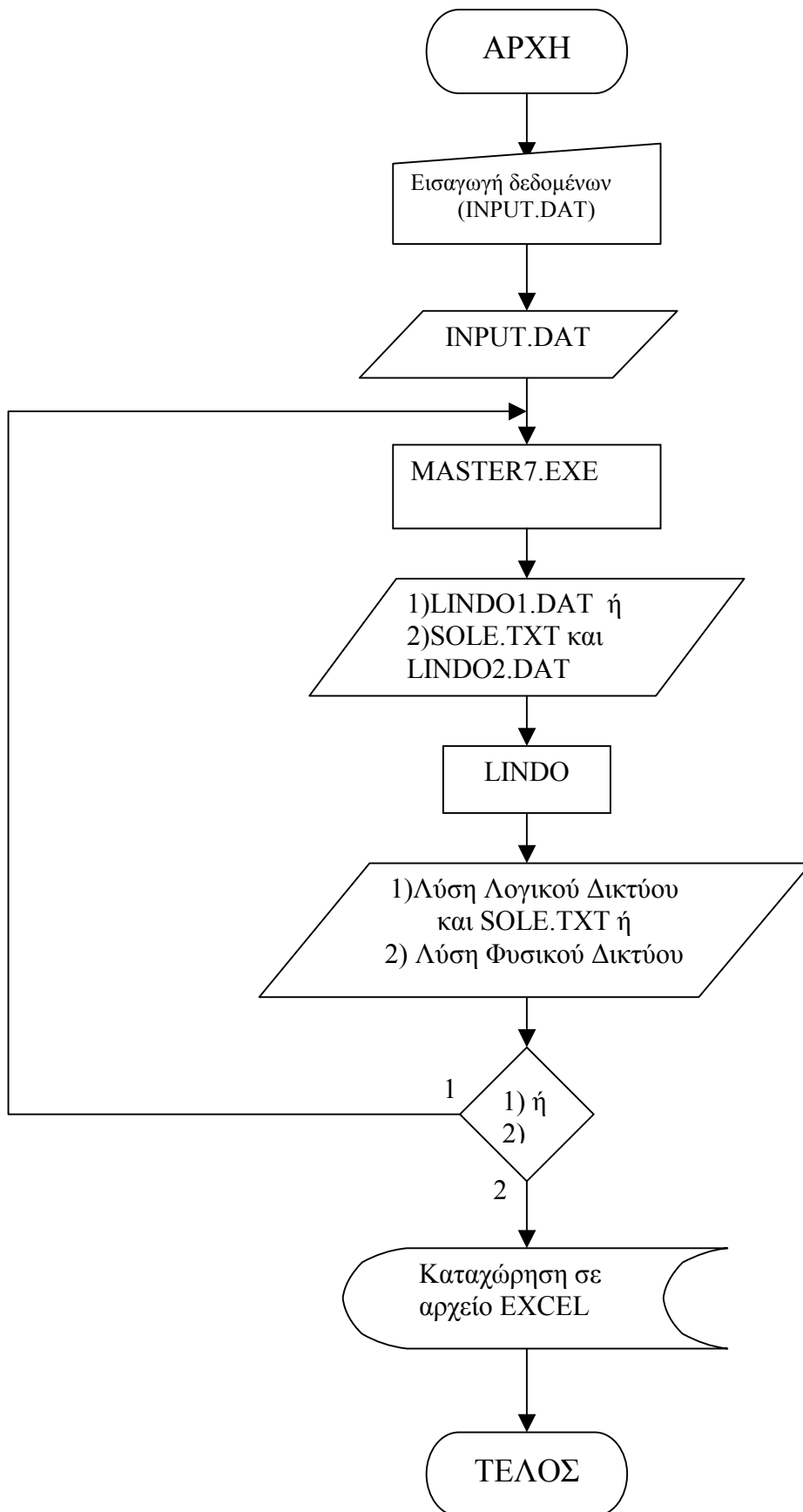
5 AE = 8.000000  
6 BC = 5.900000  
7 DE = 9.000000  
8 DG = 4.400000  
9 DH = 6.400000  
10 EF = 5.000000  
11 GH = 4.500000  
12 AC = 5.400000  
13 BD = 7.500000  
14 BE = 5.300000  
15 CE = 9.500000  
16 DF = 3.800000  
17 EG = 5.500000  
18 EH = 2.300000

$u_i = 2000.0$

και

$f_{ij}$  (100\$): AB = 5.600000  
AKJB = 3.600000  
CD = 3.600000  
CJKD = 4.700000  
FG = 2.600000  
FLIG = 3.200000  
FH = 5.700000  
FLIH = 3.600000  
AKD = 3.200000  
AKE = 5.300000  
BJC = 5.700000  
BMC = 3.600000  
DKE = 3.600000  
DILE = 3.200000  
DIG = 4.500000  
DIH = 6.200000  
ELF = 3.400000  
GIH = 3.500000  
AKJC = 2.000000  
BJKD = 1.300000  
BJKE = 1.500000  
CJKE = 3.600000  
DILF = 3.600000  
ELIG = 2.400000  
ELIH = 5.200000

Πριν γίνει η εφαρμογή της νέας πρότασης στο μοντέλο Desert στα τέσσερα δίκτυα, πρέπει να γίνει μια λεπτομερή αναφορά του τρόπου λειτουργίας της διαδικασίας desert. Η εφαρμογή του μοντέλου Desert γίνεται με το παρακάτω διάγραμμα ροής της επόμενης σελίδας:



Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα ροής, η διαδικασία επίλυσης του μοντέλου Desert χωρίζεται σε δύο τμήματα: το 1) που έχει να κάνει με τη διαδικασία δημιουργίας του γραμμικού προγραμματισμού στο λογικό δίκτυο και την επίλυση του, και το 2) που έχει να κάνει με τη δημιουργία του γραμμικού προγραμματισμού στο φυσικό δίκτυο και την επίλυση του. Το αρχείο Master7.exe δημιουργεί τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού σε αρχεία μορφής LINDO, και μετά τα λύνουμε αυτά μέσα από το πρόγραμμα LINDO. Πρώτα λύνεται το 1) που βρίσκει το κόστος του λογικού δικτύου και την κατανομή των καναλιών σύνδεσης στις ζεύξεις του, και μετά το 2) που βρίσκει το κόστος του φυσικού δικτύου και άρα το συνολικό κόστος. Λεπτομερέστερα η διαδικασία λειτουργεί ως εξής:

Καταρχήν βεβαιωνόμαστε ότι στον υπολογιστή που δουλεύουμε υπάρχει εγκατεστημένο το πρόγραμμα LINDO. Σ' ένα φάκελο του σκληρού δίσκου του υπολογιστή, που έστω τον ονομάζουμε Program, αποθηκεύουμε το αρχείο Master7.exe. Δημιουργούμε το αρχείο Input.dat όπου εκεί θα εισάγουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του δικτύου, και το αποθηκεύουμε στον ίδιο φάκελο που αποθηκεύσαμε το αρχείο Master7.exe. Το αρχείο Input.dat μπορεί να έχει την εξής μορφή:

```

AG
AH
BC
BD
BF
BG
BH
BJ
CH
DF
DI
EG
EI
FJ
1
A
B
C
D
E
F
G
1
100.76
110.392
130.896
0.01
0.01
0.01
4.
3.6
6.5
3.3
3.6
8.
5.9
9.

```

4.4  
6.4  
1400.0  
5.6  
3.6  
3.6  
4.7  
2.6  
3.2  
5.7  
3.6  
3.2  
5.3  
5.7  
3.6

Τα πρώτα ζευγάρια λέξεων που γράφονται μέχρι τον αριθμό 1, είναι οι ζεύξεις του φυσικού δικτύου ή αλλιώς οι ακμές του γράφου που παριστάνει το δίκτυο. Ουσιαστικά πρόκειται για την τοπολογία του δικτύου. Ανάμεσα στα δύο 1, γράφονται οι κόμβοι που είναι τερματικά κέντρα (συνήθως βάζουμε τα πρώτα γράμματα της αλφαβήτου). Οι τρεις επόμενοι αριθμοί είναι η μέση προσφερόμενη κυκλοφορία σε erlangs, σε τρεις περιόδους της ημέρας, που υπάρχει ανάμεσα σ' ένα ζευγάρι τερματικών κέντρων, θεωρώντας ότι το δίκτυο είναι ομογενές. Οι επόμενοι αριθμοί είναι κατά σειρά τα  $c_i$ , το  $u_i$ , και τα  $f_{ij}$ . Η διάταξη με την οποία καταχωρούνται οι τιμές  $c_i$  και στα  $f_{ij}$ , δίνονται στο αρχείο Output.dat το οποίο δημιουργείται αφού «τρέξουμε» το Master7.exe με την παρακάτω εντολή:

```
C:\Program>Master7.exe input.dat output.dat
```

Και επιλέξουμε την τιμή 0 στο παρακάτω μενού που θα μας εμφανιστεί:

*Please choose one of the following:*

*0: for creating output.dat*

*1: for creating lindo1.dat*

*2: for creating lindo2.dat*

*Choice: \_*

Το αρχείο Output.dat μπορεί να έχει την εξής μορφή:

```
10  
0 AG 4.000000  
1 BC 3.600000  
2 BD 6.500000  
3 BF 3.300000  
4 BG 3.600000  
5 DF 8.000000  
6 EG 5.900000  
7 AB 9.000000  
8 AC 4.400000
```

```

9 DE 6.400000
12
0 AG 5.600000
1 BC 3.600000
2 BHC 3.600000
3 BD 4.700000
4 BF 2.600000
5 BJF 3.200000
6 BG 5.700000
7 DF 3.600000
8 EG 3.200000
9 AHB 5.300000
10 AHC 5.700000
11 DIE 3.600000

```

Αφού βάλουμε τις τιμές για τους συντελεστές  $c_i$  και  $f_{ij}$  στο αρχείο Input.dat όπως μας παρουσιάζονται στο αρχείο Output.dat, δίνουμε την ίδια εντολή μόνο που τώρα επιλέγουμε 1, για να δημιουργηθεί το αρχείο Lindo1.dat το οποίο περιέχει το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού σε μορφή LINDO.

Στην αρχή μας ζητάει να θέσουμε τον μέγιστο αριθμό των ενδιάμεσων τερματικών κέντρων που μπορεί να έχει ένα κυκλοφοριακό μονοπάτι στο λογικό δίκτυο. Αφού θέσουμε το ζητούμενο αριθμό, το πρόγραμμα δημιουργεί το Lindo1.dat. Εκτελούμε το πρόγραμμα LINDO και θέτουμε τα δεδομένα του αρχείου Lindo1.dat σε αυτό. Λύνουμε το πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού με την εντολή Solve του LINDO, και το κόστος του λογικού δικτύου, καθώς και τις τιμές των  $y_i$  τις καταχωρούμε σε ένα αρχείο EXCEL καθώς και στο αρχείο Sole.txt. Το αρχείο Sole.txt ,μπορεί να έχει την εξής μορφή:

```

18747.0
176
176
176
88
264
264
440
88
56
56

```

όπου ο πρώτος αριθμός είναι το κόστος του λογικού δικτύου, ενώ οι υπόλοιποι αριθμοί είναι οι τιμές των  $y_i$ . Αυτό ήταν το α) μέρος της διαδικασίας. Το β) μέρος αρχίζει εκτελώντας πάλι την ίδια εντολή:

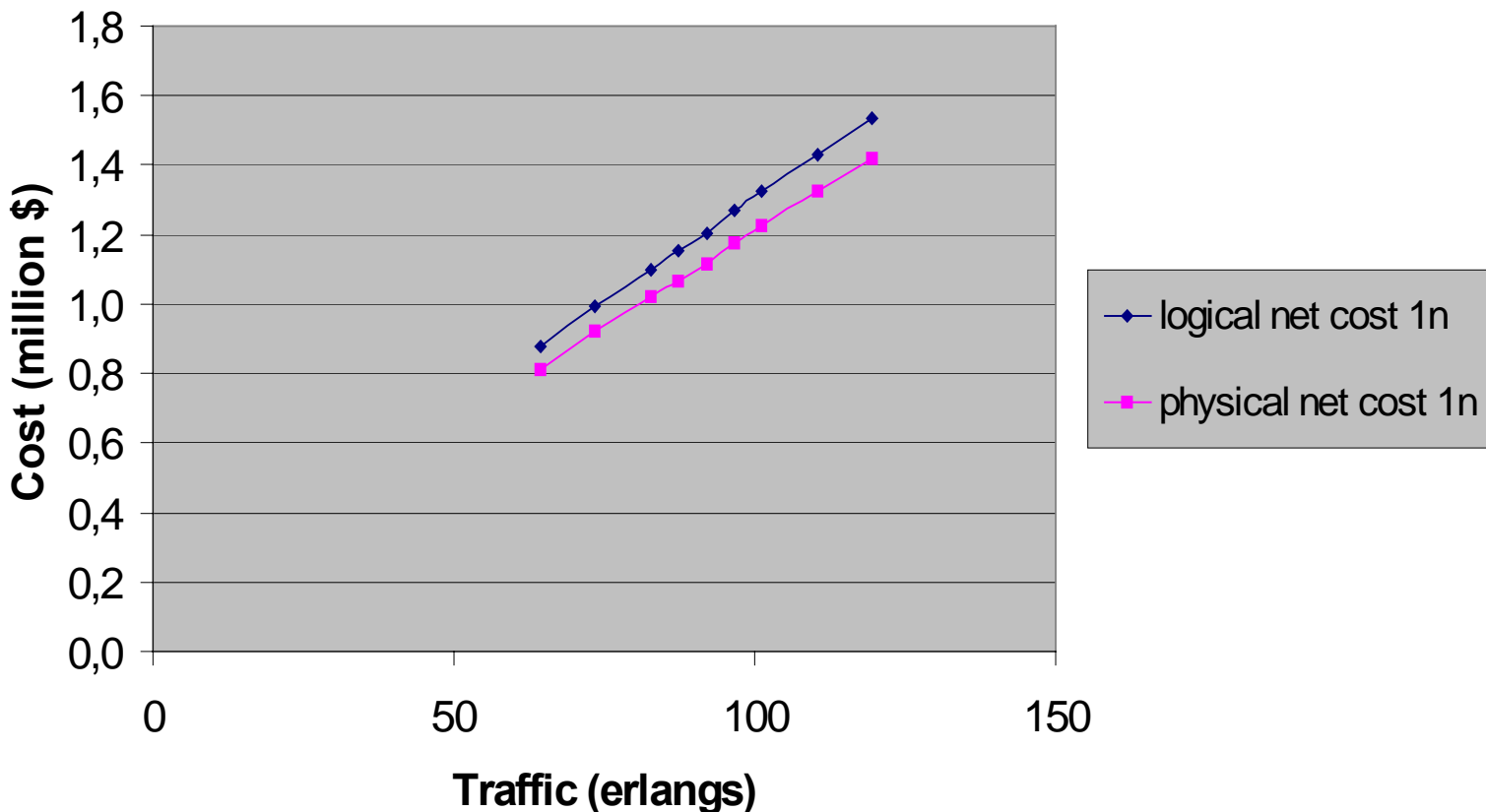
```
C:\Program>Master7.exe input.dat output.dat
```

Μόνο που τώρα στο μενού επιλέγουμε 2. Τώρα δημιουργείται το αρχείο Lindo2.dat το οποίο είναι το πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού για το φυσικό δίκτυο. Μετά παίρνουμε τα δεδομένα του Lindo2.dat και τα «τρέχουμε» μέσα από το πρόγραμμα LINDO. Έτσι βρίσκουμε και το κόστος του φυσικού δικτύου.

Συνολικά η διαδικασία αυτή συμπεριλαμβάνει τα αρχεία Master7.exe, Lindo1.dat, Lindo2.dat, Input.dat, Output.dat, Sole.txt. Επίσης, τα αρχεία mylist.h και antibeta.h είναι ενσωματωμένα στο Master7.exe που είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Το mylist.h, χρησιμοποιείται για να φτιάχνει διατεταγμένες λίστες, ενώ το antibeta.h περιέχει την αντίστροφη συνάρτηση Erlang B. Όλα τα αρχεία πρέπει να υπάρχουν, ή δημιουργούνται μερικά απ' αυτά, στον ίδιο φάκελο που υπάρχει το Master7.exe.

Τώρα που είδαμε πώς λειτουργεί η διαδικασία Desert, θα την εφαρμόσουμε στο Δίκτυο 1. Αφού θέσουμε τα στοιχεία του δικτύου στο αρχείο Input.dat, θέτουμε μέχρι 1 ενδιάμεσο τερματικό κέντρο και τρέχουμε την διαδικασία για διάφορες τιμές κυκλοφοριακής κίνησης. Μετά επιλέγουμε μέχρι 2 ενδιάμεσα τερματικά κέντρα κ.ο.κ. Με βάση τα παραπάνω έχουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:

## Network 1



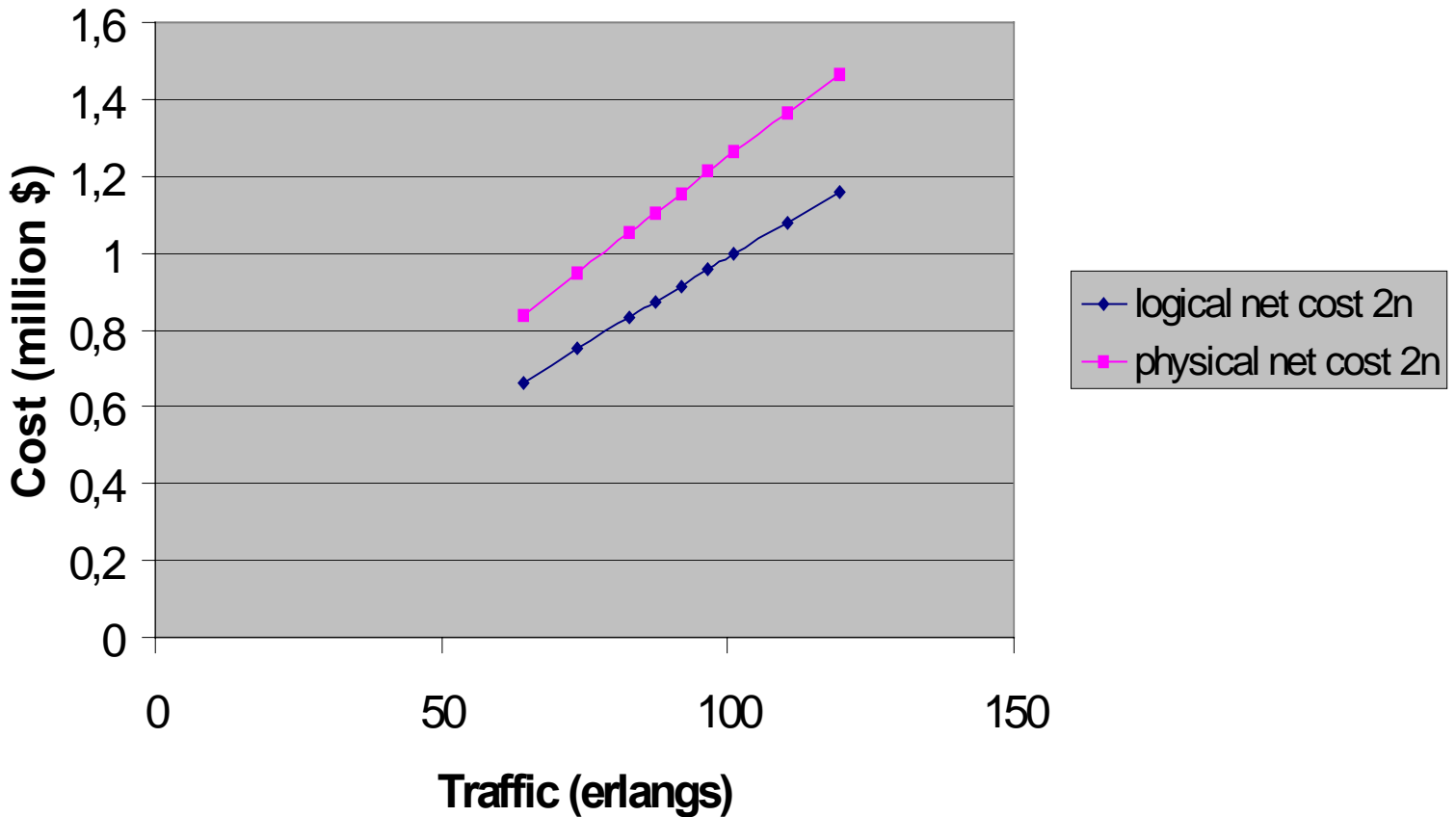
*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για ένα ενδιάμεσο κόμβο για το Δίκτυο 1*

Διάγραμμα 1



Για μέχρι 2 ενδιάμεσα τερματικά κέντρα βρέθηκαν τα αποτελέσματα που υπάρχουν στο παρακάτω διάγραμμα:

## Network 1

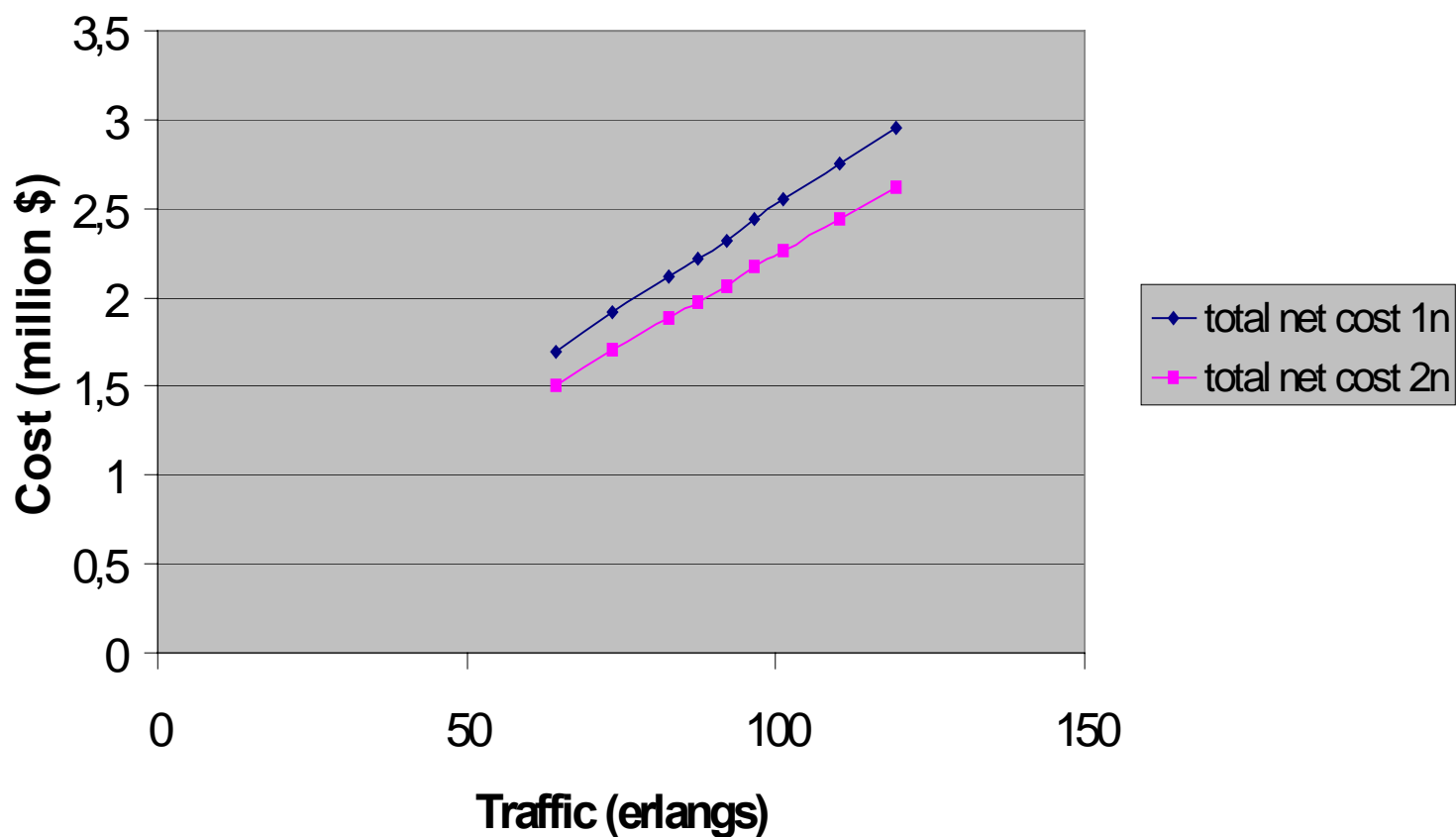


*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για δύο ενδιάμεσους κόμβους για το Δίκτυο 1.*

Διάγραμμα 2

Για 3,4 και 5 ενδιάμεσα τερματικά κέντρα, βρέθηκε ότι έχουν ίδια λύση με αυτήν των 2 κέντρων για οποιοσδήποτε τιμές κυκλοφοριακής κίνησης. Από τις παραπάνω περιπτώσεις επιλέγουμε για μέχρι 2 ενδιάμεσα κέντρα για δύο λόγους: α)γιατί το Δίκτυο 1 είναι σχετικά μικρό και 2 ενδιάμεσα κέντρα είναι αρκετά να καλύψουν οποιαδήποτε ανάγκη για εναλλακτικά δρομολόγια και β)γιατί όσο πιο μεγάλα είναι τα μονοπάτια στο λογικό δίκτυο τόσο οι δρομολογήσεις είναι ακριβότερες λόγω των κόστων μεταγωγής. Επομένως επιλέγουμε για τα λογικά μονοπάτια να έχουν μέχρι 2 ενδιάμεσα τερματικά κέντρα., που είναι μικρότερου κόστους απ' ότι με 1 όπως φαίνεται στο διάγραμμα της παρακάτω σελίδας:

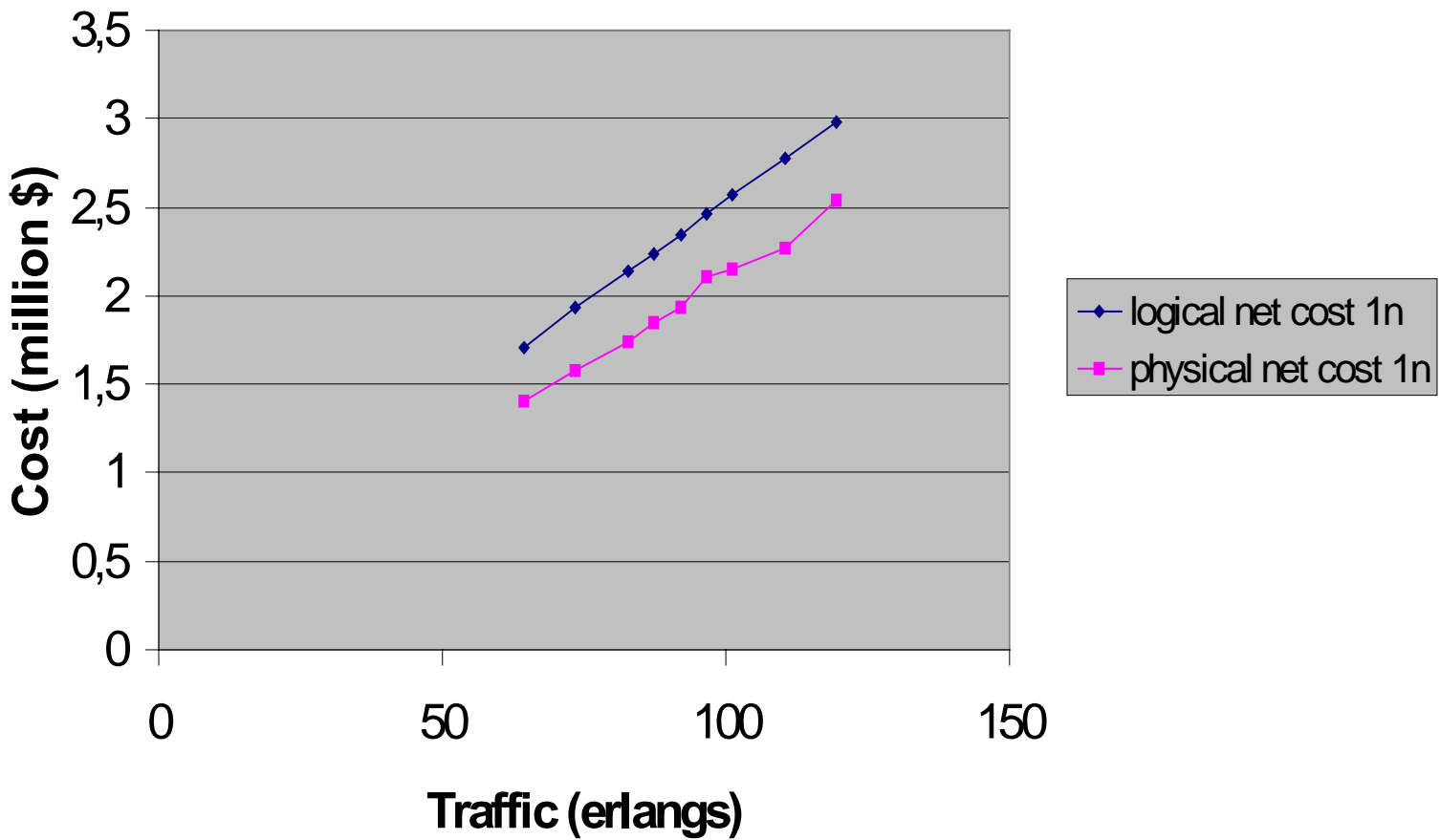
## Network 1



*Συνολικά κόστη για 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα για το Δίκτυο 1  
Διάγραμμα 3*

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα Δίκτυα 2, 3 και 4. Ενδεικτικά δείχνουμε τα αποτελέσματα για 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα καθώς και μια σύγκριση μεταξύ τους στα παρακάτω διαγράμματα:

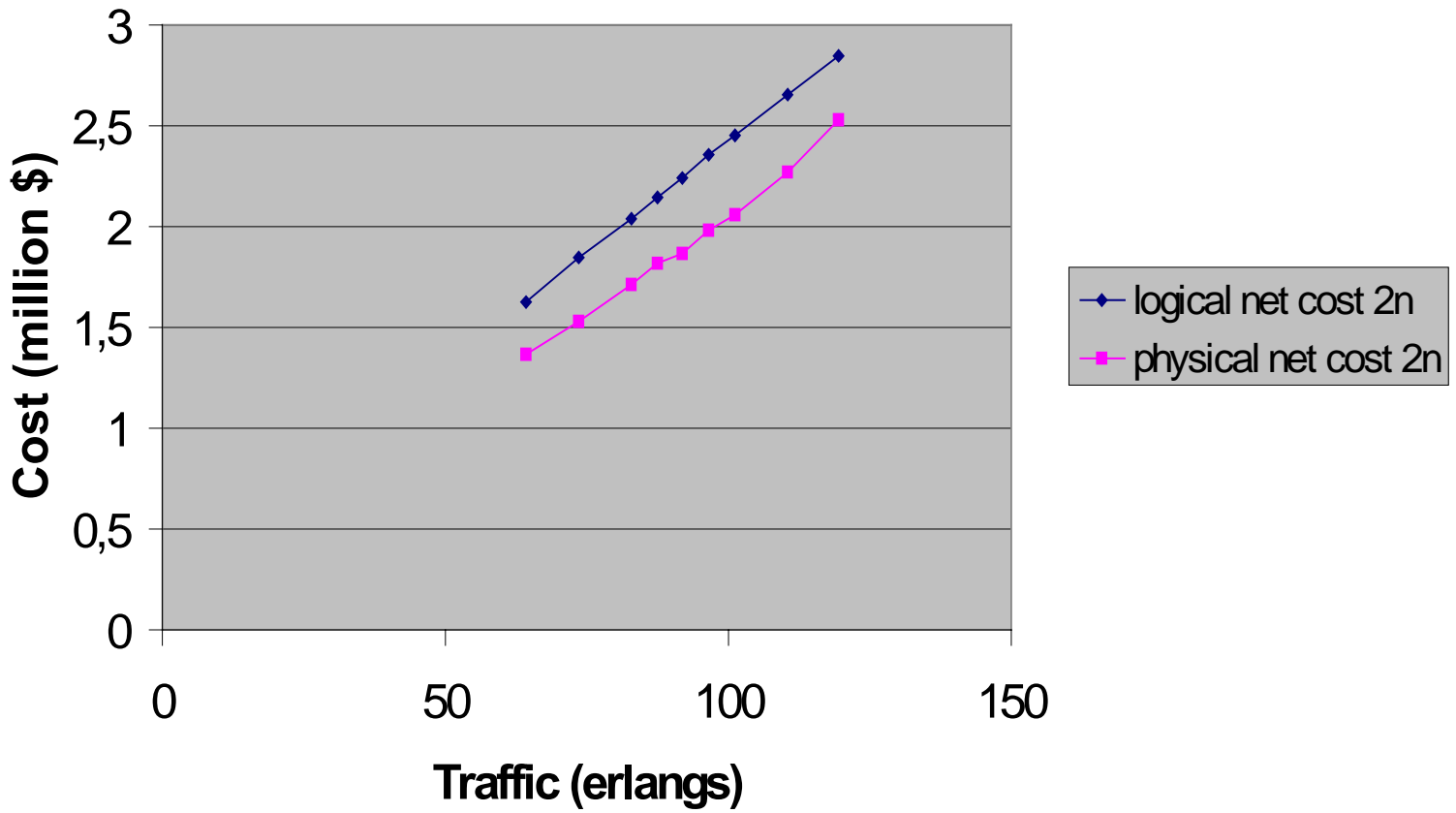
## Network 2



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για ένα ενδιάμεσο κόμβο για το Δίκτυο 2*

Διάγραμμα 4

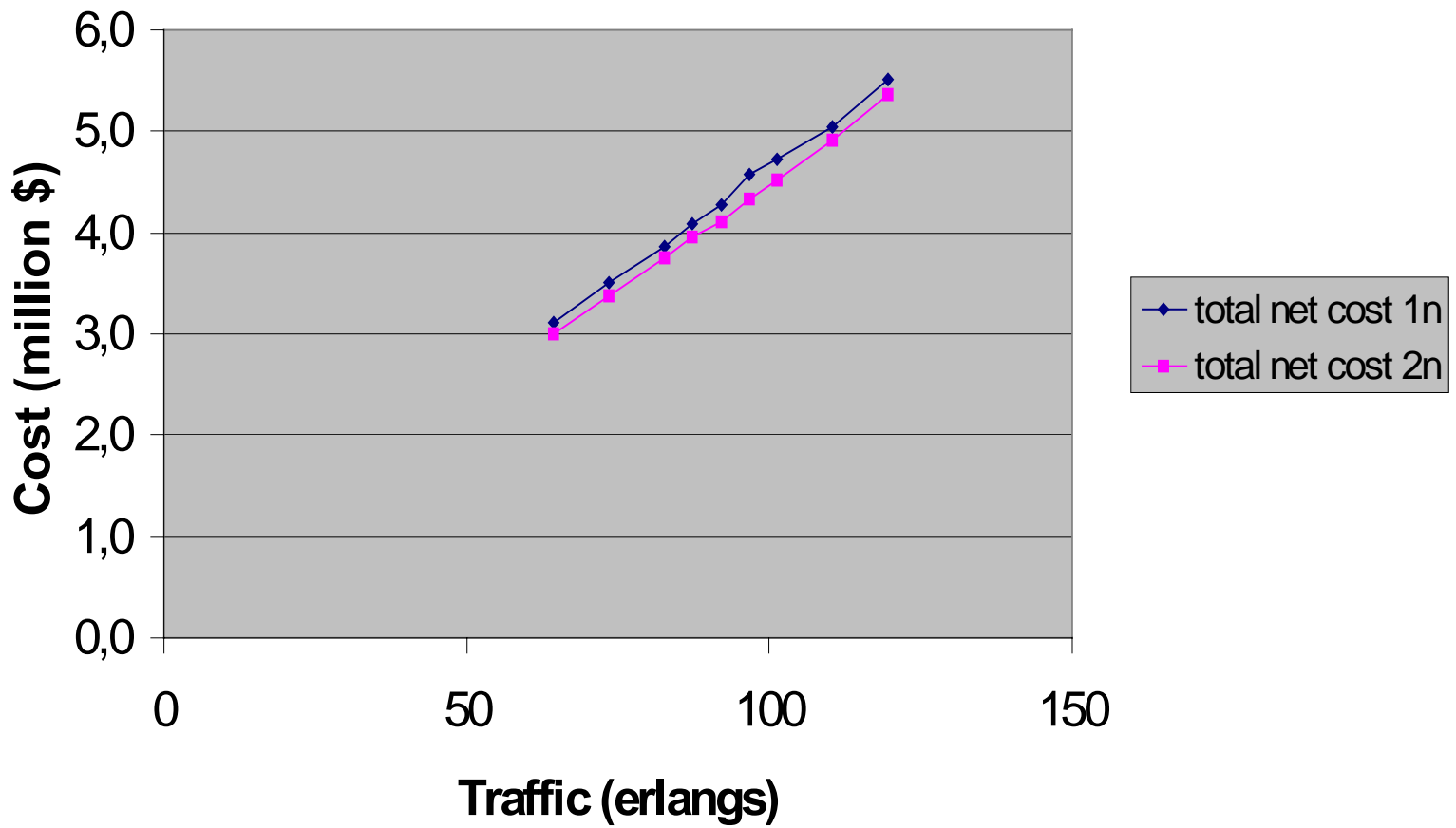
## Network 2



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για δύο ενδιάμεσους κόμβους για το Δίκτυο 2*

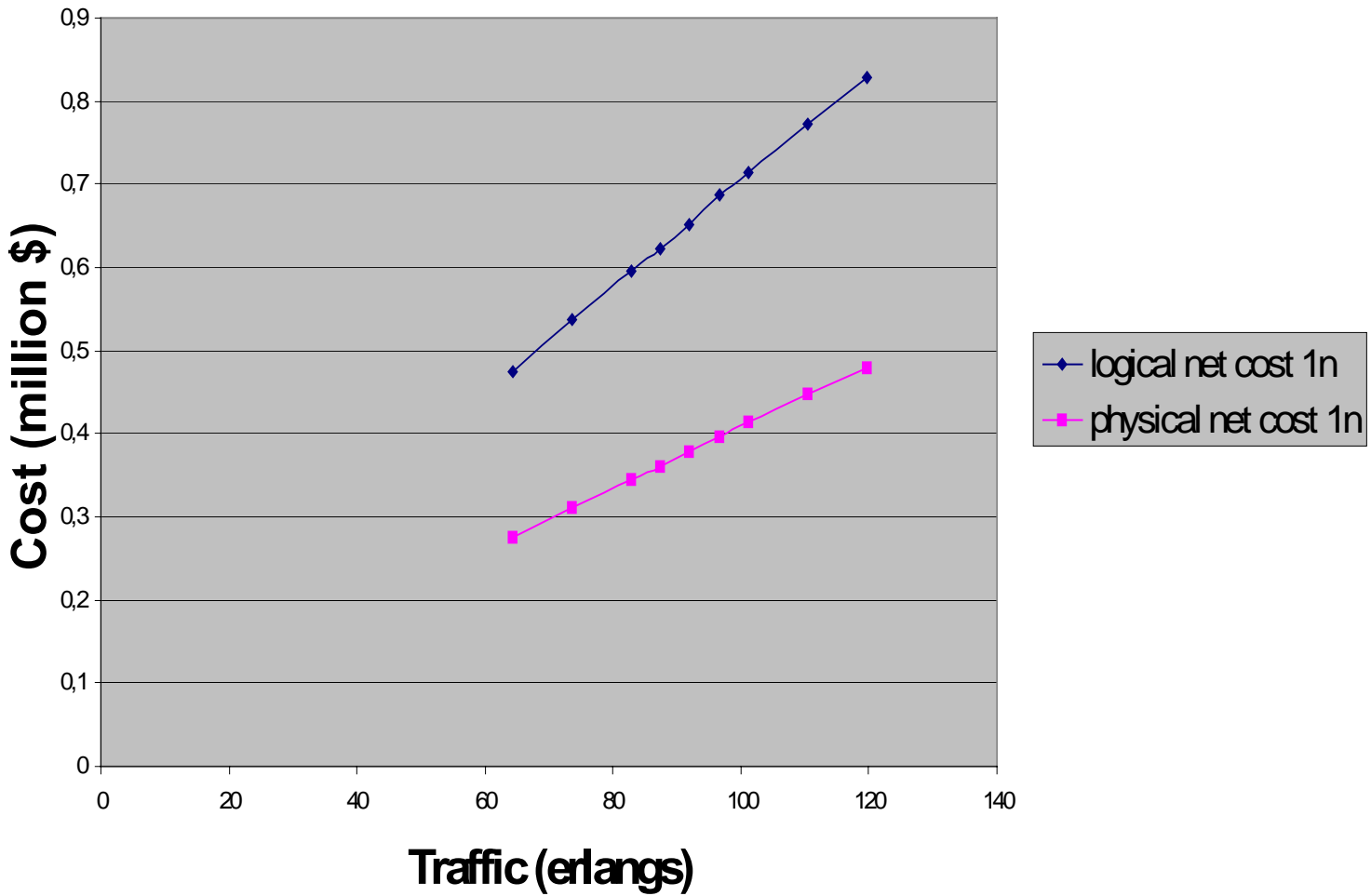
Διάγραμμα 5

## Network 2



Συνολικά κόστη για 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα για το Δίκτυο 2  
Διάγραμμα 6

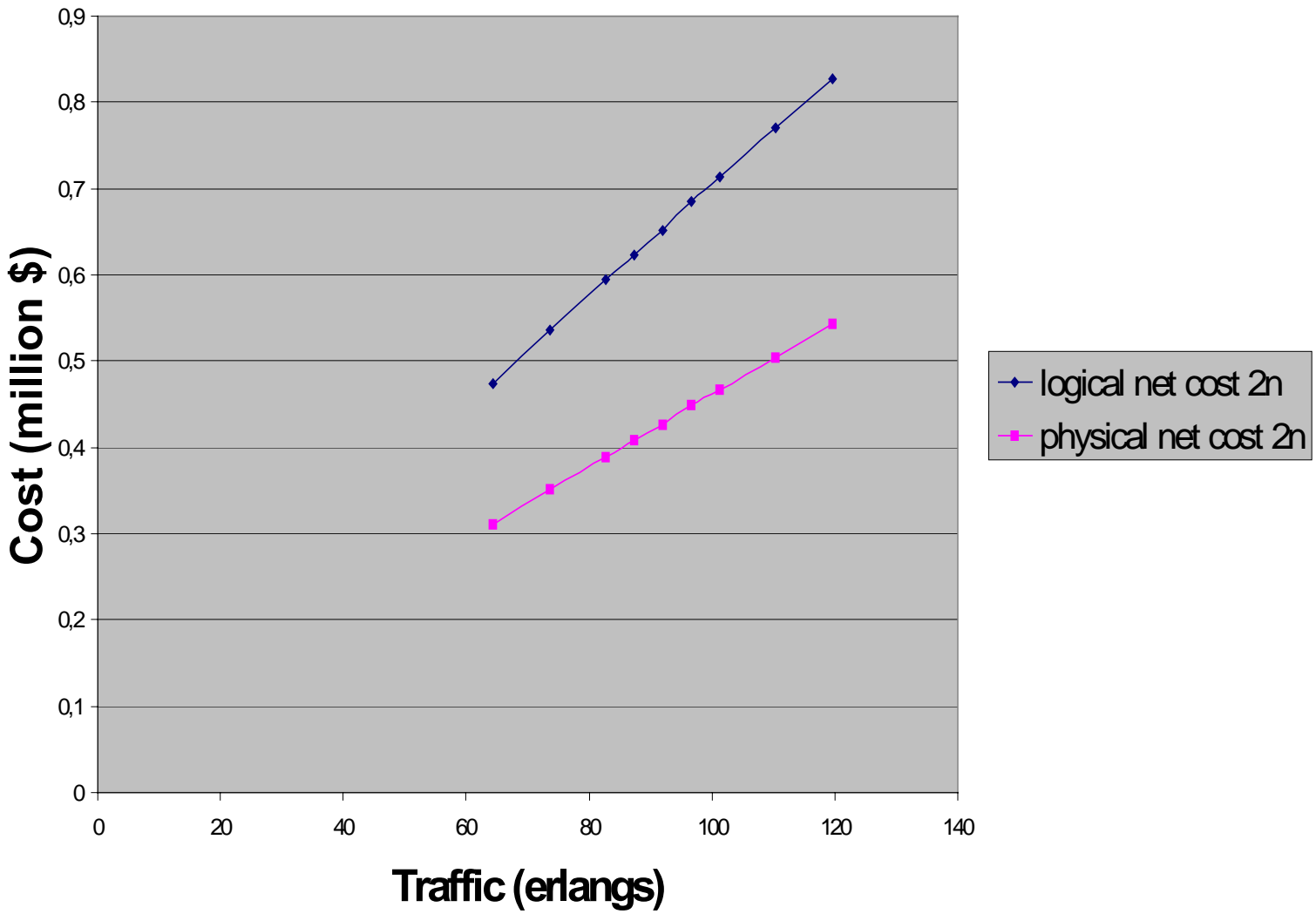
## Network 3



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για ένα ενδιαμέσο κόμβο για το Δίκτυο 3*

Διάγραμμα 7

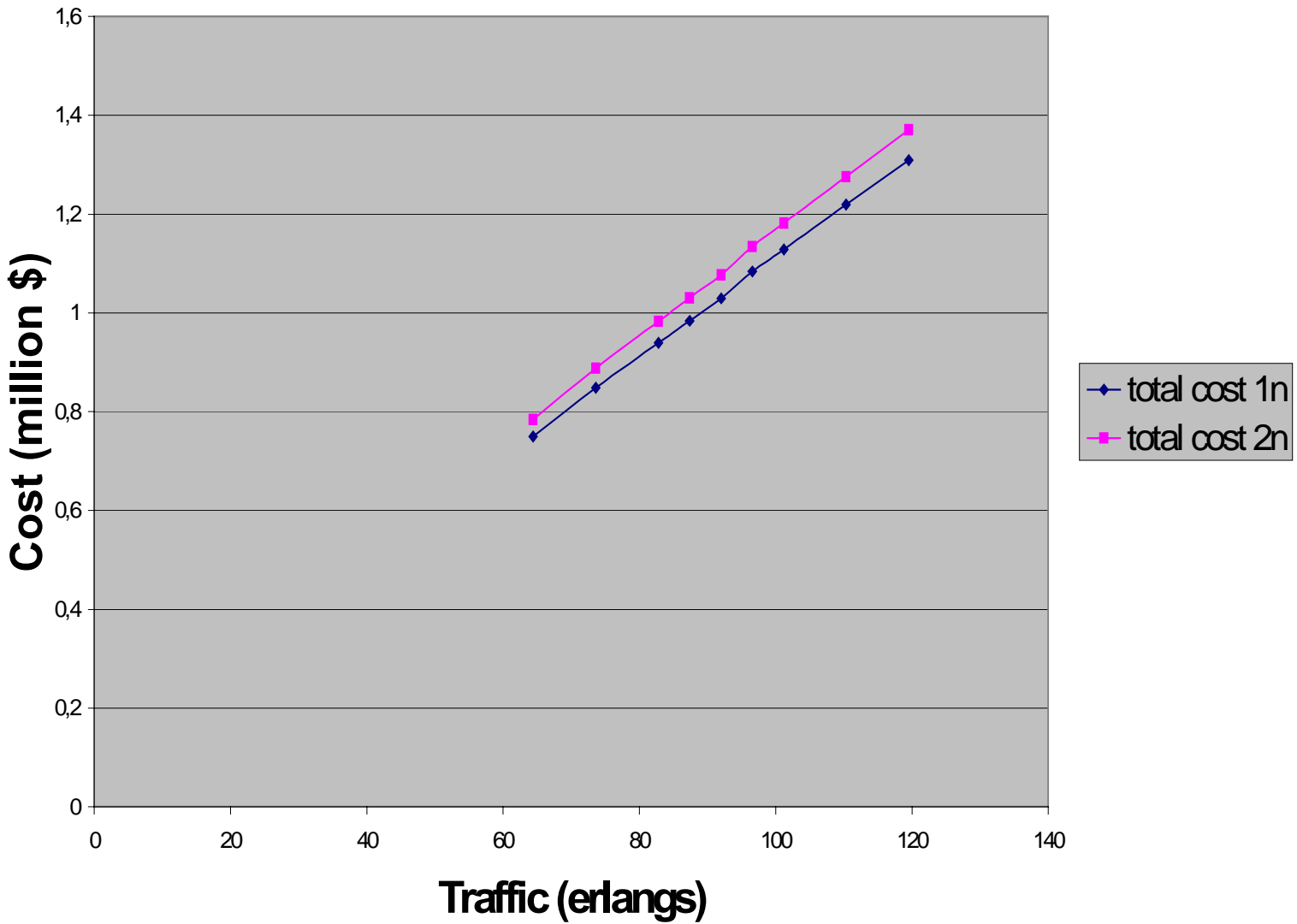
# Network 3



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για δύο ενδιαμέσους κόμβους για το Δίκτυο 3*

Διάγραμμα 8

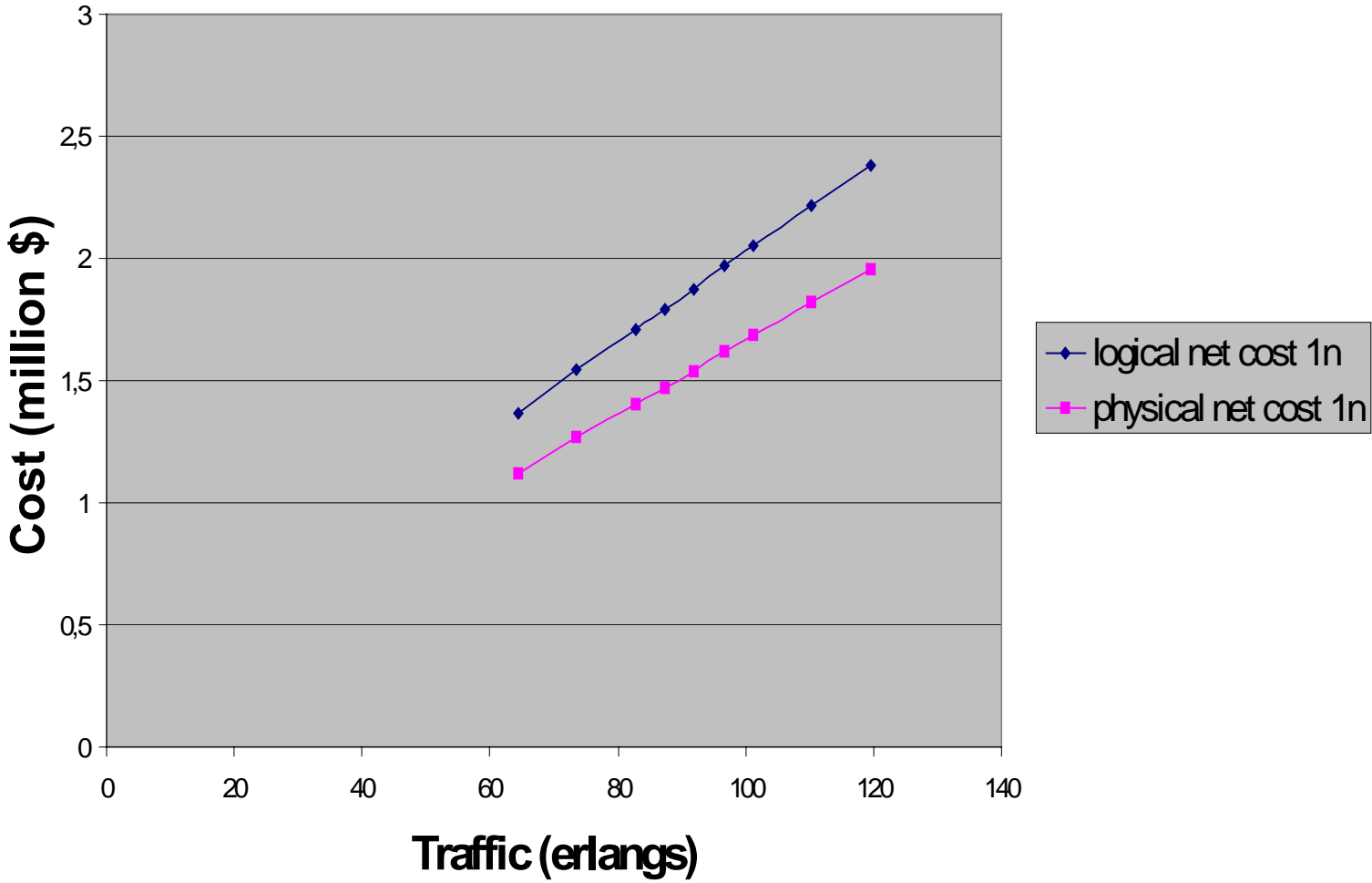
# Network 3



Συνολικά κόστη για 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα για το Δίκτυο 3  
Διάγραμμα 9



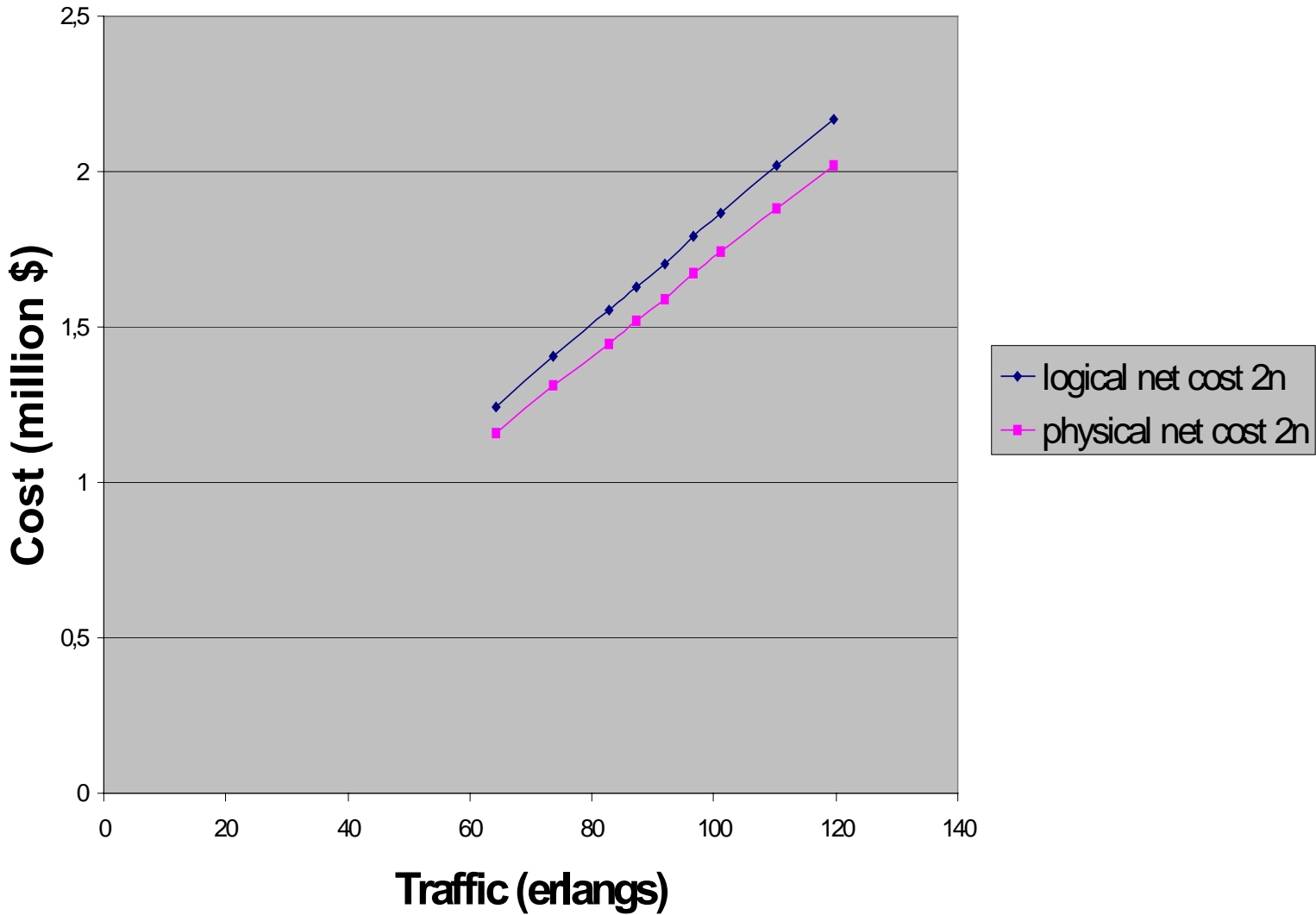
# Network 4



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για ένα ενδιάμεσο κόμβο για το Δίκτυο 4*

Διάγραμμα 10

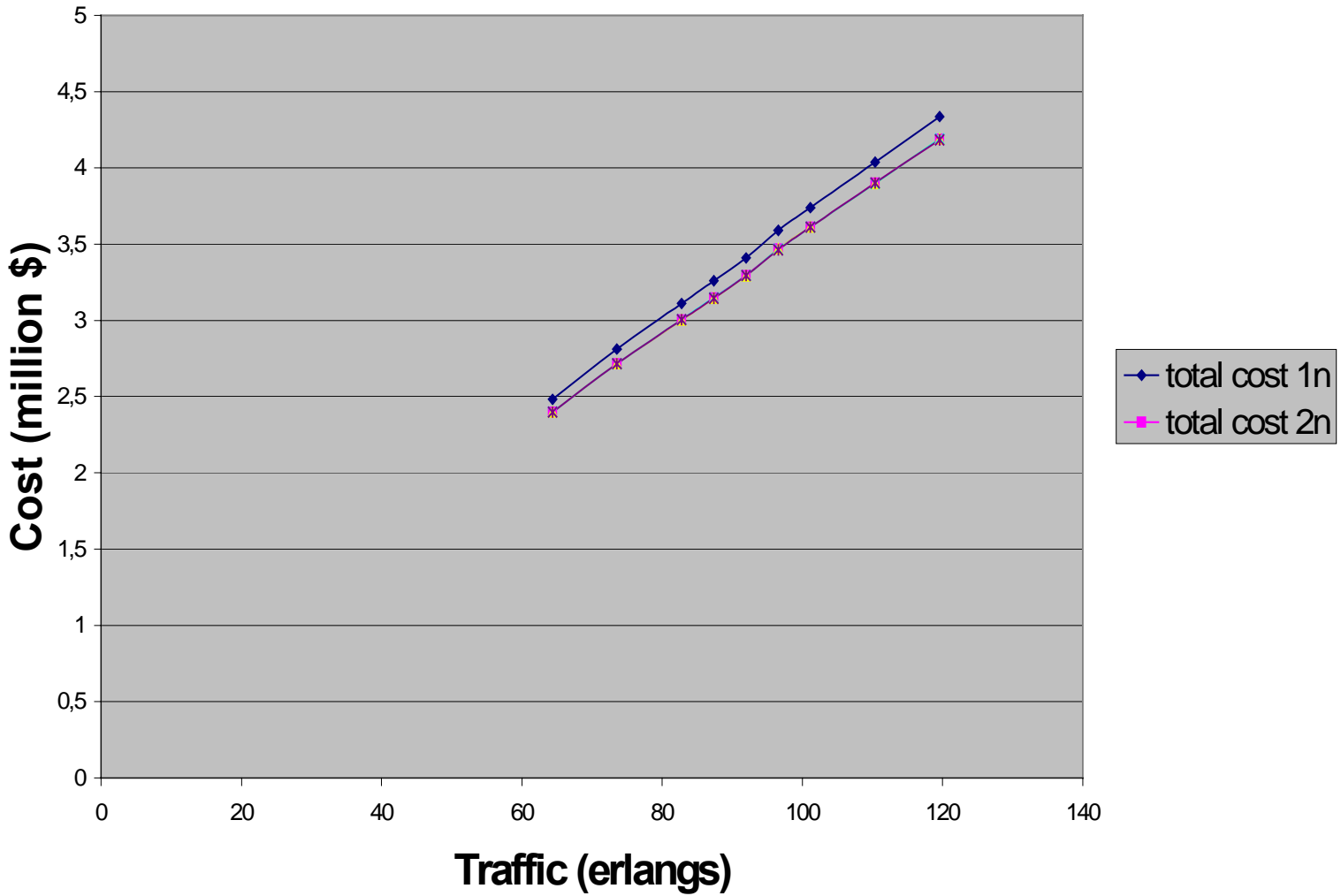
## Network 4



*Κόστος του Λογικού και του Φυσικού Δικτύου για δύο ενδιαμέσους κόμβους για το Δίκτυο 4*

Διάγραμμα 11

# Network 4



Συνολικά κόστη για 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα για το Δίκτυο 4  
Διάγραμμα 12

#### 4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων για μοντέλα με μονοπάτια 1 και 2 ενδιάμεσων κέντρων

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύγκριση του κόστους των τεσσάρων δικτύων με μονοπάτια με 1 και 2 ενδιάμεσα κέντρα όπως αυτά βγαίνουν από τα διαγράμματα των προηγούμενων σελίδων. Βλέπουμε ότι στα Δίκτυα 1,2 και 4 το μοντέλο με μονοπάτια μέχρι 3 ζεύξεων (δηλαδή 2 ενδιάμεσα κέντρα) είναι φθηνότερο απ' αυτό με τα 2 ζεύξεων (δηλαδή 1 ενδιάμεσο κέντρο). Αντίθετα στο Δίκτυο 3 το μοντέλο με μονοπάτια μέχρι 2 ζεύξεις είναι φθηνότερο απ' αυτό με 3. Για μοντέλα με παραπάνω από 3 ζεύξεις, το κόστος των δικτύων βγαίνει ίδιο ή περίπου ίδιο μ' αυτό των 3 ζεύξεων και άρα δεν τα θέτουμε προς σύγκριση.

## Cost Savings

Network 1	11,19%
Network 2	3,60%
Network 3	-4,66%
Network 4	3,43%

Πίνακας 1

#### 4.6 Συμπεράσματα για τη νέα πρόταση στη διαδικασία Desert

Όπως είδαμε στη νέα πρόταση στο μοντέλο Desert μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό δικτύων μεταγωγής κυκλώματος ευρείας περιοχής με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Ωστόσο ο σχεδιασμός δικτύων γενικότερα είναι πάντοτε συνυφασμένος με τον τρόπο και την πολιτική δρομολόγησης των πληροφοριών μέσα σ' αυτό, έτσι ώστε και η κίνηση μέσα στο δίκτυο να γίνεται με το ελάχιστο δυνατό κόστος σε σχέση πάντα με την απαιτούμενη απόδοση του. Πρέπει να πούμε πάντως ότι παρόμοιες διαδικασίες εφαρμόζονται και στο σχεδιασμό δικτύων ATM, μόνο που εκεί αντί για κυκλώματα και μονοπάτια έχουμε νοητά κυκλώματα (virtual circuits) και νοητά μονοπάτια (virtual paths) αντίστοιχα [21].

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, αυτά δείχνουν ότι δεν υπάρχει κάποια βέλτιστη λύση σε σχέση με τον αριθμό των ενδιάμεσων τερματικών κέντρων που μπορεί να έχει ένα μονοπάτι στο λογικό δίκτυο, παρά αυτή η επιλογή του αριθμού των ενδιάμεσων κέντρων εξαρτάται από την τοπολογία και τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Επομένως η διαδικασία που προτείνεται στη νέα πρόταση είναι συζητήσιμη.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σ' αυτήν τη διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια αναφοράς στη μοντελοποίηση των διαδικασιών για την λειτουργικότητα των δικτύων, στον τρόπο σχεδιασμού τους, και στη δρομολόγηση των πληροφοριών σ' αυτά. Ακόμα γίνεται μια εφαρμογή της διαδικασίας Desert σε δύο υποδείγματα δικτύων μεταγωγής κυκλώματος ευρείας περιοχής και αναφέρονται τα συμπεράσματα αυτής της εφαρμογής, ενώ προτείνεται μια νέα μεθοδολογία πάνω στο μοντέλο Desert.

Στο εγγύς μέλλον που ο ανταγωνισμός στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα θα ενταθεί, απαιτείται οργάνωση, σωστός σχεδιασμός και διαίσθηση από πλευράς σχεδιαστών δικτύου και, ευελιξία, εύκολη προσαρμοστικότητα σε τυχόν νέες τεχνολογίες, ικανοποίηση στις ανάγκες και απαιτήσεις των πελατών, και επεκτασιμότητα όσον αφορά τα δίκτυα.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Roger Ackerley, Anne Elvidge, Tony Ingham, and John Shepherdson, "Network Intelligence – Performance by Design", IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B, No. 2, pag. 219-229, February 1997.
2. D. Macdonald and S. Archambault, "Using customer expectation in planning the intelligent network", Proc. Of the 14<sup>th</sup> International Teletraffic Congress, Antibes, Juan-les-Pins, France, pag. 95-104, June 1994.
3. P.B. Key and M.J. Whitehead, "Cost effective use of networks employing dynamic alternative routing", Proc. 12<sup>th</sup> International Teletraffic Congress, Torino, Italy, pag. 3.1 A.4.1-3.1 A.4.11, 1988.
4. M.P. Rumsewicz, "Critical congestion control issues in the evolution of common channel signalling networks", Proc. 14<sup>th</sup> International Teletraffic Congress, Antibes, Juan-les-Pins, pag. 115-124, June 1994.
5. P.M. Williams, "A novel automatic call restriction scheme for control of focussed overloads", Proc. 11<sup>th</sup> UK Teletraffic Symposium, Cambridge, UK, pag. 27/1-27/10, March 1994.
6. P.J. Kuhn, C.D. Pack, and R.A. Skoog, "Common channel signalling networks: Past, present and future", Proc. IEEE, vol. 12, no.3, pag. 383-394, April 1994.
7. Q.2931 "Broadband integrated services digital network (B-ISDN) – Digital subscriber signalling system no.2 (DSS2) – User-network interface (UNI) Layer 3 specification for basic call/connection control".
8. "Digital storage media command & control", ISO/IEC 13818 – 6, Boston, USA, May 1995.
9. J.W. Shepherdson "Intelligent network performance modelling", Proc. 13<sup>th</sup> UK Teletraffic Symposium, Glasgow, pag. 29.1 – 29.10, March 1996.
10. Gilbert Held, "Practical Network Design Techniques", John Wiley & sons, ISBN 0-471-93007-5, 1994.
11. Gerald R. Ash, "Dynamic Routing in Telecommunications Network", McGraw-Hill Telecommunications, ISBN 0-07-006414-8, 1998.
12. Deep Medhi, "A Unified Approach to Network Survivability for Teletraffic Networks: Models, Algorithms and Analysis", IEEE Transactions on Communications, Vol. 42, No. 2/3/4, February/March/April 1994, pag. 534-548.

13. G. R. Ash, R. H. Cardwell and R. P. Murray, "Design and Optimization of Networks with Dynamic routing", Bell Systems Technical Journal, vol. 60, no. 8, pag. 1787-1820, 1981.
14. R. D. Doverspike, "Algorithms for Multiplex Bundling in a Telecommunications Network", Operations Research, vol. 39, pag. 925-944, 1991.
15. A. Girard, "Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks", Addison-Wesley, Readings, Mass., 1990.
16. S. Sen, R. D. Doverspike and M. S. Dunatunga, "Unified Facilities Optimizer", Technical Report, Systems and Industrial Engineering Department, University of Arizona, Tucson, Arizona, January 1989.
17. Y. K. Tsai, "Inter-Office Transmission Network Planning with the Network Planning System (NPS)", in Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '86), Houston, Texas, pag. 25.6.1-25.6.6, 1986.
18. T.-H. Wu, D. Kolar and R. Cardwell, "Survivable Network Architectures for Broad-Band Fiber Optic Networks: Model and performance comparison", IEEE J. of Lightwave Technology, vol. 6, pag. 1698-1709, 1988.
19. B. Yaged, "Minimum Cost Routing for Static Routing Models", Networks, vol. 1, pag. 139-172, 1971.
20. B. Yaged, "Minimum Cost Routing for Static Routing Models", Networks, vol. 3, pag. 193-224, 1973.
21. Deep Medhi and Chia-Ting Lu, "Dimensioning and Computational Results for Wide-Area Broadband Networks with Two-Level Dynamic Routing", IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B No. 2, February 1997, pag. 273-281.
22. Gilles Brassard and Paul Bratley, "ALGORITHMIC, Theory and Practice", Prentice-Hall International, Inc., ISBN 0-13-023169-X, Copyright 1988, pag. 169-204.