

University of Macedonia
Master Information Systems
Networking Technologies
Professor: A.A. Economides
economid@uom.gr

Algorithms for Topology Design & Planning of ATM Networks

Vasilis Agouras

Thessaloniki, January 2002

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης
economid@uom.gr

Αλγόριθμοι για την τοπολογική σχεδίαση και ανάλυση ΑΤΜ δικτύων

Βασίλης Αγγουράς

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2002

Abstract

ATM has been designed to provide a high-speed (multimegabit), low-latency (low overhead) multiplexing and switching network. The network is multiplexed meaning that it combines multiple connections onto the same line to take best advantage of network capacity. The network is switched meaning that it can dynamically configure connections between any two sites on the network on demand. The ATM network supports any type of traffic including voice, data, and video applications.

In the problem investigated here, preliminary findings suggest that using genetic algorithms a satisfactory solution both to topology design problem and to the allocation of bandwidth for Virtual Paths. However, further work is currently in progress to explore completely the capacity of GAs., not only for single objective optimisation, but also for the multiobjective case.

GA is reminiscent of sexual reproduction in which the genes of two parents combine to form those of their children. When it is applied to problem solving, the basic premise is that we can create an initial population of individuals representing possible solutions to a problem we are trying to solve. Each of these individual has certain characteristics that make them more or less fit as members of the population. The most fit members will have a higher probability of mating than the less fit members, to produce offspring that have a significant chance of retaining the desirable characteristics of their parents. This method is very effective at finding optimal or near optimal solutions to a wide variety of problems, because it does not impose many of the limitations required by traditional methods. It is an elegant generate and test strategy that can identify and exploit regularities in the environment, and converges on solutions that were globally optimal or nearly so.

Περίληψη

Η σχεδίαση ενός ATM δικτύου στο χαμηλό επίπεδο του καθορισμού των τοπολογικών του στοιχείων όπως είναι ο αριθμός των κόμβων, η σχετική μεταξύ τους θέση και διασύνδεση καθώς και οι χωρητικότητες όλων των επί μέρους διασυνδέσεων δίνουν ουσιαστικά μια καλύτερη βάση πάνω στην οποία θα λειτουργήσουν οι αλγόριθμοι βέλτιστης δρομολόγησης των δεδομένων.

Το πρόβλημα της εύρεσης των κατάλληλων στοιχείων ενός δικτύου, όπως είναι η τοπολογία, η χωρητικότητα και η κατανομή τηλεπικοινωνιακών ροών κίνησης αναφέρεται γενικά στη βιβλιογραφία με τον όρο TCFA (topology, capacity & flow assignment problem).

Αρκετοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την τοπολογική σχεδίαση ATM δικτύων. Εδώ εξετάζονται κλασικές μέθοδοι αλλά κυρίως εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων (genetic algorithms – GA) για το σκοπό αυτό.

Οι αλγόριθμοι αυτοί στηρίζονται σε μια διαδικασία “φυσικής επιλογής” (natural selection) μεταξύ των υποψηφίων τοπολογιών – λύσεων του προβλήματος και σε μία “γενετική” κωδικοποίηση κάθε μιας από αυτές. Μια ομάδα από χρωμοσώματα (επί μέρους χαρακτηριστικά) ορίζονται ότι ουσιαστικά αναπαριστούν κάθε ξεχωριστή λύση. Το σύνολο αυτών των λύσεων ταξινομείται με σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το ποια ταιριάζει – προσαρμόζεται περισσότερο στις απαιτήσεις του προβλήματος. Σε κάθε κύκλο του αλγορίθμου επιλέγεται γενικά μία υποκατηγορία από αυτό το σύνολο, τα μέλη της οποίας υπόκεινται σε ένα είδος αμοιβαίας ανταλλαγής επί μέρους ιδιοτήτων (crossover), εμπλουτισμού με νέες και αποκοπή εκείνων που φαίνονται να μην ταιριάζουν – γίνεται δηλαδή ένα είδος

αναπαραγωγής και αλλαγής του αρχικού συνόλου των λύσεων, πράγμα που εξηγεί (τουλάχιστον στα πλαίσια αυτής της γενικής ανάλυσης) τον όρο γενετικοί αλγόριθμοι.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Τοπολογία και ATM δίκτυα	7
1.2 Αλγόριθμοι για την εύρεση της βέλτιστης τοπολογίας δικτύων	7
2. ΤΥΠΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΑ ATM ΔΙΚΤΥΑ	9
3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	
3.1 Προτεινόμενα μοντέλα στη βιβλιογραφία	10
3.2 Περιγραφή γενικού αλγόριθμου για τη σχεδίαση ενός εύρωστου ATM δικτύου	11
3.3 Αποτελέσματα και παράμετροι του αλγόριθμου σχεδίασης	12
3.4 Αλγόριθμοι κατανομής επί μέρους χωρητικότητων για τις υπηρεσίες ενός ATM δικτύου	12
3.5 Οι Αλγόριθμοι COMPINED, SEPARATE, MERGED	13
3.6 Σύγκριση μεθόδων κατανομής χωρητικότητων στο δίκτυο	13
3.7 Γενικές παράμετροι σύγκρισης και αξιολόγησης – Προσομοίωση – Τυπικές τιμές	14
4. ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	16
4.1 Βιβλιογραφικές αναφορές για σχεδίαση δικτύων με χρήση ευριστικών αλγόριθμων	16
4.2 Γενετικοί αλγόριθμοι – Γενικά	17
4.3 Παρουσίαση των απαιτήσεων για έναν απλό γενετικό αλγόριθμο	17
4.4 Δύο ευριστικοί αλγόριθμοι: SWAP και GENETIC1	18
4.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι – Αναλυτική παρουσίαση	20
4.5.1 Συνοπτική επισκόπηση της παρούσας κατάστασης του σχεδιασμού δικτύων ATM	20
4.6 Γενετικοί Αλγόριθμοι – Επί μέρους βήματα	21
4.6.1 χρωμοσωμική κωδικοποίηση	22
4.6.2 τυχαία έναρξη – αρχικοποίηση του πληθυσμού	22
4.6.3 επιλογή	23
4.6.4 διασταύρωση	23
4.6.5 μεταλλαγή	23
4.6.6 κανόνες λήξης	24
4.7 Εφαρμογή στα δίκτυα	25
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	28
6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΕΙΚΟΝΕΣ	29
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	34

INDEX

1. INTRODUCTION	7
1.1 Topology and ATM Networks	7
1.2 Effective Topology Algorithms for ATM Networks	7
2. SERVICES AND TYPES OF DATA IN ATM NETWORKS	9
3. DESIGN AND MODELLING PROCEDURES USING THE CLASICAL METHODOLOGY	
3.1 Proposed models in the related bibliography	10
3.2 General description of an algorithm for robust network design	11
3.3 Results and parameters of the design	12
3.4 Capacity allocation algorithms for the services for ATM	12
3.5 Algorithms COMPINED, SEPARATE, MERGED	13
3.6 Comparison on different methods for networkcapacity allocation	13
3.7 General comparing and validation parameters – Simulation – Typical Values	14
4. HEURISTIC ALGORITHMS	16
4.1 Models and network design – schemes using heuristic algorithms, that are found in the related bibliography	16
4.2 Genetic Algorithms – Generally	17
4.3 Demands preservation for a simple genetic algorithm	17
4.4 Two heuristic algorithms: SWAP and GENETIC1	18
4.5 Genetic Algorithms – A more thorough analysis	20
4.5.1 General view of the present design situation demands that are to be faced during the implementation of a genetic algorithm	20
4.6 Genetic Algorithms – Steps	21
4.6.1 chromosomal encoding	22
4.6.2 random initialization of population	22
4.6.3 selection	23
4.6.4 crossover	23
4.6.5 mutation	23
4.6.6 termination rules	24
4.7 Network application	25
5. CONCLUSIONS	28
6. DIAGRAMS – SCHEMES	29
7. BIBLIOGRAPHY	34

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τοπολογία και ATM δίκτυα

Το πρόβλημα της τοπολογικής σχεδίασης ενός δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ένα θέμα η ανάλυση του οποίου ανάγεται στην εύρεση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών παραμέτρων (θέσεις – αριθμός κόμβων, τρόποι και χωρητικότητες διασύνδεσης μεταξύ των κόμβων), εξασφαλίζοντας ελάχιστο κόστος και ταυτόχρονα ικανοποιώντας περιορισμούς που αφορούν την ποιότητα των υπηρεσιών που πρέπει να προσφέρει το δίκτυο. Ειδικότερα, για τα δίκτυα ATM (Asynchronous Transfer Mode) η φυσική τοπολογία του δικτύου πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη υψηλότερες απαιτήσεις, ώστε να δίνεται η δυνατότητα ευελιξίας στις αλλαγές των συνθηκών τηλεπικοινωνιακής κίνησης που εμφανίζονται.

Η τεχνολογία των ATM δικτύων θεωρείται σήμερα ένας τομέας αιχμής όσον αφορά τη σχεδίαση και την υλοποίηση δικτύων μεγάλων ταχυτήτων (state of the art network technology) η οποία αναμένεται να παίζει μεγάλης σημασίας ρόλο στο μέλλον. Το ATM λειτουργεί σαν ένα δίκτυο με σύνδεση, αλλά κάθε καινούρια σύνδεση μπορεί να εγκατασταθεί και μα εξυπηρετηθεί μόνο αν αρκετοί τηλεπικοινωνιακοί πόροι είναι διαθέσιμοι ώστε να εξασφαλίσουν την ποιότητα επικοινωνίας (Quality of Service, QoS) στις ήδη ενεργές συνδέσεις. Η λειτουργία αυτή ελέγχεται από αλγόριθμους ελέγχου αποδοχής νέας σύνδεσης (Call Admission Control algorithms).

Τα δίκτυα ATM χρησιμοποιούν την τεχνική του νοητού κυκλώματος (virtual circuit) για τη μεταγωγή των δεδομένων. Τα δεδομένα, αποτελούμενα φυσικά από διακριτά πακέτα συγκεκριμένου μήκους το καθένα, οδηγούνται στον προορισμό τους από έναν συγκεκριμένο δρόμο (virtual channel), ο οποίος έχει επιλεγεί ως βέλτιστος με τη βοήθεια αλγόριθμων δρομολόγησης. Η διαδρομή αυτή, ανάλογα με τις απαιτήσεις (φόρτος - καθυστέρηση) είναι δυνατόν να αλλάξει, ωστόσο παραμένει κοινή κάθε φορά για το σύνολο των πληροφοριακών πακέτων. Η σχεδίαση ενός ATM δικτύου στο χαμηλό επίπεδο του καθορισμού των τοπολογικών του στοιχείων όπως είναι ο αριθμός των κόμβων, η σχετική μεταξύ τους θέση και διασύνδεση καθώς και οι χωρητικότητες όλων των επί μέρους διασυνδέσεων δίνουν ουσιαστικά μια καλύτερη βάση πάνω στην οποία θα λειτουργήσουν οι αλγόριθμοι βέλτιστης δρομολόγησης των δεδομένων.

1.2 Αλγόριθμοι για την εύρεση της βέλτιστης τοπολογίας δικτύων

Γενικά, δεν υπάρχουν αλγόριθμοι που να εκφράζονται με μία κλειστή μορφή και οι οποίοι ταυτόχρονα να οδηγούν στη βελτιστοποίηση της τοπολογίας ενός δικτύου, για τις περισσότερες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Αυτός που θα επωμιστεί μια τέτοια σχεδίαση θα κάνει ουσιαστικά χρήση ενός συνδιασμού ευριστικών αλγορίθμων και μιας ανάλυσης “what-if” με έναν αναδρομικό τρόπο έως ότου πετύχει την καλύτερη λύση. Συνοπτικά, αυτή η διαδικασία συνίσταται στα εξής βήματα:

1. Υπολογισμός του κάτω φράγματος στον αριθμό των συγκεντρωτών/ μεταγωγικών στοιχείων, όπως αυτό καθορίζεται από τη μέγιστη απαιτούμενη χωρητικότητα για την εξυπηρέτηση των υπηρεσιών.

2. Επιλογή των τοποθεσιών για την τοποθέτηση του απαιτούμενου αριθμού συγκεντρωτών/ μεταγωγικών στοιχείων.
3. Διαδικασία απόδοσης των τοποθεσιών το εξοπλισμού του πελάτη, δηλαδή του κάθε χρήστη (customer premise equipment – CPE locations) στους συγκεντρωτές, και απόδοση ενός αριθμού συγκεντρωτών σε κόμβους μεταγωγής.
4. Διασύνδεση όλων των εμπλεκόμενων στοιχείων του 3^{ου} βήματος ανάλογα με την επιθυμητή τοπολογία.
5. Υπολογισμός του συνολικού κόστους του δικτύου για το σύνολο των παραμέτρων σχεδίασης.
6. Επιλογή της βέλτιστης λύσης επιλέγοντας συγκεκριμένο σενάριο παραμέτρων.

Ουσιαστικά, αυτό που αναφέρεται στη βιβλιογραφία σαν αλγόριθμος σχεδίασης αναφέρεται στις διαδικασίες που ακολουθούν το 2^ο από τα παραπάνω βήματα.

Ένας αλγόριθμος που επιλέγει τις θέσεις των switches πάνω στο επίπεδο έχει επινοηθεί από τον Roshnan L. Sharma (Network Topology Optimization) [25]. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί τις λογικές του κέντρου βαρύτητας (center-of-gravity, COG) και των διαδοχικών αποσυνθέσεων (successive decompositions) και εκτελείται με βάση τα παρακάτω βήματα:

- Βήμα 1. Ορίζουμε κάποιες αρχικές τιμές για τις V- και H- συντεταγμένες των N σημείων του εξοπλισμού CPE.
- Βήμα 2. Βρίσκουμε τις V- και H- συντεταγμένες του μαθηματικού κέντρου βάρους COG για όλες αυτές τις N τοποθεσίες χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$V(COG) = \left[\sum_{i=1}^N V_i * W_i \right] / \left[\sum_{i=1}^N W_i \right],$$

$$H(COG) = \left[\sum_{i=1}^N H_i * W_i \right] / \left[\sum_{i=1}^N W_i \right]$$

όπου V_i και H_i είναι αντίστοιχα οι V- και H- συντεταγμένες της i-τοποθεσίας και W_i είναι ο χρονικός μέσος όρος της κίνησης και προς τις δύο κατευθύνσεις που εξυπηρετεί η i-τοποθεσία.

- Βήμα 3. Βρίσκουμε την πλησιέστερη τοποθεσία CPE στο παραπάνω υπολογιζόμενο COG. Αυτή είναι και η τοποθεσία που προτείνεται σα βέλτιστη για κάθε ξεχωριστό συγκεντρωτή ή μεταγωγικό στοιχείο.
- Βήμα 4. Για την εύρεση των τοποθεσιών δύο κέντρων βάρους COGs, πρέπει να χαραχτεί μια **κάθετη** γραμμή που να διέρχεται από το μαθηματικό COG. Έπειτα υπολογίζονται οι τοποθεσίες αριστερά και δεξιά της κάθετης γραμμής και βρίσκεται το μαθηματικό COG για κάθε ένα από τις δύο τοποθεσίες COG με τον ίδιο τρόπο όπως στο βήμα 2. Ξανά βρίσκονται οι κοντινότερες διαδρομές γι' αυτά τα δύο καινούρια COGs.
- Βήμα 5. Για την εύρεση των τοποθεσιών τεσσάρων κέντρων βάρους COGs, πρέπει να χαραχτούν δύο **οριζόντιες** γραμμές που να διέρχεται από τα δύο προηγούμενα COG, και έτσι να αποκτηθούν τέσσερις τοποθεσίες CPE που θα βρίσκονται μέσα στις μόλις αποσυνθεμένες (decomposed) περιοχές. Πάλι

βρίσκονται τα τέσσερα μαθηματικά COGs καθώς και οι κοντινότερες τοποθεσίες CPE σε αυτά.

Βήμα 6. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 4 και 5 αποσυνθέτοντας κάθε φορά επιπλέον περιοχές περιοχές και υπολογίζοντας τις τοποθεσίες COG και τις αντίστοιχες κοντινότερες CPE τοποθεσίες. Η εναλλαγή μεταξύ οριζόντιων και κάθετων αποσυνθέσεων των περιοχών είναι απαραίτητη για την ελάττωση της εξάρτησης από γεωγραφικούς περιορισμούς. Μερικές φορές είναι δυνατό η διαδικασία να ξεκινήσει με οριζόντια αποσύνθεση. Τελικά γίνεται ο υπολογισμός του συνολικού κόστους του δικτύου θεωρώντας τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$Cost = \min_i \left[\sum_j d_{ij} w_j \right] \dots$$

όπου,

d_{ij} = απόσταση ή κόστος μεταξύ του i κέντρου και της j τοποθεσίας/ κόμβου.

w_j = τα βάρη της j τοποθεσίας/ κόμβου εκφρασμένο είτε σε millierlangς είτε σε bits per second.

2. ΤΥΠΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΑ ATM ΔΙΚΤΥΑ

Τα δεδομένα σε ένα ATM δίκτυο αναμένεται να είναι διαφορετικών τύπων, λαμβάνοντας υπόψη ότι υποστηρίζουν μεταφορά πολυμεσικών δεδομένων. Τέτοια μπορεί να είναι φωνή, απλά δεδομένα (π.χ. αρχεία υπολογιστή), εικόνα και video (κινούμενη εικόνα), κάθε ένα από τα οποία διαθέτει:

- i. Ξεχωριστά χαρακτηριστικά όσον αφορά το φόρτο που προκαλεί στο υπόλοιπο δίκτυο.
- ii. Διαφορετικές απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας (QoS, Quality of Service) και επομένως διαφορετικές προτεραιότητες.
- iii. Διαφορετικό απαιτούμενο φασματικό εύρος (bandwidth).

Επιπρόσθετα, ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να παρέχει ένα μηχανισμό για δυναμική ανακατανομή της συνολικής διαχείρισης των τηλεπικοινωνιακών πόρων του για δύο λόγους:

- Λόγω μεταβολών στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση (changing traffic conditions).
- Λόγω πιθανών αστοχιών υλικού του δικτύου ή προβλημάτων μπλοκαρίσματος που μπορεί να εμφανιστούν.

Το αποτέλεσμα αυτής της σχεδίασης θα καθορίσει τις επιλογές που μπορεί να υπάρξουν στο επίπεδο της λογικής διασύνδεσης – τοπολογίας του δικτύου (logical network topology). Στη βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι τοπολογικής σχεδίασης δικτύων. Οι αλγόριθμοι αυτοί συνήθως βασίζονται στη ελαχιστοποίηση του κόστους της υλοποίησης του δικτύου, βρίσκοντας θέσεις κόμβων μεταγωγής (switch nodes) και κυρίων συνδέσεων (backbone links), βέλτιστες διαδρομές μεταξύ όλων των δυνατών ζευγαριών κόμβων, ενώ βασίζονται σε ένα δεδομένο σενάριο τηλεπικοινωνιακής κίνησης (traffic scenario).

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

3.1 Προτεινόμενα μοντέλα στη βιβλιογραφία

Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία σχεδίασης της φυσικής τοπολογίας ενός ATM δικτύου, είναι απαραίτητη η ύπαρξη πολλαπλών μονοπατιών (paths) για τη διασύνδεση κάθε ζεύγους πηγών (ουσιαστικά για κάθε κόμβο μεταγωγής) με ταυτόχρονη εξασφάλιση πλεονάζουσας χωρητικότητας για κάθε μία από όλες αυτές τις διοδεύσεις. Η ικανοποίηση αυτών των δύο στόχων σχεδίασης αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως εύρωστη (robust) σχεδίαση του δικτύου. Μία σχεδιαστική μεθοδολογία για τη λύση αυτού του προβλήματος αναπτύχθηκε από τους Hu και Harms [5].

Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως τέτοιοι αλγόριθμοι φυσικής σχεδίασης συγκρίνονται μεταξύ τους και ελέγχονται με χρήση αντίστοιχων αλγόριθμων λογικής σχεδίασης – κατανομής του τηλεπικοινωνιακού φόρτου (ή όπως αλλιώς αναφέρονται, με τη χρήση μεθόδων κατανομής όλων των επί μέρους χωρητικοτήτων μεταξύ των κόμβων) με τη βοήθεια προσομοίωσης.

Ο όρος κλασικά μοντέλα αναφέρεται στο ότι οι μαθηματικές εκφράσεις των αλγόριθμων είναι γενικά προβλήματα ελαχιστοποίησης/ μεγιστοποίησης κάποιων παραμέτρων του δικτύου τηρώντας κάποιους περιορισμούς. Εντάσσονται μάλιστα σαν μέθοδοι σε κλασικές τεχνικές της επιστήμης της επιχειρησιακής έρευνας, όπως είναι ο γραμμικός προγραμματισμός και οι δικτυακοί αλγόριθμοι (π.χ. ο αλγόριθμος του ελάχιστου ζευγνύοντος δένδρου).

Το μοντέλο που περιγράφεται από τους Hu και Harms [5] για την τοπολογική σχεδίαση ATM δικτύων υποθέτει την ύπαρξη **μιας** μόνο κατηγορίας δεδομένων προς μεταφορά – εξυπηρέτηση εκ μέρους του δικτύου (single class of service). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για πολλές κατηγορίες υπηρεσιών, τα οποία όμως θα υπόκεινται πολυπλεξία και θα μεταφέρονται κάθε φορά από το ίδιο νοητό μονοπάτι (virtual path). Αντικειμενικός στόχος αυτής της μεθοδολογίας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, ικανοποιώντας ταυτόχρονα κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις που αφορούν τις συνθήκες – προδιαγραφές διακίνησης των δεδομένων. Εκτός από αυτό, μία επί πλέον απαίτηση είναι το ότι η σχεδίαση πρέπει να είναι εύρωστη ώστε το δίκτυο να συμπεριφέρεται αξιόπιστα ακόμα και κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες κίνησης. Οι διαδρομές τις οποίες βρίσκει αυτό το φυσικό μοντέλο αποτελούν και τα τελικά νοητά μονοπάτια (VPs). Η διαδικασία αυτή φυσικής σχεδίασης βοηθάει το λογικό δίκτυο να προσαρμόζεται ευκολότερα στις μεταβολές των συνθηκών κίνησης που είναι δυνατό να εμφανιστούν με δύο τρόπους:

- Το φυσικό δίκτυο παρέχει τουλάχιστο δύο διαφορετικές διαδρομές για κάθε ζευγάρι κόμβων. Αυτό δίνει στους αλγόριθμους δρομολόγησης περισσότερες εναλλακτικές επιλογές και έτσι δεν καθίσταται τόσο συχνή η ανάγκη για αλλαγές στις διαδρομές των φυσικών μονοπατιών. Αυτές οι εναλλακτικές διαδρομές (routes) βοηθούν επίσης σημαντικά σε περιπτώσεις σφαλμάτων – αστοχιών των εγκαταστάσεων του δικτύου. Ο αλγόριθμος σχεδίασης βρίσκει τελικά ένα κύριο (primary path) και ένα δευτερεύον μονοπάτι (alternative path) μεταξύ κάθε κόμβου μεταγωγής και του αντίστοιχου κόμβου-πηγής.

- Κάθε τέτοια σύζευξη μεταξύ κόμβων (transmission link) πρέπει να διαθέτει και ένα ποσό πλεονάζουσας χωρητικότητας η οποία είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις που υπάρχουν αλλαγές στις απαιτήσεις διακίνησης (traffic demands) ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί ανακατανομή του προσφερόμενου φασματικού εύρους (bandwidth) σε κάθε κανάλι.

3.2 Περιγραφή γενικού αλγόριθμου για τη σχεδίαση ενός εύρωστου ATM δικτύου

Η αυστηρότερη – μαθηματική περιγραφή αυτής της μεθόδου φυσικής σχεδίασης έχει ως εξής. Υποθέτουμε ότι έχει ήδη βρεθεί το σύνολο των κόμβων μεταγωγής (set of switch locations) που θα αποτελέσουν την αρχική ραχοκοκαλιά (backbone) του δικτύου. Για κάθε ζεύγος κόμβων (i, j) , $i \neq j$, χρησιμοποιούμε το a_{ij} για να αναπαραστήσουμε το κόστος της χωρητικότητας ανά μονάδα χωρητικότητας σε περίπτωση που μία σύζευξη L_{ij} έχει εγκατασταθεί σε αυτό το ζεύγος κόμβων του φυσικού δικτύου. Χρησιμοποιείται ο όρος b_{ij} για να δηλώσει το αρχικό κόστος κατασκευής αυτής της σύζευξης L_{ij} και ο οποίος εξαρτάται κυρίως από τις τιμές – κόστη των υλικών – καλωδιώσεων σύζευξης και ασφαλώς από τη φυσική απόσταση της σύζευξης. Για την παρακάτω ανάλυση θα θεωρηθεί ότι το a_{ij} είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ κόμβων και το b_{ij} ότι είναι ανάλογο αυτής της απόστασης.

Επίσης, με r_{ij} αναπαρίσταται ο απαιτούμενος τηλεπικοινωνιακός φόρτος (η κίνηση στο δίκτυο) μεταξύ του ζεύγους των κόμβων (i, j) , $i \neq j$, με $i, j = 1, \dots, n$. Γενικά, το r_{ij} μπορεί να αναφέρεται στο συνολικό (λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη και την ενδεχόμενη πολυπλεξία) φασματικό εύρος (bandwidth) που απαιτείται για τη διακίνηση πολλών κατηγοριών δεδομένων (multiple classes of traffic) μεταξύ αυτών των κόμβων. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως με δεδομένο το ότι η κατάσταση του δικτύου μεταβάλλεται με το χρόνο, το r_{ij} πρέπει αν υπολογιστεί σε μία μέση τιμή για μια σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο (ή χρονικό παράθυρο όπως συνήθως αναφέρεται), ώστε να επιτευχθεί η εύρωστη σχεδίαση του δικτύου.

Αν με N θεωρήσουμε το συνολικό αριθμό των κόμβων μεταγωγής, τότε το πρόβλημα της φυσικής τοπολογικής σχεδίασης ανάγεται στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους:

$$\eta = \sum_i \sum_j \{a_{ij} c_{ij} + b_{ij} I(c_{ij} > 0)\}, \quad (1)$$

με τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} c_{ij} &= (1 + \rho) \sum_{(k,h) \in P_j^{(1)}} r_{kh} + a \sum_{(k,h) \in P_j^{(2)}} r_{kh} \\ &= (1 + \rho) \sum_k \sum_h x_{ij}^{kh} r_{kh} + a \sum_k \sum_h y_{ij}^{kh} r_{kh} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\forall i, j \in N, i \neq j,$$

$$x_{ij}^{kh}, y_{ij}^{kh} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, i \neq j, \forall k, h \in N, k \neq h, \quad (3)$$

$$x_{ij}^{kh} + y_{i'j'}^{kh} \leq \{0,1\}, \text{ for } i = i' \text{ or } j = j', \forall k, h \in N, k \neq h, \quad (4)$$

όπου το c_{ij} αναπαριστά τη συνολική χωρητικότητα που ανατίθεται τελικά στη σύζευξη Lij (και παίρνει τιμές συνεχείς και όχι διακριτές). Εδώ το $I(c_{ij} > 0)$ παίρνει την τιμή της μονάδας για τις τιμές για τις οποίες $c_{ij} > 0$. Το $P_{ij}^{(1)}$ είναι το σύνολο όλων των ζευγαριών κόμβων που χρησιμοποιούν τη σύζευξη Lij στην κύρια διαδρομή (primary route), ενώ το $P_{ij}^{(2)}$ αντιπροσωπεύει το σύνολο όλων των δυνατών ζευγαριών κόμβων που χρησιμοποιούν τη σύζευξη Lij σαν δευτερεύουσα διαδρομή (alternative route). Ο περιορισμός (3) υποδεικνύει ότι οι x και y είναι μεταβλητές μεταξύ 0 και 1. Τιμή $x_{ij}^{kh} = 1$ δηλώνει ότι η κύρια διαδρομή για το ζεύγος κόμβων (k,h) διέρχεται από τη σύζευξη Lij . Τιμή y_{ij}^{kh} δηλώνει ότι η δευτερεύουσα διαδρομή για το ζεύγος κόμβων (k,h) διέρχεται από τη σύζευξη Lij .

3.3 Αποτελέσματα και παράμετροι του αλγόριθμου σχεδίασης

Στο παραπάνω πρόβλημα σχεδίασης, η τοπολογία του φυσικού δικτύου και η κατανομή των χωρητικοτήτων σύζευξης των κόμβων καθορίζονται από τις τιμές των x_{ij}^{kh} , y_{ij}^{kh} και c_{ij} . Ο περιορισμός (4) εξαναγκάζει την κύρια και τη δευτερεύουσα διαδρομή για κάθε σύζευξη να είναι διαχωρισμένες μεταξύ τους. Και οι δύο αυτές διαδρομές βρίσκονται θεωρώντας γενικά τις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των κόμβων.

Οι δύο παράμετροι ρ και α συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο με σκοπό να ελεγχθεί αντίστοιχα το ποσό της πλεονάζουσας χωρητικότητας που αποδίδεται στις συζεύξεις μεταξύ κόμβων και στο φασματικό εύρος (bandwidth) που κατανέμεται στα εναλλακτικά μονοπάτια. Οι δύο αυτές παράμετροι επίσης επηρεάζουν την πυκνότητα της τοπολογίας γιατί το κόστος χωρητικότητας (α_{ij}) στην αντικειμενική συνάρτηση εξαρτάται από το πόσο μεγάλη είναι αυτή η χωρητικότητα. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερες τιμές των ρ και α έχουν σαν αποτέλεσμα περισσότερη πλεονάζουσα χωρητικότητα να κατανέμεται στις διάφορες συζεύξεις κόμβων και ταυτόχρονα πυκνότερη τοπολογία. Αλγόριθμοι που βασίζονται στη γραφική επίλυση του παραπάνω προβλήματος έχουν αναπτυχθεί στη βιβλιογραφία [7], όπου και μελετούνται αναλυτικά η επίδραση και οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων στη σχεδίαση κυρίως δικτύων μικρού σχετικά μεγέθους (μέχρι της τάξης των 20-30 κόμβων).

3.4 Αλγόριθμοι κατανομής επί μέρους χωρητικοτήτων για τις υπηρεσίες ενός ATM δικτύου

Το παραπάνω μοντέλο παρέχει μια κύρια διαδρομή (ένα νοητό μονοπάτι - VP) και μία εναλλακτική διαδρομή (ένα διαφορετικό νοητό μονοπάτι - VP) για κάθε ζεύγος πηγών – κόμβων. Σύμφωνα με αυτό, αν απαιτείται μία σύνδεση η οποία θα

μεταφέρει ηχητικά δεδομένα μεταξύ μιας συγκεκριμένης πηγής και ενός προορισμού, τότε αυτή θα τοποθετηθεί στο ίδιο VP με μία σύνδεση που θα μεταφέρει κινούμενη εικόνα (video). Όμως, έχει αποδειχτεί ότι όταν έχουμε πολυπλεξία δεδομένων της ίδιας φύσης – προτεραιότητας τότε οι αλγόριθμοι δρομολόγησης γίνονται αποδοτικότεροι και οι απαιτήσεις – εγγυήσεις για την αξιοπιστία στη μεταφορά των δεδομένων (Quality of Service – QoS) ικανοποιούνται ευκολότερα.

Επομένως, διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων (classes of service) πρέπει να οδηγούνται σε ξεχωριστά νοητά μονοπάτια (VPs). Γενικά τρεις κατηγορίες δεδομένων – υπηρεσιών των ATM δικτύων λαμβάνονται υπόψη: video, απλά δεδομένα και φωνή. Για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση – πραγματοποίηση και των τριών αυτών υπηρεσιών χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι:

3.5 Οι Αλγόριθμοι COMPINED, SEPARATE, MERGED

Στον πρώτο αλγόριθμο, που αναφέρεται και ως συνδυασμένος (COMPINED), το μοντέλο που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόζεται στο συνδυασμό (σύνολο) του φόρτου που προκαλούν και οι τρεις τύποι υπηρεσιών – δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται κύρια και μία δευτερεύουσα διαδρομή μεταξύ κάθε ζεύγους πηγών με αρκετό φασματικό εύρος (bandwidth) για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις και για τους 3 τύπους υπηρεσιών. Έπειτα η χωρητικότητα επιμερίζεται ανάλογα σε τρία κύρια νοητά μονοπάτια και τρία εναλλακτικά.

Ο δεύτερος αλγόριθμος, ο SEPARATE, εφαρμόζει το ίδιο μοντέλο ανεξάρτητα για κάθε είδος υπηρεσίας του δικτύου ATM. Τα φυσικά που προκύπτουν τελικά συνδυάζονται σε ένα ενιαίο. Όπως φαίνεται, το συνολικό κόστος σε αυτή την περίπτωση δε θα είναι βέλτιστο, ωστόσο τα νοητά μονοπάτια μεταξύ δύο κόμβων δεν περιορίζονται πια στην ίδια διαδρομή.

Στον τρίτο αλγόριθμο, τον MERGED, εφαρμόζεται το μοντέλο για την αυστηρότερη σε απαιτήσεις υπηρεσία (στην περίπτωσή μας, αυτή είναι το video) και έπειτα βρίσκονται κύριες και δευτερεύουσες διαδρομές για τις υπόλοιπες υπηρεσίες των δεδομένων και της φωνής σε ένα δίκτυο το οποίο ουσιαστικά σχεδιάζεται με γνώμονα τις απαιτήσεις που υπάρχουν για τη μετάδοση video. Σε αυτήν την περίπτωση, οι διαδρομές δεν περιορίζονται στο ίδιο μονοπάτι όπως στον αλγόριθμο COMPINED, ενώ αντίθετα με τον SEPARATE, οι διαδρομές για τα απλά δεδομένα επιλέγονται για την υπηρεσία video. Έτσι, η αντίστοιχη επιλογή για την υπηρεσία φωνής γίνεται με γνωστούς τους περιορισμούς και τις διαδρομές για το σύνολο των υπηρεσιών του video και των απλών δεδομένων.

3.6 Σύγκριση μεθόδων κατανομής χωρητικότητας στο δίκτυο

Ο βασικός αλγόριθμος για τον έλεγχο των παραπάνω μεθόδων σχεδίασης ενός ATM δικτύου ανάγεται στην εξέταση της ύπαρξης ή όχι του αναγκαίου ποσού πλεονάζουσας χωρητικότητας στο κύριο νοητό μονοπάτι. Αν εκεί η χωρητικότητα (ή ισοδύναμα το φασματικό εύρος) είναι ανεπαρκής, γίνεται αντίστοιχος έλεγχος στο εναλλακτικό μονοπάτι. Αν και αυτός ο έλεγχος αποτύχει, τότε η κλήση για μεταφορά δεδομένων απορρίπτεται.

Οι μέθοδοι κατανομής χωρητικότητας και φασματικού εύρους μπορεί, πράγμα που θα φανεί καθαρότερα και παρακάτω, να έχουν χαρακτήρα στατικό ή δυναμικό. Η

σχεδίαση στο φυσικό επίπεδο γενικά παρέχει, όσον αφορά την κύρια διαδρομή, έναν όρο που περιγράφει το μακροπρόθεσμα απαιτούμενο τηλεπικοινωνιακό φόρτο (r_{kh}) συν έναν όρο για την πλεονάζουσα χωρητικότητα (ρr_{kh}). Όσον αφορά την εναλλακτική διαδρομή, ο αντίστοιχος όρος που περιγράφει τον απαιτούμενο φόρτο προς διακίνηση (σα μία μέση τιμή για ένα μεγάλο χρονικό παράθυρο) είναι ο αr_{kh} .

Εξετάζονται τρία σενάρια για την κατανομή χωρητικοτήτων στο κύριο VP. Στο εναλλακτικό μονοπάτι αποδίδεται ένα σταθερό ποσό χωρητικότητας ίσο με αr_{kh} . Ο στατικός αλγόριθμος STAT αποδίδει μία φορά σε κάθε VP το άθροισμα των δύο όρων (δηλαδή το $(1+\rho) r_{kh}$) όπως περιγράφηκε παραπάνω, χωρίς μετά να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής ή απόδοσης επιπλέον ακόμα χωρητικότητας αν αυτή χρειαστεί. Αντίθετα, στον πρώτο δυναμικό αλγόριθμο (DYN1) αποδίδεται αρχικά ο βασικός όρος (ο μακροπρόθεσμος μέσος όρος που θα απαιτηθεί) r_{kh} και η πλεονάζουσα χωρητικότητα ρr_{kh} προσδίδεται μόνο σε όποιες συνδέσεις απαιτούνται κάθε φορά. Διαφοροποίηση σε αυτό αποτελεί ο δεύτερος δυναμικός αλγόριθμος (DYN2), σύμφωνα με τον οποίο υπάρχει η δέσμευση ότι αυτή η πλεονάζουσα χωρητικότητα θα κατανέμεται ανά κατηγορία υπηρεσίας (μία εκ των τριών) του ATM δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο οι κλήσεις για μεταφορά φωνής δε θα χρησιμοποιούν το πλεονάζον φασματικό εύρος (bandwidth) που έχει προοριστεί για κλήσεις μεταφοράς video, ωστόσο θα μπορούν να το μοιραστούν με άλλες κλήσεις μεταφοράς φωνής.

3.7 Γενικές παράμετροι σύγκρισης και αξιολόγησης – Προσομοίωση – Τυπικές τιμές

Για την αξιολόγηση όλων των μεθόδων που περιγράφηκαν, λαμβάνονται υπόψη δύο παράμετροι απόδοσης του συστήματος:

- Κόστος, με τον τρόπο που αυτό υπολογίζεται από τη φυσική σχεδίαση
- Ποσοστό των κλήσεων που μπλοκάρονται, όπως αυτό βρίσκεται από τη μέθοδο προσομοίωσης

Οι μακροπρόθεσμες απαιτήσεις φόρτου κίνησης (ή όπως περιγράφηκε, ο μέσος όρος αυτής της κίνησης λαμβανόμενος σε μεγάλα χρονικά διαστήματα), βρίσκεται για κάθε τύπο υπηρεσίας με βάση το μέσο εύρος φάσματος που απαιτείται για την κάθε υπηρεσία πολλαπλασιαζόμενο με τον αριθμό των αναμενόμενων κλήσεων μεταξύ του κόμβου – πηγή και του αποδέκτη.

Για μετάδοση video ενδεικτικές τιμές είναι τα 2Mbps, ενώ για τις υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων και φωνής οι αντίστοιχες τιμές είναι 500Kbps και 64Kbps αντίστοιχα. Ο αριθμός των αναμενόμενων κλήσεων για κάθε υπηρεσία είναι αυτός που αναμένεται να εξυπηρετεί το δίκτυο όταν θα είναι σε λειτουργία. Τυπικά, για ένα δίκτυο της τάξης των 50 κόμβων μεταγωγής εξετάζονται τιμές μέχρι και 10 κλήσεις. Κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, εξετάζεται και σχεδιάζεται το δίκτυο για όλες τις δυνατές τιμές που μπορούν να λάβουν αυτά τα δύο μεγέθη (χωρητικότητα και αριθμός αναμενόμενων κλήσεων). Η επιλογή γενικά στο πρόγραμμα που θα εκτελέσει την προσομοίωση γίνεται με τυχαίο τρόπο (unbiased).

Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως η προσομοίωση αυτή είναι σε επίπεδο κλήσης. Αυτό σημαίνει πως μία κλήση από το χρήστη για χρήση μίας ή περισσότερων υπηρεσιών του δικτύου γίνεται αποδεκτή μόνο αν υπάρχει η απαιτούμενη χωρητικότητα, την οποία έχει ήδη καταναίμει το δίκτυο με μία εκ των τριών μεθόδων κατανομής χωρητικότητας που περιγράφηκαν. Αν αυτή βρεθεί

διαθέσιμη, τότε ένα νοητό μονοπάτι δεσμεύεται καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας, ενώ αν αντίθετα δε βρεθεί, τότε η κλήση απορρίπτεται. Όλα αυτά βέβαια με δεδομένο ότι μία κλήση αντιμετωπίζεται ως γεγονός που έχει κάθε φορά συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες προέλευσης (πηγής), προορισμού, απαιτούμενης χωρητικότητας και διάρκειας.

Τέλος, γίνεται και η εξής σημαντική παραδοχή: κάθε κλήση υποτίθεται ότι παίρνει αμέσως την απαραίτητη χωρητικότητα που της αποδίδεται χωρίς γι' αυτή τη διαδικασία να υπάρχει χρονική καθυστέρηση. Αυτό στην σε μία πραγματική κλήση δεν ισχύει πάντα, αφού μία καθυστέρηση της έναρξης εξυπηρέτησης μπορεί πάντα να υπάρχει σε μία κλήση προς το δίκτυο.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μέσω προσομοίωσης δείχνουν τον αλγόριθμο SEPARATE να έχει το υψηλότερο κόστος, ενώ τον MERGED να έχει το χαμηλότερο. Επίσης, ο δυναμικός αλγόριθμος κατανομής χωρητικότητας DYN1 παρέχει τη μικρότερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος μιας κλήσης. Ταυτόχρονα όμως, για όλο και μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή α (μεγαλύτερη – πυκνότερη κατανομή εναλλακτικών μονοπατιών στο δίκτυο) η απόδοση του στατικού αλγόριθμου STAT βελτιώνεται γρηγορότερα από τους άλλους δύο.

Όπως σημειώθηκε, η όλη παραπάνω ανάλυση δε λαμβάνει υπόψη την τυχόν καθυστέρηση που μπορεί να υπάρξει για την αποδοχή (εύρεση της απαιτούμενης χωρητικότητας για την εξυπηρέτηση) μίας κλήσης. Στην πράξη τέτοιες καθυστερήσεις μπορεί να υπάρξουν και μάλιστα να είναι απαράδεκτα μεγάλες.

❖ Έτσι τα τελευταία χρόνια η κατεύθυνση της έρευνας σε αυτό το πεδίο έχει στραφεί σε πιο προχωρημένες αναλύσεις των δυνατών μεθόδων κατανομής χωρητικότητας, όπως είναι αλγόριθμοι οι οποίοι κάνουν κατανομή τηλεπικοινωνιακών πόρων προτού ακόμα έρθει η κλήση. Κάτι τέτοιο βέβαια εμπλέκει μοντέλα πρόβλεψης τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η οποία πρέπει να προβλέπεται ταυτόχρονα και αξιόπιστα για όλα τα ζεύγη δυνατών διαδρομών του δικτύου και είναι ένα στοιχείο που κάνει τη μαθηματική ανάλυση και μοντελοποίηση σημαντικά δυσκολότερη τόσο σε τεχνικό όσο και σε επίπεδο συμβατών – αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

4. ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

4.1 Βιβλιογραφικές αναφορές για σχεδίαση δικτύων με χρήση ευριστικών αλγόριθμων

Μία εντελώς διαφορετική φιλοσοφία σχεδίασης της τοπολογίας ATM δικτύων αποτελούν οι λεγόμενες ευριστικές μέθοδοι, στις οποίες κατατάσσονται και οι γενετικοί αλγόριθμοι. Σύμφωνα με αυτές τις μεθόδους, μία ομάδα αρχικών – δοκιμαστικών τοπολογιών δικτύων χρησιμοποιείται και έπειτα με τη βοήθεια συνεχών δοκιμών – κύκλων (σε κάθε τέτοιο κύκλο υπάρχουν κάποιες μικρές αλλαγές και βελτιώσεις στο υποψήφιο δίκτυο προς εξέταση) καταλήγουμε στο τελικό σχήμα υλοποίησης.

Εδώ ο στόχος παραμένει το να σχεδιαστεί μια τέτοια δομή υλοποίησης ώστε το δίκτυο να έχει βέλτιστο κόστος και ταυτόχρονα να ικανοποιεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές όσον αφορά τη μεταφορά δεδομένων. Η βελτιστοποίηση στην διαδικασία σχεδίασης της τοπολογίας ενός δικτύου γενικά εμπλέκει μη γραμμικές εκφράσεις – συναρτήσεις όσον αφορά τα επί μέρους κόστη για τη σύζευξη των κόμβων μεταξύ τους. Οι γενικά γνωστοί αλγόριθμοι χρειάζονται υπολογιστικό χρόνο ο οποίος αυξάνει εκθετικά σε σχέση με το πλήθος των δυνατών επιλογών [1].

Το πρόβλημα της εύρεσης των κατάλληλων στοιχείων ενός δικτύου, όπως είναι η τοπολογία, η χωρητικότητα και η κατανομή τηλεπικοινωνιακών ροών κίνησης αναφέρεται γενικά στη βιβλιογραφία με τον όρο TCFA (topology, capacity & flow assignment problem). Οι κατάλληλες ροές κίνησης μεταξύ των κόμβων υπολογίζονται από αλγόριθμους δρομολόγησης, όπως είναι ο αλγόριθμος του ελάχιστου μονοπατιού (shortest path algorithm), όταν υπάρχει δυνατότητα χρήσης μόνο μιας διαδρομής, ή άλλοι αλγόριθμοι βέλτιστης δρομολόγησης, όταν υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές. Επειδή όμως η συνάρτηση κόστους για ένα πρόβλημα TCFA παρουσιάζει πολλά τοπικά ελάχιστα, βέλτιστες και ταυτόχρονα ακριβείς λύσεις μπορούν να υπολογιστούν είτε για πολύ μικρά δίκτυα είτε σε υπερβολικά μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ευριστικών μεθόδων (heuristics) οι οποίες προσεγγίζουν μία συνολική λύση [20] για μεγάλα δίκτυα (τα οποία και συναντιούνται στην πράξη) σε όχι απαγορευτικούς χρόνους.

Αρκετοί ευριστικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την τοπολογική σχεδίαση ATM δικτύων. Στην έρευνα του Lo [15] παρουσιάζεται ένας τέτοιος αλγόριθμος (column-generation-based heuristic), ο οποίος χρησιμοποιεί διαστάσεις σε αλγεβρικούς χώρους για να αναπαραστήσει τις δυνατές εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ κόμβων. Οι Gerla, Monteiro και Pazos [3] για την τοπολογική εύρεση την νοητών μονοπατιών (VP) μοντελοποιούν τη χωρητικότητα και την κατανομή τηλεπικοινωνιακών ροών στο δίκτυο με τη μέθοδο Frank-Wolfe της πιο απότομης κλίσης της συνάρτησης TCFA (Frank-Wolfe steepest descent method) για να βρουν το τοπικό ελάχιστο ξεκινώντας από διαφορετικές αρχικές δοκιμαστικές λύσεις του προβλήματος. Από τις τελικές λύσεις επιλέγεται εκείνη που δίνει τη μικρότερη μέση καθυστέρηση στο δίκτυο. Οι Mitra, Morrison και Ramakrishnan [16] χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο ο οποίος βελτιώνει κάθε φορά τις πιθανότητες απώλειας μιας κλήσης υποθέτοντας ανεξαρτησία μεταξύ των διαφορετικών ζεύξεων ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, ενώ αναφέρονται ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν η

διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για διαφορετικά και τυχαία επιλεγόμενα αρχικά τοπολογικά σχήματα.

Δύο είναι τα κρίσιμα σημεία τα οποία κρίνουν γενικά την αποδοτικότητα τέτοιων αλγορίθμων:

Ο σωστός και βέλτιστος υπολογισμός (σαν υπολογιστική διαδικασία) της τελικής τοπολογίας και ταυτόχρονα η δημιουργία των καταλληλότερων αρχικών τοπολογιών [4].

Όσον αφορά το τελευταίο σκέλος, οι Kershbaum, Kermani και Grover [17] παρουσιάζουν μία ευριστική μέθοδο για την οποία χρησιμοποιούν αρχιτεκτονικές δέντρου (μια αρχιτεκτονική που γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλού κόστους) σαν αρχικές τοπολογίες. Οι Diriltan και Donaldson [18] παράγουν και αυτοί αρχικές τοπολογίες δέντρου χρησιμοποιώντας αλγόριθμους που συνδυάζουν γραμμικές αναδρομικές εξισώσεις με μεθόδους ομαδοποίησης (linear regression clustering). Τέλος οι Dysart και Georganas [19] έχουν αναπτύξει έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης με την ονομασία NEWCUST, ο οποίος υπολογίζει τις υποψηφίες θέσεις μονοπάτια που ενώνουν τους διάφορους κόμβους δημιουργώντας αρχικά μια λίστα με τους K πλησιέστερους γείτονες σε κάθε κόμβο και βρίσκοντας έπειτα ποιό από αυτούς εμφανίζονται πιο συχνά σε όλες τις λίστες.

4.2 Γενετικοί αλγόριθμοι – Γενικά

Από την άλλη, υπάρχει και η κατηγορία των γενετικών αλγορίθμων (genetic algorithms - GA). Οι αλγόριθμοι αυτοί στηρίζονται σε μια διαδικασία "φυσικής επιλογής" (natural selection) μεταξύ των υποψηφίων τοπολογιών – λύσεων του προβλήματος και σε μία "γενετική" κωδικοποίηση κάθε μιας από αυτές. Μια ομάδα από χρωμοσώματα (επί μέρους χαρακτηριστικά) ορίζονται ότι ουσιαστικά αναπαριστούν κάθε ξεχωριστή λύση. Το σύνολο αυτών των λύσεων ταξινομείται με σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το ποια ταιριάζει – προσαρμόζεται περισσότερο στις απαιτήσεις του προβλήματος. Σε κάθε κύκλο του αλγορίθμου επιλέγεται γενικά μία υποκατηγορία από αυτό το σύνολο, τα μέλη της οποίας υπόκεινται σε ένα είδος αμοιβαίας ανταλλαγής επί μέρους ιδιοτήτων (crossover), εμπλουτισμού με νέες και αποκοπή εκείνων που φαίνονται να μην ταιριάζουν – γίνεται δηλαδή ένα είδος αναπαραγωγής και αλλαγής του αρχικού συνόλου των λύσεων, πράγμα που εξηγεί (τουλάχιστον στα πλαίσια αυτής της γενικής ανάλυσης) τον όρο γενετικοί αλγόριθμοι.

Στη συνέχεια η ίδια διαδικασία επιλογής κάθε φορά των καταλληλότερων λύσεων και αναπαραγωγής των επομένων επαναλαμβάνεται με γνώμονα να παράγονται όλο και προσαρμοσμένες λύσεις όσον αφορά τις απαιτήσεις του προβλήματος. Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του τοπολογικού σχεδιασμού ATM δικτύων. Οι Elbaum και Sidi [16] χρησιμοποίησαν τέτοιες μεθόδους για να ελαχιστοποιήσουν τη μέση καθυστέρηση των πακέτων σε ένα τοπικό δίκτυο το οποίο είχε δομή δέντρου. Στη βιβλιογραφική αναφορά [17] εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος αλλά προσαρμοσμένη για μεγαλύτερα δίκτυα. Το επιστημονικό άρθρο των Tang, To, Man και Kwong [18] κάνει μια εξειδικευμένη και λεπτομερή περιγραφή ενός γενετικού αλγορίθμου για τη σχεδίαση της τοπολογίας και τη βελτιστοποίηση του επιμερισμού τηλεπικοινωνιακών πόρων σε ATM δίκτυα.

4.3 Παρουσίαση των απαιτήσεων για έναν απλό γενετικό αλγόριθμο

Ο λόγος που εξετάζουμε τις ευριστικές μεθόδους μαζί με τους γενετικούς αλγόριθμους βασίζεται στο ότι και οι δύο εφαρμόζουν την ίδια φιλοσοφία: ξεκινούν από ένα σύνολο αρχικών δοκιμαστικών λύσεων, οι οποίες μετά από διαδοχικούς κύκλους του αλγόριθμου αλλάζουν και προσαρμόζονται στις απαιτήσεις που εμείς θέτουμε κάθε φορά. Στη συνέχεια θα κάνουμε μια πιο λεπτομερή αναφορά στις υποθέσεις που γίνονται για την επίλυση προβλημάτων τοπολογικής σχεδίασης με τη βοήθεια τέτοιων μεθόδων.

Γενικά γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

- Οι πηγές κίνησης συνδέονται κάθε φορά στους αντίστοιχους κόμβους μεταγωγής (ATM switches) που έχουν το μικρότερο κόστος μονοπατιού, ενώ η δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους γίνεται με τον αλγόριθμο του συντομότερου μονοπατιού (shortest path algorithm).

- Κάθε κόμβος του δικτύου δε θα είναι απαραίτητα και ένας ενεργός κόμβος μεταγωγής, πράγμα που οδηγεί με τη σειρά του σε δύο διαφορετικά είδη ζεύξεων: i) από έναν κόμβο μεταγωγής σε έναν άλλο (switch-to-switch link), εδώ η βέλτιστη κατανομή χωρητικότητας υπολογίζεται με τη χρήση γραφικών μεθόδων ελαχίστων ροών και υποθέτοντας κανονική-γκουσιανή (gaussian) κατανομή των εφικτών τιμών χωρητικότητας για κάθε κόμβο ξεχωριστά, i) από μία πηγή σε έναν κόμβο μεταγωγής (source-to-switch link), όπου γίνεται χρήση γραφικών μεθόδων ελαχίστων ροών για την κατανομή χωρητικότητας [19].

- Κάθε κόμβος μεταγωγής μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές θύρες χωρητικότητας (capacity ports). Αυτές χρειάζονται για τη διαχείριση του φόρτου με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί κάθε μία από αυτές και μία ξεχωριστή υπηρεσία στο δίκτυο. Υπάρχει μία φθίνουσα κατάταξη (ανάλογα με το φασματικό εύρος που μπορεί να υποστηρίξει κάθε μία θύρα).

- Μετά τον καθορισμό των θέσεων των κόμβων μεταγωγής αποδίδεται σε κάθε ζεύγος ο δρόμος μεγαλύτερης χωρητικότητας, και εφαρμόζεται ο αναδρομικός – ευριστικός αλγόριθμος που θα καθορίσει – προσδιορίσει την τοπολογία χαμηλότερου κόστους με περιορισμούς όλες τις απαιτήσεις για την ποιότητα επικοινωνίας (Quality of Service – QoS).

Με δεδομένες τις παραπάνω υποθέσεις το πρόβλημα ανάγεται στο ποιές κόμβοι θα παίζουν το ρόλο των κόμβων μεταγωγής (ATM switch). Αν γενικά υπάρχουν N κόμβοι και S επιλογές για τους κόμβους μεταγωγής, τότε κάθε κόμβος θα βρίσκεται σε μία από τις $S+1$ καταστάσεις. Δηλαδή, είτε δε θα έχει καθόλου μεταγώγιμο κόμβο είτε θα έχει μία από τις S επιλογές. Επομένως, υπάρχουν $(S+1)^N - 1$ δυνατοί συνδυασμοί όπου έχουμε τουλάχιστο ένα switch. Αυτό για ένα δίκτυο με 15 κόμβους και δύο είδη – τύπους switch δίνει 14.348.906 πιθανούς συνδυασμούς που έχουν τουλάχιστο ένα switch.

4.4 Δύο ευριστικοί αλγόριθμοι: SWAP και GENETIC1

SWAP Algorithm

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί την τεχνική της ομαδοποίησης (clustering) για την εύρεση των υποψηφίων τοποθεσιών για τα ATM switches (μεταγωγικά στοιχεία), [19]. Δημιουργεί μία λίστα με τους K πλησιέστερους γείτονες για κάθε κόμβο και προσδιορίζει τις τοποθεσίες που εμφανίζονται σε αυτή τη λίστα

συχνότερα. Έπειτα, οι κόμβοι αποδίδονται στην υποψήφια τοποθεσία switch, η οποία έχει το μικρότερο κόστος μονοπατιού. Τελικά, επιδιώκεται η ελάττωση του κόστους του δικτύου με τη βοήθεια ανταλλαγής (SWAP) χρησιμοποιημένων και μη χρησιμοποιημένων τοποθεσιών switch στη σχετική λίστα. Αναλυτικότερα:

1. Βρίσκονται οι υποψήφιες τοποθεσίες για τα ATM switch με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου ομαδοποίησης (clustering), ο οποίος και βρίσκει τους Κ πλησιέστερους γείτονες για κάθε κόμβο.
2. Αποδίδεται η τηλεπικοινωνιακή κίνηση σε εκείνο το switch που έχει το ελάχιστο κόστος μονοπατιού, αποδίδονται επίσης όλες οι χρησιμοποιημένες περιοχές στο μεγαλύτερης χωρητικότητας switch, και βρίσκονται οι διαδρομές με τη βοήθεια του αλγόριθμου ελαχίστου δρόμου (shortest path algorithm).
3. Αποδίδονται διαδοχικά όλα τα switches σε κάθε κόμβο έως ότου βρεθεί το φτηνότερο το οποίο όμως θα μπορεί ταυτόχρονα να υποστηρίξει την κίνηση.
4. Υπολογίζεται το κόστος της τοπολογίας του δικτύου.
5. Γίνεται ανταλλαγή με τυχαίο τρόπο μεταξύ χρησιμοποιημένων και μη τοποθεσιών από switches.
6. Επιστρέφουμε στο βήμα 2 και συνεχίζουμε όπως περιγράφηκε την ίδια διαδικασία, έως ότου φτάσουμε το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων.
7. Αποδίδεται σαν τελικό αποτέλεσμα η βέλτιστη οικονομικά τοπολογία.

GENETIC1

Ο αλγόριθμος αυτός αναφέρεται στην [26] βιβλιογραφική αναφορά, όπου και δίνονται αναλυτικά παραδείγματα εφαρμογής του. Στα χρωμοσώματα που χρησιμοποιούνται, το “1” αντιπροσωπεύει μία υποψήφια θέση switch και το “-1” έναν κόμβο χωρίς switch.

1. Γίνεται αρχικοποίηση του πληθυσμού με έναν αριθμό από POPSIZE μέλη.
2. Υπολογίζεται το κατά πόσο ταιριάζει ο δεδομένος πληθυσμός στις απαιτήσεις (fitness of the population).
3. Γίνεται χρήση μιας στρατηγικής διαχωρισμού τμημάτων του πληθυσμού (elitist strategy).
4. Επιλέγονται τα μέλη για την επόμενη γενιά με χρήση κλασικών κριτηρίων αναλογικής επιλογής (standard proportional selection).
5. Ενώνονται δύο μέρη με πιθανότητα PXOVER.
6. Αποκόπτεται ένα γονίδιο (ουσιαστικά ένα χαρακτηριστικό) από ένα μέλος με πιθανότητα PMUTATION.
7. Υπολογίζεται το κατά πόσο ταιριάζει ο δεδομένος πληθυσμός στις απαιτήσεις (fitness of the population).
8. Γίνεται χρήση μιας στρατηγικής διαχωρισμού τμημάτων του πληθυσμού (elitist strategy).
9. Επιστρέφουμε στο βήμα 4 συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία μέχρι το μέγιστο αριθμό γενεών MAXGENS.
10. Αποδίδεται σαν τελικό αποτέλεσμα η βέλτιστη οικονομικά τοπολογία.

4.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι – Αναλυτική παρουσίαση

4.5.1 Συνοπτική επισκόπηση της παρούσας κατάστασης του σχεδιασμού δικτύων ATM

Ο σχεδιασμός ενός βέλτιστου δικτύου N κόμβων μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο επί μέρους υποπροβλήματα:

1. Προσδιορισμός τοπολογίας
2. Ανάθεση των ικανοτήτων στις επιλεγμένες συνδέσεις

Η παρουσία περισσότερων από μιας διαδρομών μεταξύ κάθε προέλευσης και προορισμού στο δίκτυο απαιτεί τη λύση των σύνθετων προβλημάτων κατανομής δρομολόγησης και ικανότητας. Η εγκατάσταση των φυσικών συνδέσεων συνδέεται με διάφορους αριθμούς τρόπων – δαπανών. Το γεωγραφικό σχεδιάγραμμα του δικτύου και οι ικανότητες των συνδέσεων καθορίζουν το κόστος του δικτύου. Οι σχεδιαστές δικτύων πρέπει να εφαρμόσουν μία κατάλληλη τοπολογία δικτύου και να προσδιορίσουν τις χωρητικότητες των διάφορων συνδέσεων. Οι αναθέσεις χωρητικότητας δεν μπορούν να γίνουν αυθαίρετα αλλά έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η προβλεφθείσα κυκλοφορία στο δίκτυο μπορεί να μεταφερθεί - εξυπηρετηθεί. Εκτός από τις οικονομικές δαπάνες, τις φροντίδες δρομολόγησης και επιμερισμού χωρητικότητας, ο σχεδιαστής δικτύων πρέπει να εγγυηθεί ότι το σχεδιασμένο δίκτυο θα ικανοποιεί μερικές χαρακτηριστικές προδιαγραφές απόδοσης. Οι μελέτες του σχεδιασμού δικτύων επιδιώκουν γενικά να βελτιστοποιήσουν τη μέση καθυστέρηση στο δίκτυο, τη ρυθμό – απόδοση (throughput). Επομένως το πρόβλημα σχεδιασμού δικτύων μπορεί να συνοψιστεί ως βελτιστοποίηση των παραμέτρων δαπανών με τους ακόλουθους περιορισμούς:

1. Απαιτήσεις κυκλοφορίας
2. Κριτήρια απόδοσης

Με τη γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας του ATM είναι επιτακτικό ότι τα δίκτυα είναι πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να καλύπτουν τους περιορισμούς δαπανών και τις απαιτήσεις απόδοσης. Τα νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δικτύων ATM και των υπηρεσιών που μεταφέρουν απαιτούν μια διαφορετική προσέγγιση στο σχεδιασμό σε σύγκριση με τα συνηθισμένα δημόσια δίκτυα.

Δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία που εξετάζουν το δίκτυο του ATM από άποψη σχεδίασης. Το πρόβλημα διατυπώνεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης δικτύων όπου ένα μέτρο συμφόρησης βασισμένο στη μέση καθυστέρηση πακέτων ελαχιστοποιείται, με δεδομένους τους περιορισμούς χωρητικότητας και bandwidth που επιβάλλονται. Το ATM δίκτυο σχεδιάζεται με τις απαιτήσεις κυκλοφορίας και τις γεωγραφικές αποστάσεις ως μόνες παράμετροι εισόδου.

Το ATM υποστηρίζει τις ευαίσθητες στην καθυστέρηση εφαρμογές (delay sensitive applications) όπως η φωνή και τις ευαίσθητες στην καθυστέρηση εφαρμογές (loss sensitive applications) όπως η μεταφορά εικόνας.

Η μέθοδος των γενετικών αλγόριθμων (genetic algorithms – GA) χρησιμοποιείται για να λύσει το πρόβλημα σχεδιασμού. Οι GA χρησιμοποιούνται σε δύο επίπεδα για να λύσουν τα δίδυμα προβλήματα του προσδιορισμού τοπολογίας και της ανάθεσης χωρητικότητας μεταξύ των συνδέσεων. Η έννοια του GA αναπτύχθηκε από John Holland [13]. Το GA χρησιμοποιεί τις έννοιες της προσαρμογής και της επιβίωσης που βρέθηκε στη φυσική εξέλιξη για να διαμορφώσει έναν αλγόριθμο αναζήτησης.

Οι παραδοσιακές τεχνικές βελτιστοποίησης δεν είναι στην πράξη πολύ χρήσιμες για τα προβλήματα που η μαθηματική τους περιγραφή απαιτεί τη χρήση πολλών μεταβλητών (που περιγράφονται με πολυδιάστατα μοντέλα), και για τα προβλήματα βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων. Το διάστημα αναζήτησης για το πρόβλημα σχεδίου δικτύων είναι τεράστιο και τα πολλαπλάσια κριτήρια που πρέπει να ικανοποιηθούν όπως τις απαιτήσεις κυκλοφορίας, πολλαπλές απαιτήσεις καθυστέρησης, απαιτήσεις απώλειας κλήσεων καθιστούν άλλες συμβατικές τεχνικές βελτιστοποίησης μη πρακτικές για αυτό το πρόβλημα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι, αφ' ετέρου, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί ως τεχνικές αναζήτησης και βελτιστοποίησης για τα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων με πολύ μεγάλα διαστήματα λύσης (multi-criteria problems with unmanageably large solution spaces)

4.6 Γενετικοί Αλγόριθμοι – Επί μέρους βήματα

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε δύο επίπεδα για να λύσουν το πρόβλημα. Στο εξωτερικό επίπεδο, το GA αποφασίζει την καλύτερη τοπολογία του δικτύου ελαχιστοποιώντας το γενικό κόστος του δικτύου. Το εσωτερικό GA χρησιμοποιείται για να δεσμεύσει τις χωρητικότητες στις διάφορες συνδέσεις στις τοπολογίες του εξωτερικού GA. Ενώ οι ικανότητες ανατίθενται, μια βέλτιστη δρομολόγηση της κυκλοφορίας γίνεται για να σιγουρευτεί ότι η συνολική (end – to – end) καθυστέρηση μεταξύ κάθε ζευγαριού κόμβων είναι μικρότερη από η μέγιστη που προσδιορίζεται. Επομένως στο εσωτερικό GA, η γενική καθυστέρηση στο δίκτυο ελαχιστοποιείται.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι αναζήτησης βασισμένοι στους μηχανισμούς της φυσικής επιλογής και τη φυσική γενετική. Θεωρητικά και εμπειρικά αποδεικνύονται για να παρέχουν αξιόπιστη (robust) αναζήτηση σε σύνθετα και πολυδιάστατα προβλήματα. Η έννοια των γενετικών αλγορίθμων αναπτύχθηκε από τον John Holland και έχει χρησιμοποιηθεί για να λύσει τα προβλήματα βελτιστοποίησης σε πεδία τόσο διαφορετικά όσο όπως είναι στην πληροφορική, τη βιομηχανικά εφαρμοσμένη μηχανική και το εμπόριο. Οι γενετικοί αλγόριθμοι λειτουργούν με τις πεπερασμένες συμβολοσειρές μήκους που αντιπροσωπεύουν ή κωδικοποιούν τις φυσικές παραμέτρους του προβλήματος βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιούν τις γενετικές αρχές της προσαρμογής και "της επιβίωσης του καταλληλότερου" που βρέθηκε στη φύση για να διαμορφώσει έναν αλγόριθμο αναζήτησης. Σε κάθε γενεά, ένα νέο σύνολο συμβολοσειρών δημιουργείται χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά που προέρχονται από την προηγούμενη γενεά. Και σε κάθε γενεά, "ο καταλληλότερος" των συμβολοσειρών έχει μια καλύτερη πιθανότητα της αντιπροσώπευσης στην ακόλουθη παραγωγή. Περιστασιακά ένα νέο χαρακτηριστικό εισάγεται βίαια με την ελπίδα να πάρει μια καλύτερη συμβολοσειρά. Αυτό γίνεται σε μια προσπάθεια να απομακρυνθεί η αναζήτηση

από κάποιο τυχόν τοπικό ακρότατο (extremum) στο οποίο μπορεί να παραμείνει “κολλημένη” κατά διαστήματα. Ενώ το τυχαίο είναι ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του GA, δεν είναι ένας απλός τυχαίος περίπατος. Ο GA εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά τις ιστορικές πληροφορίες που περιλαμβάνονται στις συμβολοσειρές για να ερευνήσουν τα νέα σημεία αναζήτησης και για να βελτιώσει τις πιθανότητες επιτυχίας σε μια λύση. Διάφορα προβλήματα περιλαμβάνονται στην εύρεση ενός σφαιρικού – ολικού βέλτιστου σε μεγάλα διαστήματα – χώρους αναζήτησης (αλγεβρική αναπαράσταση του μαθηματικού μοντέλου σε χώρους πολλών διαστάσεων). Μια εξαντλητική αναζήτηση σε τέτοια διαστήματα αναζήτησης, που είναι ο μόνος αλάνθαστος τρόπος να εγγυηθούν οι βέλτιστες λύσεις, είναι όχι μόνο χρονοβόρα αλλά σπάταλη των στοιχείων υπολογισμού. Τα GAs είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε τέτοια προβλήματα λόγω της δυνατότητάς τους να διερευνήσουν τα μεγάλα αντιπροσωπευτικά διαστήματα αναζήτησης χωρίς πραγματικά να περάσουν από κάθε σημείο το σε ολόκληρο διάστημα αναζήτησης. Χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που συγκεντρώνονται σε οποιοδήποτε μέρος του διαστήματος για να καθοδηγήσουν την αναζήτηση σε περισσότερες ελπιδοφόρες περιοχές που είναι πιθανό να παραγάγουν το βέλτιστο επιθυμητό αποτέλεσμα. Μια συζήτηση άλλων συμβατικών τεχνικών βελτιστοποίησης παρέχεται στο επόμενο τμήμα.

Βήματα (STEPS) του A GA

Τα βήματα που περιλαμβάνονται στην εκτέλεση ενός απλού GA μπορούν να μελετηθούν κάτω από τις ακόλουθες ενότητες:

χρωμοσωμική κωδικοποίηση (**chromosomal encoding**)

Η παράμετρος του προβλήματος πρέπει να κωδικοποιηθεί σε μια συμβολοσειρά πεπερασμένου μήκους μέσα από ένα πεπερασμένο αλφάβητο. Αυτή η κωδικοποιημένη συμβολοσειρά καλείται **χρωμόσωμα** και τα μεμονωμένα πεδία του χρωμοσώματος καλούνται γονίδια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συμβολοσειρά είναι μια δυαδική συμβολοσειρά. Το GA λειτουργεί με έναν πεπερασμένο πληθυσμό αυτών των συμβολοσειρών. Ο πληθυσμός σε οποιαδήποτε επανάληψη του GA καλείται παραγωγή για εκείνη την περίοδο. Οι διαδοχικές επαναλήψεις του GA αλλάζουν τον πληθυσμό για να κινηθούν προς το διάστημα λύσης.

τυχαία έναρξη – αρχικοποίηση του πληθυσμού (**random initialization of population**)

Ο πληθυσμός αρχικοποιείται με τυχαίο τρόπο. Σε μερικά προβλήματα, όλες οι μεταλλαγές (**permutations**) των συμβολοσειρών πέρα από το πεπερασμένο αλφάβητο μπορούν να αντιπροσωπεύσουν τα έγκυρα χρωμοσώματα ή τις λύσεις στο πρόβλημα. Αλλά σε μερικές περιπτώσεις, μόνο μερικά χρωμοσώματα μπορούν να ισχύουν, έτσι επομένως ο αρχικός πληθυσμός παράγεται σιγουρευμένος ότι τα χρωμοσώματα ισχύουν.

Οι GA ασχολούνται περισσότερο με την αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Οι πληροφορίες που κωδικοποιούνται στα χρωμοσώματα χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η αντικειμενική συνάρτηση. Κάθε χρωμόσωμα

συνδέεται με μια αξία ικανότητας που είναι ίση με την αντικειμενική αξία προσαρμοστικότητας (**fitness value**) που αξιολογείται για εκείνο το χρωμόσωμα. Για τα προβλήματα μεγιστοποίησης, ένα χρωμόσωμα με μια υψηλότερη fitness value θεωρείται καλύτερο ή περισσότερο "κατάλληλο" (considered more "fit"). Αντίθετα, στα προβλήματα ελαχιστοποίησης, ένα χρωμόσωμα με τη χαμηλότερη fitness value θεωρείται περισσότερο "κατάλληλο".

επιλογή (**selection**)

Σε κάθε γενεά, τα καταλληλότερα χρωμοσώματα εκείνου του πληθυσμού επιλέγονται για να διαμορφώσουν το σύνολο χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή (mating pool). Η επιλογή των χρωμοσωμάτων γίνεται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που μοιάζει με το γύρισμα της ρόδας σε μία ρουλέτα. Σε κάθε χρωμόσωμα i ανατίθεται μια πιθανότητα της επιλογής. Αυτές οι πιθανότητες χαρτογραφούνται σε μια ρόδα ρουλετών, έτσι ώστε το χρωμόσωμα τη μεγαλύτερη καταλαμβάνει μια αντίστοιχα μεγαλύτερη περιοχή στη ρόδα ρουλετών. Η ρουλέτα επιλέγεται τυχαία POP_SZ φορές και το χρωμόσωμα που εμφανίζεται, επιλέγεται για να αποτελέσει – διαμορφώσει το σύνολο χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή. Τα χρωμοσώματα αυτά θα γίνουν μέρος της επόμενης γενεάς μετά από τις γενετικές διαδικασίες της **διασταύρωσης** και της **μεταλλαγής**. Όπως είναι φανερό, η διαδικασία της ρουλέτας εξασφαλίζει ότι ο "συναρμολογητής" ("fitter" of the chromosomes) των χρωμοσωμάτων έχει μια καλύτερη πιθανότητα της αντιπροσώπευσης στην επόμενη γενεά.

διασταύρωση (**crossover**)

Η διασταύρωση είναι ένας γενετικός χειριστής – τελεστής (operator) που χρησιμοποιείται για να παραγάγει τα νέα χρωμοσώματα που φέρνουν τα καλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των παλαιών χρωμοσωμάτων. Λειτουργεί γενικά σε δύο χρωμοσώματα που επιλέγονται από το σύνολο χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή (mating pool). Για παράδειγμα, ο χειριστής διασταυρώσεων παράγει αρχικά έναν τυχαίο αριθμό, για παράδειγμα CR_SITE, που κυμαίνεται από 1 έως CHR_SZ., τότε η διασταύρωση ολοκληρώνεται έπειτα με την ανταλλαγή των πεδίων των δύο χρωμοσωμάτων από CR_SITE σε CHR_SZ και τη διατήρηση των πεδίων από 1 έως CR_SITE. Οι δύο απόγονοι της λειτουργίας διασταυρώσεων δίνουν έπειτα την επόμενη γενεά.

μεταλλαγή (**mutation**)

Η μεταλλαγή χρησιμοποιείται γενικά για να πάρει την αναζήτηση μακριά τοπικά ακρότατα. Μια τυχαία περιοχή επιλέγεται σε ένα χρωμόσωμα και το δυαδικό ψηφίο συμπληρώνεται. Αυτή η εργασία τελειοποιείται για τις δυαδικές συμβολοσειρές αλλά και για τα χρωμοσώματα τα των οποίων πεδία είναι δυαδικά μερικά άλλα μέσα πρέπει να αναπτυχθούν γενικά για να εισαγάγουν τα νέα σημεία στο διάστημα αναζήτησης.

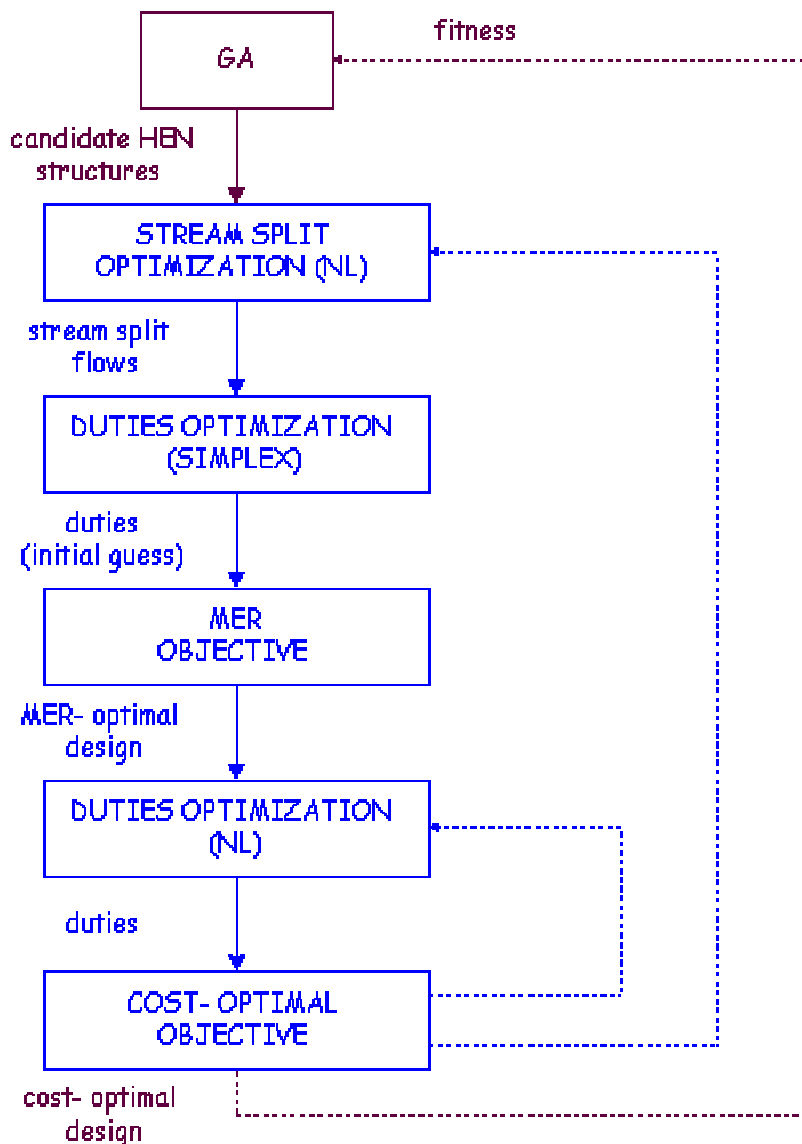
κανόνες λήξης (**termination rules**)

Η εκτέλεση του γενετικού αλγορίθμου ολοκληρώνεται όταν γίνει ένας απαραίτητος αριθμός γενεών ή οι επαναλήψεις. Στο τέλος της εκτέλεσης τα χρωμοσώματα μπορούν να αποκωδικοποιηθούν για να φτάσουν την απαραίτητη λύση στο πρόβλημα. Άλλοι κανόνες λήξης περιλαμβάνουν τον έλεγχο για να δουν εάν ο ολόκληρος πληθυσμός των χρωμοσωμάτων σε οποιαδήποτε γενεά είναι όλος ο ίδιος ή εάν σε ένα ορισμένο ποσοστό του πληθυσμού είναι ο ίδιος.

Ένα παράδειγμα on – line αναπαράστασης της λογικής διαδικασίας ενός γενετικού αλγορίθμου μπορεί να δει κανείς στην ακόλουθη σελίδα στο internet:

<http://www.hig.se/~ardiri/university/research/GENTEX/demo/index.html>

Ένα διάγραμμα ροής ενός συγκεκριμένου γενετικού αλγορίθμου δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



*Schematic showing improved GA-HEN algorithm
(<http://techunix.technion.ac.il/~dlewin/ga-hen.htm>)*

Κάθε πέρασμα του γενετικού αλγορίθμου περιλαμβάνει το σχηματισμό του συνόλου των χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή (mating pool) με την επιλογή των "καταλληλότερων" χρωμοσωμάτων και έπειτα την εκτέλεση των γενετικών διαδικασιών της διασταύρωσης και τη μεταλλαγής για να πάρει με τη σειρά της τα χαρακτηριστικά και η επόμενη γενεά των χρωμοσωμάτων.

4.7 Εφαρμογή στα δίκτυα

Ένας δύο επιπέδων γενετικός αλγόριθμος (GA) χρησιμοποιείται συνήθως για να βρεθεί το βέλτιστο δίκτυο. Ο αλγόριθμος μπορεί να περιγραφεί με τον καθορισμό δύο χωριστών GA: το Cost_GA και το Delay_GA. Το Cost_GA λύνει το πρόβλημα προσδιορισμού τοπολογίας και βελτιστοποιεί το κόστος του δικτύου. Καλεί επίσης το Delay_GA για να λύσει το πρόβλημα ανάθεσης των επί μέρους χωρητικότητων συνδέσεων. Κατά συνέπεια ο αλγόριθμος έχει μια δύο επιπέδων τοποθετημένη δομή GA. Το Delay_GA βρίσκει βασικά τη βέλτιστη δρομολόγηση της αναμενόμενης κυκλοφορίας στις συνδέσεις της τοπολογίας που παρουσιάζεται από Cost_GA. Καθοδηγώντας την κυκλοφορία, Delay_GA επιβάλλει και τον από άκρη σε άκρη (end – to – end) περιορισμό καθυστέρησης. Επίσης, όταν αναθέτει τις ικανότητες συνδέσεων, σιγουρεύεται ότι οι αναμενόμενες απαιτήσεις κυκλοφορίας καλύπτονται πλήρως και η χρησιμοποίηση συνδέσεων είναι μέσα στα όρια που ορίζονται από την ανεκτή καθυστέρηση αναμονής κλήσης και τα ποσοστά απώλειας κλήσεων. Ένα διάγραμμα ροής του ολόκληρου αλγορίθμου δίνεται στο σχήμα 2.

1. Χρωμοσωμική κωδικοποίηση του προβλήματος
2. Τυχαία έναρξη του πληθυσμού
3. Καθορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης
4. Στρατηγική διασταυρώσεων
5. Στρατηγική μεταλλαγής
6. Κανόνες λήξης

1. Χρωμοσωμική κωδικοποίηση

Η τοπολογία του δικτύου και η χωρητικότητα των συνδέσεων που διαμορφώνουν την τοπολογία πρέπει να καθοριστούν για να αξιολογήσουν το κόστος του δικτύου. Ένα δίκτυο των N κόμβων μπορεί να έχει ένα μέγιστο όριο των συνδέσεων που αντιστοιχούν στην περίπτωση ενός πλήρως συνδεδεμένου δικτύου. Οποιοδήποτε δίκτυο μπορεί έτσι να περιγραφεί από μια συμβολοσειρά που αποτελείται από πεδία όπου κάθε πεδίο αντιστοιχεί σε μια ιδιαίτερη σύνδεση στο δίκτυο. Επομένως, ένα χρωμόσωμα για το Cost_GA που αντιπροσωπεύει την τοπολογία του δικτύου, εφεξής καλούμενη topology_C, έχει ορισμένα πεδία. Κάθε πεδίο σε ένα topology_C αναφέρεται σε μια ιδιαίτερη σύνδεση του δικτύου και προσδιορίζει εάν είναι παρόν ή απόν στο δίκτυο. Τα πεδία όλου του topology_C σε μια παραγωγή είναι όλα δυαδικά

για να δείξουν την παρουσία ή την απουσία αντίστοιχων συνδέσεων. Κάθε topology_C σε Cost_GA συνδέεται με ένα αντίστοιχο χρωμόσωμα χωρητικότητας, το capacity_C, το οποίο καθορίζει τις ικανότητες συνδέσεων των αντίστοιχων συνδέσεων. Κάθε capacity_C είναι ακριβώς όμοιο με την αντιστοιχη topology_C υπό την έννοια ότι κάθε διαφορετικό από το μηδέν πεδίο σε topology_C είναι επίσης διαφορετικό από το μηδέν στην capacity_C και κάθε πεδίο που είναι μηδέν σε topology_C είναι επίσης μηδέν στην αντιστοιχία capacity_C. Τα διαφορετικά από το μηδέν πεδία σε capacity_C αντιπροσωπεύουν τις χωρητικότητες συνδέσεων που ανατιθενται στις ιδιαίτερες συνδέσεις που υπάρχουν. Τα χρωμοσώματα τοπολογίας χρησιμοποιούνται σε όλες τις διαδικασίες του Cost_GA εκτός από τον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης.

Τυχαία έναρξη του πληθυσμού

Ο αρχικός πληθυσμός topology_Cs παράγεται τυχαία λαμβάνοντας υπόψη ότι μόνο οι τοπολογίες που περιγράφουν τα συνδεδεμένα δίκτυα ισχύουν και μπορούν να γίνουν αποδεκτές.

Καθορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης

Ο βασικός στόχος στο Cost_GA είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος του δικτύου. Τα Capacity_C πρέπει να τροποποιηθούν κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου για να απεικονίσουν τις ικανότητες κορμών των διάφορων συνδέσεων. Αλλά οι ικανότητες δεν μπορούν να ανατεθούν τυχαία. Η προσοχή πρέπει να ληφθεί για να εξασφαλίσει ότι η ανάθεση χωρητικότητας ικανοποιεί όλες τις αναμενόμενες απαιτήσεις κυκλοφορίας. Για αυτό όλες οι πιθανές διαδρομές μεταξύ οποιωνδήποτε δύο ζευγαριών κόμβων πρέπει να βρεθούν, και η αναμενόμενη κυκλοφορία μεταξύ των ζευγαριών κόμβων πρέπει να διανεμηθεί μεταξύ των διαθέσιμων διαδρομών. Για να κρατήσουν το πρόβλημα μέσα στη λογική πολυπλοκότητα, όλες οι πιθανές διαδρομές δεν προσδιορίζονται από την αρχή. Οι κοντύτερες (από την άποψη της καθυστέρησης στις διαδρομές) διαδρομές βρίσκονται με τον αλγόριθμο ελάχιστου μονοπατιού (shortest-path algorithm) Dijkstra και η κυκλοφορία διανέμεται σε εκείνες τις διαδρομές. Μία διαδρομή επιλέγεται μόνο εάν η συνολική (end – to – end) καθυστέρηση στη διαδρομή είναι μικρότερη από ένα αποδεκτό άνω όριο. Ο αριθμός διαδρομών που βρίσκεται περιορίζεται συνήθως για να αυξήσει την ανοχή βλαβών του δικτύου. Μερικά μονοπάτια μπορούν να είναι πιο επιρρεπή σε περιορισμούς χρονικής καθυστέρησης από άλλα και η κυκλοφορία πρέπει να διανεμηθεί βέλτιστα με το κριτήριο διαδρομή-καθυστέρηση ως γνώμονα. Το Delay_GA χρησιμοποιείται εδώ για να επιλέξει τις καλύτερες διαδρομές και να διανείμει βέλτιστα την κυκλοφορία. Κατά συνέπεια το Delay_GA φθάνει σε μια βέλτιστη διανομή της κυκλοφορίας μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κόμβων για μια δεδομένη τοπολογία. Επομένως, προτού να μπορέσει να υπολογιστεί η αξία χωρητικότητας για κάθε χρωμόσωμα, το Delay_GA πρέπει να υπολογιστεί σε κάθε ζευγάρι κόμβων. Κατά συνέπεια το delay_GA αναθέτει τις χωρητικότητες συνδέσεων στην capacity_C που φροντίζει για τις απαιτήσεις κυκλοφορίας και που ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση στο δίκτυο και που κρατά το ποσοστό απώλειας κλήσεων χαμηλό. Μόλις βρεθεί η αντιστοιχία capacity_C για κάθε topology_C, η αξία χωρητικότητας κάθε χρωμοσώματος ή του κόστους του δικτύου που αντιπροσωπεύει αξιολογείται. Όσο χαμηλότερο το κόστος μιας τοπολογίας, τόσο περισσότερες πιθανότητες επιλογής έχει για να αποτελέσει μέρος του πληθυσμού για την επόμενη γενεά.

Στρατηγικές διασταυρώσεων και μεταλλαγής

Μια διαδικασία επιλογής με τη διαδικασία της ρουλέτας χρησιμοποιείται για να επιλέξει διάφορα κατάλληλα χρωμοσώματα για να τα εισαγάγει στη το σύνολο χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή (mating pool). Δύο χρωμοσώματα επιλέγονται τυχαία για τη διασταύρωση. Η μεταλλαγή είναι χειριστής που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τη βελτιστοποίηση να πάρει από ένα τοπικό βέλτιστο. Στην περίπτωση μας η ελαφρώς μεγαλύτερη αξία για την πιθανότητα της μεταλλαγής φαίνεται να παράγει τα καλύτερα αποτελέσματα. Η μεταλλαγή ολοκληρώνεται με τη συμπλήρωση μιας θέσης δυαδικών ψηφίων στο χρωμόσωμα. Πάλι ένας έλεγχος συνδετικότητας γίνεται για να εξασφαλίσει ότι μόνο οι συνδεδεμένες τοπολογίες περνούν στην επόμενη γενεά.

Χειριστής Crossover_new

Για μερικές περιπτώσεις μια τροποποίηση της ανωτέρω περιγεγραμμένης λειτουργίας διασταυρώσεων χρησιμοποιείται για να εγγυηθεί ότι τα παιδιά αντιπροσώπευσαν επίσης τις συνδεδεμένες τοπολογίες. Αυτή η λειτουργία αναφέρεται ως crossover_new. Αυτό θα εξασφαλίσει ότι τα επακόλουθα χρωμοσώματα αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνδεδεμένες τοπολογίες δεδομένου ότι καμία σύνδεση δεν έχει διαγραφεί από το δίκτυο. Οι συνδέσεις έχουν προστεθεί μόνο στην αντίστοιχη λίστα.

Κανόνες λήξης

Η εκτέλεση του GA ολοκληρώνεται όταν έχουν όλα τα χρωμοσώματα σε μια γενεά την ίδια αξία χωρητικότητας.

Περιγραφή DELAY_GA

Το Delay_GA ή το εσωτερικό GA διανέμει την κυκλοφορία μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κόμβων βέλτιστα σε όλες τις διαδρομές. Το Delay_GA εκτελείται για κάθε διαταγμένο κόμβο-ζευγάρι στο δίκτυο για κάθε χρωμόσωμα Cost_GA. Το Delay_GA εκτελείται από την αντικειμενική λειτουργία Cost_GA.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος των γενετικών αλγόριθμων (genetic algorithms – GA) χρησιμοποιείται για να λύσει το πρόβλημα σχεδιασμού. Οι GA χρησιμοποιούνται σε δύο επίπεδα για να λύσουν τα δίδυμα προβλήματα του προσδιορισμού τοπολογίας και της ανάθεσης χωρητικότητας μεταξύ των συνδέσεων. Η έννοια του GA αναπτύχθηκε από John Holland [13]. Το GA χρησιμοποιεί τις έννοιες της προσαρμογής και της επιβίωσης που βρέθηκε στη φυσική εξέλιξη για να διαμορφώσει έναν αλγόριθμο αναζήτησης.

Οι παραδοσιακές τεχνικές βελτιστοποίησης δεν είναι στην πράξη πολύ χρήσιμες για τα προβλήματα που η μαθηματική τους περιγραφή απαιτεί τη χρήση πολλών μεταβλητών (που περιγράφονται με πολυδιάστατα μοντέλα), και για τα προβλήματα βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων. Το διάστημα αναζήτησης για το πρόβλημα σχεδίου δικτύων είναι τεράστιο και τα πολλαπλάσια κριτήρια που πρέπει να ικανοποιηθούν όπως τις απαιτήσεις κυκλοφορίας, πολλαπλές απαιτήσεις καθυστέρησης, απαιτήσεις απώλειας κλήσεων καθιστούν άλλες συμβατικές τεχνικές βελτιστοποίησης μη πρακτικές για αυτό το πρόβλημα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι, αφ' ετέρου, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί ως τεχνικές αναζήτησης και βελτιστοποίησης για τα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων με πολύ μεγάλα διαστήματα λύσης (multi-criteria problems with unmanageably large solution spaces). Το τελευταίο τους τοποθετεί σήμερα στην πρώτη θέση προτεραιότητας όσον αφορά τις μεθοδολογίες σχεδιασμού ATM δικτύων.

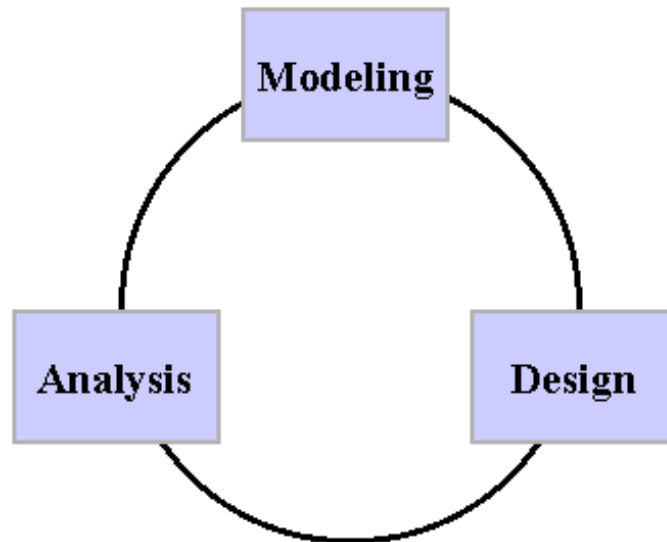


Figure 2.1 Relationship between modeling, analysis and design techniques

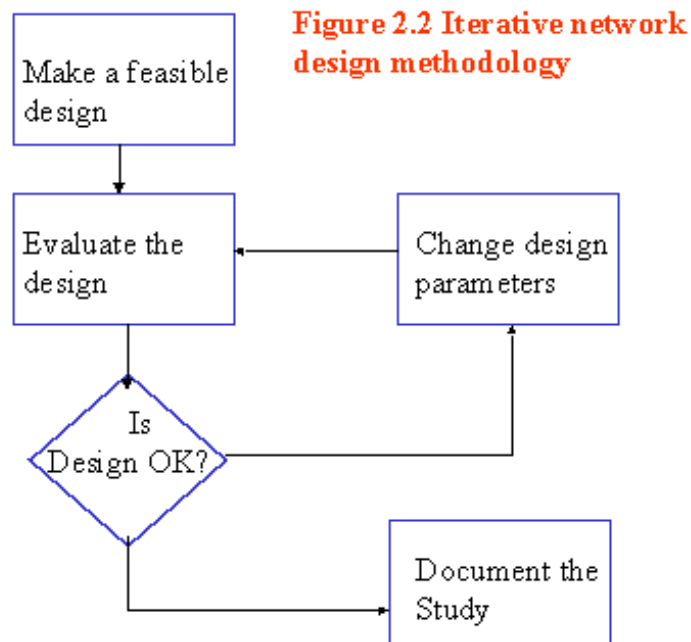
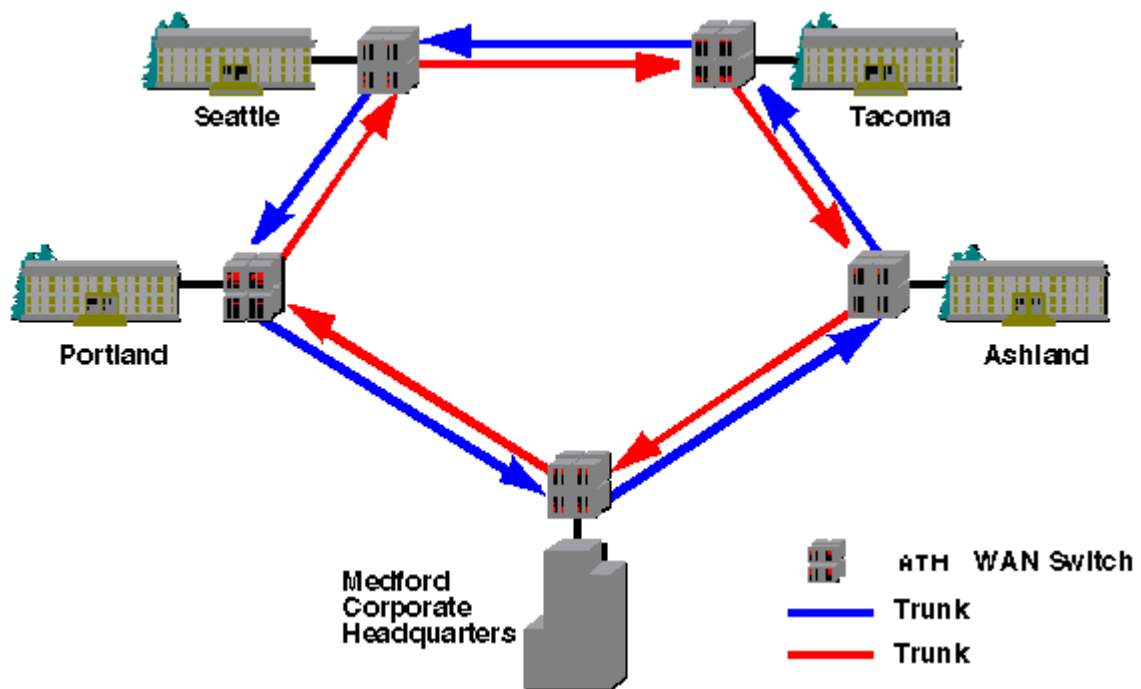


Figure 2.2 Iterative network design methodology

1. Modeling of existing environments
2. Modeling of user requirements
3. Modeling of traffic growth
4. Modeling meaningful alternatives
5. Modeling of multiphased system cutover
6. Return-on-investment analysis
7. Making a final choice
8. System implementation and cutover
9. Measurement of system performance
10. Documentation +Updating of design tools DB



Figure 2.3 Steps in the life cycle of a network system



<http://www.tele.sunyit.edu/design34.htm>

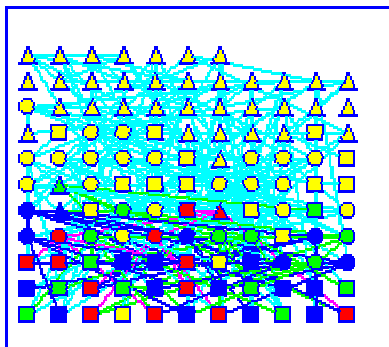
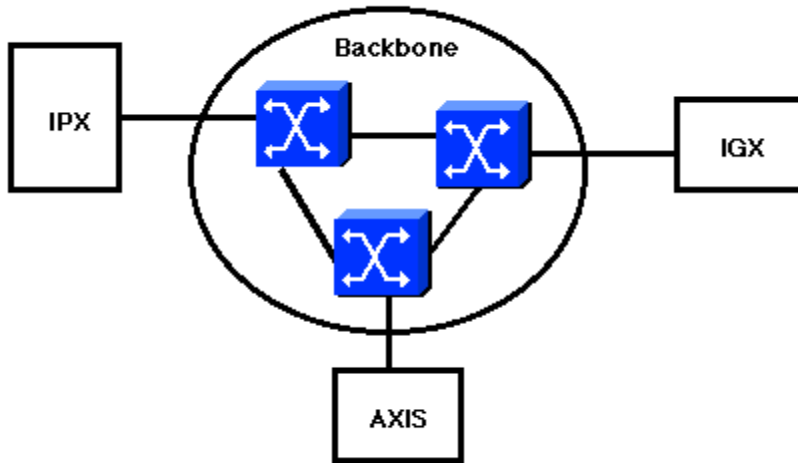
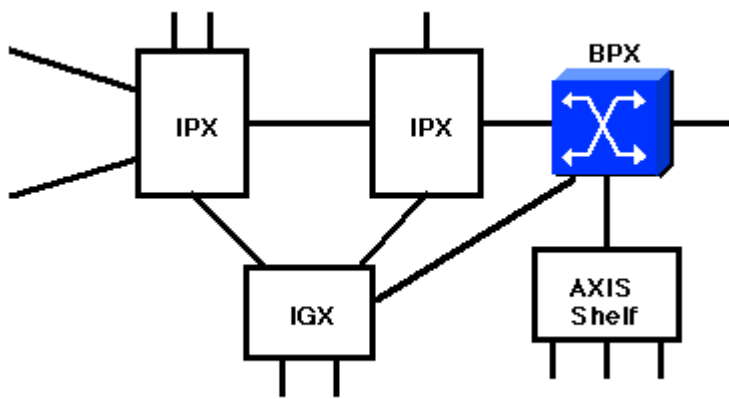


Fig. 1. An initial population of networks.

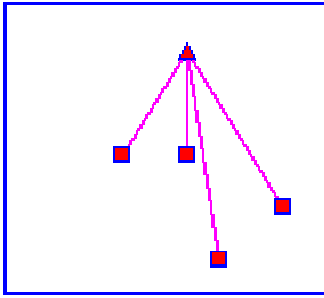


Fig. 2. One of the randomly generated network.

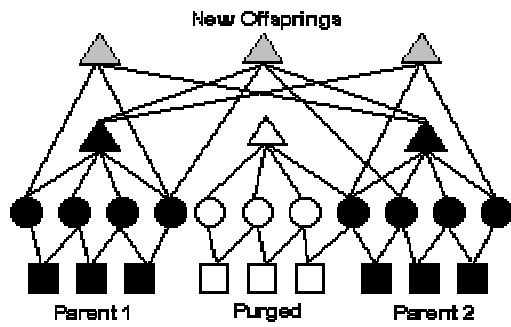


Fig. 3. Mating of two fittest parent networks to produce new offspring.

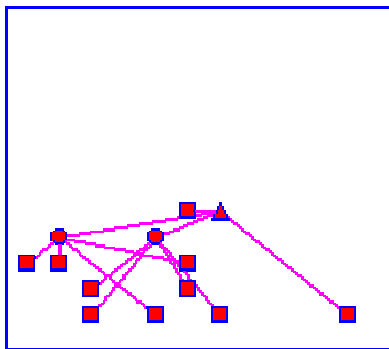


Fig. 4. The best network after 30 generations of evolution.

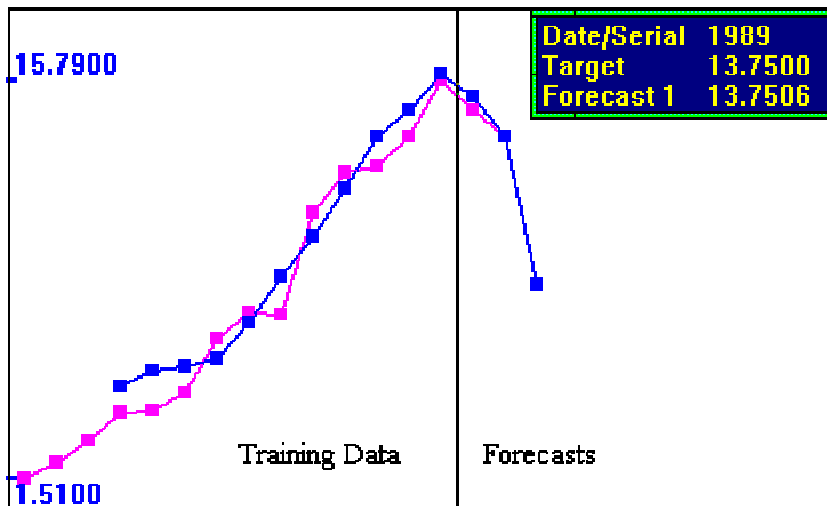
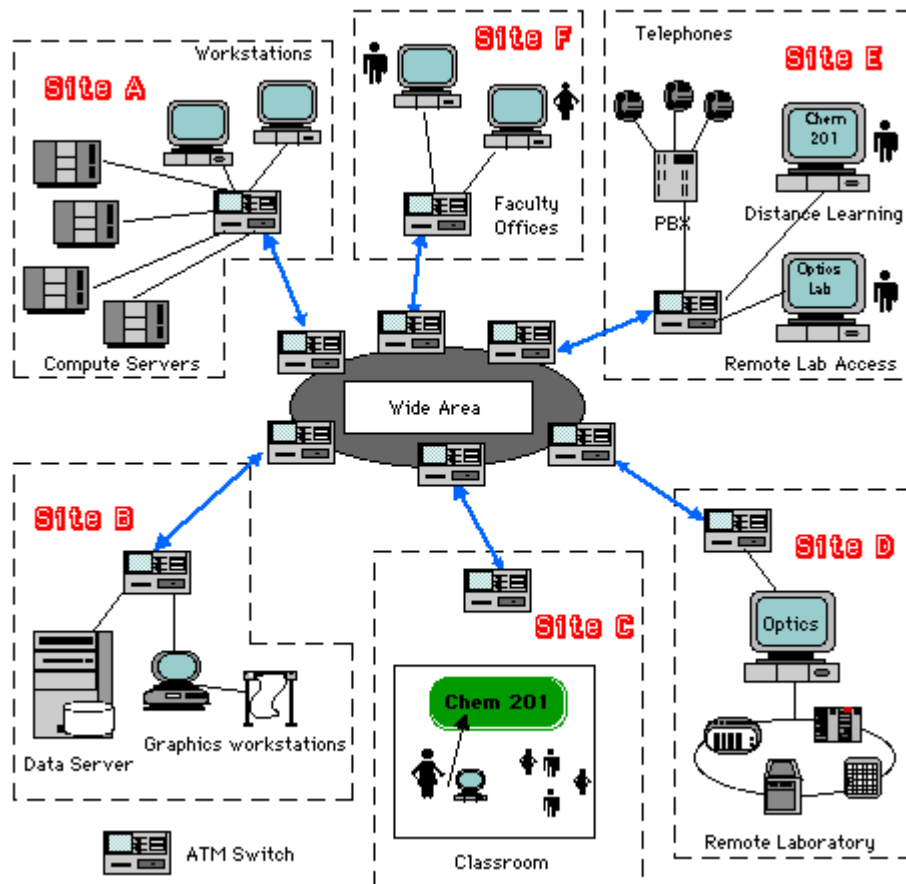


Fig. 5. Output of the fittest network.

The following diagram shows an example topology for a ATM network.



Βιβλιογραφία

- [1] K. I. Baba, M. Murate and H. Miyahara, "Performance analysis for the dynamic virtual path bandwidth control method in ATM networks", *International journal of Communication Systems*, vol. 7, no. 4, 1994, pp 283-294.
- [2] B. Gavish, "Topological Design of Computer Communication Networks – The Overall Design Problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 58, 1992, pp. 149-72.
- [3] M. Gerla, J. A. S. Monteiro and R. Pazos, "Topology Design and Bandwidth Allocation in ATM Networks", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 7, no.8, Oct 1989, pp. 1253-62.
- [4] A. Gersht and R. Weihmayer, "Joint Optimization of Data Network Design and Facility Selection", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, no.9, Dec 1990, pp. 1667-81.
- [5] C. Hu and J. Harms, "Topology Design for Reconfigurable ATM Networks", submitted to *Discrete Applied Mathematics*.
- [6] A. Kershenbaum, "Telecommunications Network Design Algorithms", McGraw-Hill, 1993.
- [7] M. J. Lee and J. R. Yee, "A logical Topology and Discrete Capacity Assignment Algorithm for Reconfigurable ATM Networks", *Operations Research*, vol. 43, no. 1, Jan.-Feb. 1995, pp. 102-16.
- [8] D. Medhi, "Multi-Hour, Multi-Traffic Class Network Design for Virtual Path-Based Wide-Area Dynamically Reconfigurable ATM Networks", *IEEE/ ACM Transactions on Networking*, vol.3, no. 6, Dec. 1995, pp. 809-18.
- [9] K. Murakati and H. S. Kim, "Virtual Path Routing for Survivable ATM Networks", *IEEE/ ACM Transactions on Networking*, vol. 1, no. 1, Feb. 1996, pp. 22-39.
- [10] H. Nakamura and T. Oda, "Optimization of Facility Planning and Circuit Routing for Survivable Transport Networks – An Approach Based on Genetic Algorithm and Incremental Assignment", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 2, Feb. 1997, pp. 240-251.
- [11] S. Ohta and K. Sato, "Dynamic bandwidth control of virtual path in an asynchronous transfer mode network", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, 1992, pp. 1239-47.
- [12] K. I. Sato, S. Ohta and I. Tokizawa, "Broadband ATM Network Architecture Based on Virtual Paths", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, 1990, pp. 1212-22.
- [13] M. Gerla and L. Kleinrock, "On the topological design of distributed computer networks", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 25, 1977, pp. 48-60.
- [14] R.R. Boorstyn and H. Frank, "Large-scale network topological optimization", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 25, 1977, pp. 29-47.
- [15] S. Z. Lo, "ATM network topological design and network modification", PhD thesis, *Operations Research*, North Carolina State University, 1996.
- [16] D. Mitra, J. A. Morrison and K. G. Ramakrishnan, "ATM network design and optimization: a multirate loss network framework", *IEEE/ ACM Transactions on networking*, vol. 4, no. 4, Aug. 1996, pp. 531-543.
- [17] A. Kershenbaum, P Kermani and G. A. Grover, "MENTOR: an algorithm for mesh network topology optimization and routing", *IEEE Transactions on Communications*, vol.39, no. 4, April 1991, pp. 503-513.

- [18] H. Dirltlen and R. W. Donaldson, “Topological design of distributed data communication networks using linear regression clustering”, IEEE Transactions on Communications, vol. 25, 1977, pp. 1083-1092.
- [19] H. G. Dysart and N. D. Georganas, “Newclust: an algorithm for the topological design of two level multidrop teleprocessing networks”, IEEE Transactions on Communications, vol. 26, no. 1, Jan. 1978, pp. 55-62.
- [20] S. Pierre and G. Legault, “A Genetic Algorithm for Designing Distributed Computer Network Topologies”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 28, no. 2, Apr. 1998, pp. 249-258.
- [21] K. Tang, K. To, K. Man and S. Kwong, “Topology design and bandwidth and bandwidth allocation of embedded ATM networks using genetic algorithm”, IEEE Communications Letters, vol. 2, no. 6, Jun. 1998, pp. 171-173.
- [22] Dale R. Thompson, “Comparison of Two Swap Heuristics with a Genetic Algorithm for the Design of an ATM Network”, IEEE Proceedings of IC3N’98, October 1998 in Lafayette, Louisiana.
- [23] Janelle J. Harms, “Pysical and Logical Design of ATM Networks for Multimedia Traffic”, 2000 – Univ. of Alberta, Edmonton – Canada, Dept. of Computing Science
- [24] R. Guerin, H. Ahmadi and M. Naghsineh, “Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high – speed networks” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 9, 1991, pp. 968-981.
- [25] Roshan L. Sharma, “Network Topology Optimization, the art and science of network design”. 1990 – Van Nostrand Reinhold Publ. New York, ISBN 0-442-23819-3.
- [26] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs – 3rd rev. and extended ed., New York, NY: Springer – Verlag, 1996.

Σελίδες στο Internet

<http://www.cc.gatech.edu/projects/gtitm/>

Γίνεται μια περιγραφή μεθοδολογιών για τις σύγχρονες τακτικές και απαιτήσεις σχεδίασης σε μεγάλα δίκτυα (Modeling Topology of Large Internetworks).

<http://web.singnet.com.sg/~midaz/Introga.htm>

Αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας σχεδίασης δικτύων με τη βοήθεια γενετικών αλγορίθμων – Ανάλυση με πληροφοριακό σύστημα και γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.

<http://choices.cs.uiuc.edu/Papers/Networks/mcast.pdf>

Efficient signaling algorithms for ATM networks.

<http://www.cl.cam.ac.uk/Research/SRG/fairpap.html>

Ανάλυση πειραματικού project για τις διαφορετικές τοπολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε τοπικά δίκτυα.

http://www.erg.sri.com/telecomm/ntwk_prot.html

Ανάλυση των διαφορετικών επιλογών σχεδίασης τόσο τοπολογιών δικτύων (**Multimedia Communication System Designs**), όσο και μεθόδων αποφυγής προβλημάτων στένωσης στο δίκτυο (**Congestion Control in ATM Networks**).

<http://www.atmforum.com/>

Κεντρικό site αναφοράς για όλα τα θέματα έρευνας αλλά και εμπορικής εκμετάλλευσης τεχνολογιών ATM δικτύων.

<http://archive.ncsa.uiuc.edu/General/CC/netdev/atm/topology.html>

Πανεπιστημιακό site με πολύ οργανωμένες αναφορές σε θέματα σχεδίασης και προώθησης τεχνολογιών ATM δικτύων.

<http://www.hpc.gatech.edu/Internet2/atm/>

Νέες τεχνολογίες που αφορούν το γνωστό στην Αμερική Internet2 καθώς και επεξηγήσεις βασικών θεμάτων που αφορούν την τοπολογία και τη λειτουργία όσον αφορά ATM δίκτυα

<http://www.google.com/search?q=cache:blaiHJCGKZQ:www.ee.cornell.edu/~bhaskar/ganet-bib.html+algorithms+topology+ATM&hl=el>

<http://www.computer.org/proceedings/lcn/8810/8810toc.htm>

<http://www.dis.uniroma1.it/~alcom-it/proprog/node19.html>

<http://www.eevl.ac.uk/index.html>

<http://www.cs.columbia.edu/~hgs/etc/writing-style.html>

<http://www.techguide.com/>

<http://www.networkmagazine.com/article/NMG20010413S0005>

http://www.batm.com/in_prod.htm

<http://searchnetworking.techtarget.com/bestWebLinks/0,,sid7,00.html>

<http://www.searchability.com/>

<http://www.itprc.com/>

<http://www.networkmagazine.com/static/tutorial/index.html>

<http://www.comsoc.org/ci1/Public/2001/Nov/index.html>

<http://www.mcl.iis.u-tokyo.ac.jp/~miyoshi/ps/ps.html>