

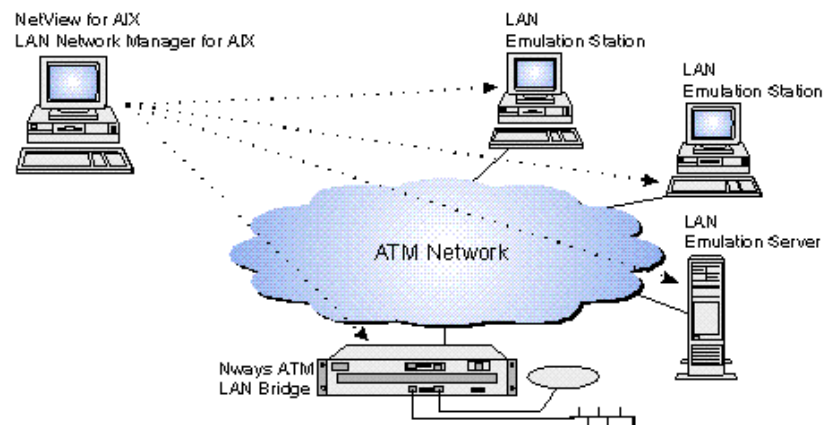
UNIVERSITY OF MACEDONIA

Master Information Systems

Course: NETWORKING TECHNOLOGIES

Professor: Dr. A.A. ECONOMIDES, economid@uom.gr

SURVIVABILITY, FAULT TOLERANCE AND SELF-HEALING TECHNIQUES FOR ATM NETWORKS

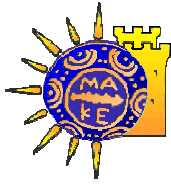


ZGOUVA ALEXANDRA, zgouva@uom.gr

MOUTZIKI ELEFThERIA, moutziki@uom.gr

Thessaloniki

January, 2003



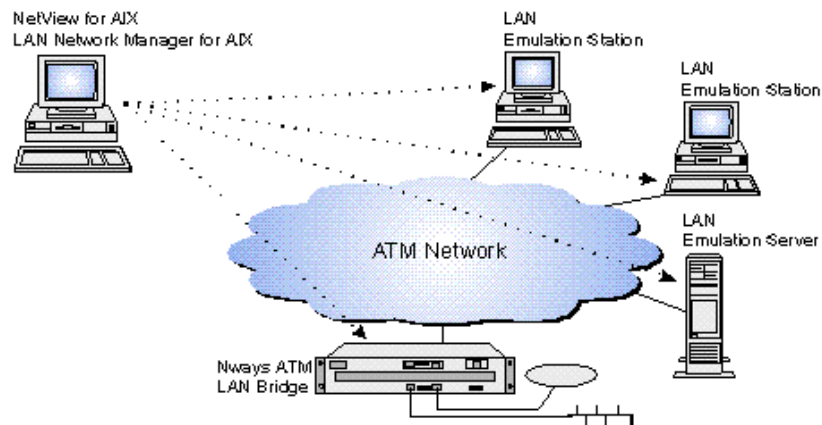
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα

Μάθημα: Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων

Υπεύθυνος Καθηγητής: Δρ. Α.Α. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ, economid@uom.gr

**ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΛΑΘΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΤΜ ΔΙΚΤΥΩΝ**



ΖΓΟΥΒΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ, zgouva@uom.gr

ΜΟΥΤΖΙΚΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ, moutziki@uom.gr

Θεσσαλονίκη

Ιανουάριος, 2003

Abstract

With ATM networks shaping the backbone of most networks, the survival level of circulation adversely in networks failures has become more crucial. The **survivability** of networks is usually measured by the long-term availability or by the average operational time of the network. Such high availability can be achieved by using the **self-healing** schemes that are provided by the self-healing techniques of such networks. The ATM can be survivable for large networks, if their **fault tolerance** level is as big as what is provided by other technologies. We consider a VP as a basic unit of self-healing.

The existing and prototype schemes of ATM networks include the Centralized Control Switching, the Self-Healing Network– SHN network, the Automatic Protection Switch – APS, the Self-Healing Ring – SHR and the Multistage Interconnection Network (MIN). Compared to this schemes, the Failure Resistant Virtual Path –FRVP implements self-healing without the interruption of services.

Περίληψη

Με τα δίκτυα ATM που διαμορφώνουν τη ραχοκοκκαλιά των περισσότερων δικτύων, η ικανότητα επιβίωσης της κυκλοφορίας ενάντια στις αποτυχίες δικτύων έχει γίνει κρισιμότερη. Η **ικανότητα επιβίωσης (Survivability)** δικτύων μετριέται συνήθως από τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα ή από το μέσο χρόνο λειτουργίας του δικτύου. Η υψηλή διαθεσιμότητά τους μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα σχέδια αποκατάστασης που παρέχονται από τις **τεχνικές αποκατάστασης (Self-Healing)** δικτύων. Τα ATM μπορεί να είναι βιώσιμα για μεγάλα δίκτυα αν μπορούν επιτυχώς να αποδείξουν ένα επίπεδο **ανθεκτικότητας (Fault Tolerance)**, τουλάχιστον τόσο μεγάλο όσο αυτό που παρέχεται από άλλες τεχνολογίες (θεωρούμε ένα VP ως βασική μονάδα αποκατάστασης).

Τα υπάρχοντα και πρωτότυπα σχέδια για τα δίκτυα ATM περιλαμβάνουν τον κεντρικό έλεγχο μεταγωγής (Centralized Control Switching), το «αυτοθεραπευόμενο» δίκτυο (Self-Healing Network– SHN), τη μεταγωγή αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS), τον «αυτοθεραπευόμενο» δακτύλιο (Self-Healing Ring – SHR) και το Multistage Interconnection Network (MIN). Συγκρινόμενο με αυτά τα σχέδια, το «ανθεκτικό στην αποτυχία λογικό μονοπάτι» (Failure Resistant Virtual Path –FRVP) πραγματοποιεί την αποκατάσταση αποτυχίας χωρίς τη διακοπή υπηρεσιών.

CONTENTS

INTRODUCTION.....	9
INTRODUCTION TO SURVIVABLE NETWORKS.....	9
CHAPTER 1.....	10
SURVIVABILITY	10
1.1 Asynchronous Transfer Mode - ATM.....	10
1.2 Survivability	10
1.3 Multi-layer principals of survivability.....	12
1.3.1 Insertion of hold-off time	13
1.3.2 Signalling between the layers.....	13
1.4 Available survivability mechanisms.....	14
1.5 Development of a survivable model.....	14
1.6 The meaning of Virtual Path (VP) for survivability.....	15
1.6.1 VP restoration advantages.....	17
1.6.2 VP restoration disadvantages.....	17
1.7 Survivable ATM Network Management Architecture	18
CHAPTER 2.....	19
MANAGEMENT AND FAULT TOLERANCE	19
2.1 Fault Tolerance.....	19
2.2 Restoration scheme.....	19
2.3 Demands for the survivability of ATM Networks.....	20
2.4 Detection, isolation and re-establishment of damage.....	20
2.5 Switching Trigger.....	21
2.6 Fault management	21
2.7 Operational demands of fault management	22
2.8 The basic elements in fault management.....	23
CHAPTER 3	25
SELF-HEALING TECHNIQUES OF ATM NETWORKS.....	25
3.1 Self-Healing Techniques of ATM Networks.....	25
3.2 ATM restoration schemes	26
3.3 Self-Healing Network – SHN.....	26
3.3.1 Dynamically planned SHN scheme.....	26
3.3.2 Predefined SHN scheme.....	27
3.3.3 Comparison of dynamically planned scheme and predefined scheme	27
3.4 Centralized Control Switching Scheme.....	27
3.5 Automatic Protection Switch – APS	29

3.6 Self-Healing Ring (SHR) Scheme.....	30
3.7 Failure Resistant Virtual Path- FRVP	30
3.8 Multistage Interconnection Network (MIN).....	31
CONCLUSIONS	32
SUGGESTIONS FOR FUTURE RESEARCH	32
ABBREVIATIONS.....	33
REFERENCES	336

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
Εισαγωγή στα Επιβιώσιμα Δίκτυα	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	10
ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ	10
1.1 Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM).....	10
1.2 Επιβιωσιμότητα (Survivability).....	10
1.3 Οι πολυστρωματικές αρχές επιβιωσιμότητας.....	12
1.3.1 Εισαγωγή ενός hold-off χρόνου	13
1.3.2 Signalling μεταξύ των στρωμάτων.....	13
1.4 Οι διαθέσιμοι μηχανισμοί επιβιωσιμότητας.....	14
1.5 Ανάπτυξη μοντέλου επιβιωσιμότητας.....	14
1.6 Η σημασία του Virtual Path (VP) για την επιβιωσιμότητα.....	15
1.6.1 Πλεονεκτήματα αποκατάστασης VP.....	17
1.6.2 Μειονεκτήματα αποκατάστασης VP.....	17
1.7 Επιβιώσιμη αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύων ATM	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΟΧΗ ΛΑΘΩΝ.....	19
2.1 Ανοχή βλαβών - fault tolerance.....	19
2.2 Σχέδιο αποκατάστασης.....	19
2.3 Οι απαιτήσεις για την επιβιωσιμότητα των δικτύων	20
2.4 Ανίχνευση, απομόνωση και αποκατάσταση βλαβών	20
2.5 Μηχανισμός ανίχνευσης αποτυχίας (Switching Trigger).....	21
2.6 Διαχείριση λαθών	21
2.7 Λειτουργικές απαιτήσεις της διαχείρισης βλαβών	22
2.8 Τα βασικά στοιχεία στη διαχείριση λαθών.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	25
ΑΥΤΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ATM.....	25
3.1 Αυτόματη επιδιόρθωση δικτύων ATM (Self-Healing Techniques of ATM Networks).....	25
3.2 Σχέδια αυτοθεραπείας σε δίκτυα ATM	26
3.3 Αυτοθεραπεύόμενο δίκτυο (Self-Healing Network – SHN)	26
3.3.1 Δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο	26
3.3.2 Προκαθορισμένο SHN σχέδιο.....	27
3.3.3 Σύγκριση του δυναμικού προγραμματισμένου σχεδίου και του προκαθορισμένου σχεδίου	27
3.4 Centralized Control Switching Σχέδιο.....	27

3.5 Σχέδιο μεταγωγής αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS).....	29
3.6 Σχέδιο Self-Healing Ring (SHR).....	30
3.7 Ανθεκτικό εικονικό μονοπάτι αποτυχίας (Failure Resistant Virtual Path- FRVP)	30
3.8 Multistage Interconnection Network (MIN).....	31
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	32
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ	32
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	33

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 - Επιβιωσιμότητα και διαθεσιμότητα.....	11
Σχήμα 1.2 – Σύγκριση μηχανισμών επιβιωσιμότητας στα διαφορετικά επίπεδα δικτύου	12
Σχήμα 1.3α - Αποκατάσταση γραμμών και αποκατάσταση μονοπατιών.....	15
Σχήμα 1.3β - Εφεδρική διανομή μονοπατιών.....	16
Σχήμα 1.4 - Μια επιβιώσιμη διοικητική αρχιτεκτονική δικτύων του ATM.....	18
Σχήμα 2.1 - Σε δύο στάδια προσπέλαση αποκατάστασης.....	19
Σχήμα 2.2 - Κύκλος διαχείρισης αποτυχίας	20
Σχήμα 2.3 - Μηχανισμός μετάδοσης συναγερμού στο VP επίπεδο	21
Σχήμα 2.4 - Διαχείριση λαθών	22
Σχήμα 2.5 – Συστατικά αρχιτεκτονικής ATM connection-fault management	23
Σχήμα 2.6 – Αλληλεπιδράσεις στην διαχείριση βλαβών.....	24
Σχήμα 3.1 – Λειτουργία «αυτοθεραπείας» (Self-healing).....	25
Σχήμα 3.2 - Σχήμα αποκατάστασης κεντρικού ελέγχου	28
Σχήμα 3.3 - Σχήμα VP (VC) - APS	29
Σχήμα 3.4 - ATM self-healing ring	30
Σχήμα 3.5 – Η έννοια του FRVP.....	31

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΑ ΔΙΚΤΥΑ

Δεδομένου ότι οι επιχειρήσεις γύρω από τον κόσμο στηρίζονται όλο και περισσότερο στις τηλεπικοινωνίες για να κερδίσουν μια ανταγωνιστική θέση στην αγορά, τα ευφυή δίκτυα που διασυνδέουν συνολικά τις επιχειρήσεις και τις οικονομικές κοινότητες αυξάνονται στο μέγεθος και τον αριθμό, καθώς επίσης και στον αριθμό νέων εφαρμογών. Η τιμή, που αφορά το κόστος δικτύων, και η αξιοπιστία, που αφορά την **ικανότητα επιβίωσης** δικτύων, είναι κυρίαρχα κριτήρια των επιχειρησιακών πελατών στην επιλογή ενός προμηθευτή υπηρεσίας τηλεπικοινωνιών. Αν και η τιμή είναι η αρχική ανησυχία, η αξιοπιστία κερδίζει γρήγορα την περισσότερη σημασία.

Με τα δίκτυα **ATM** που διαμορφώνουν τα backbones των περισσότερων δικτύων, η ικανότητα επιβίωσης της κυκλοφορίας ενάντια στις αποτυχίες δικτύων έχει γίνει κρισιμότερη. Πολλές από τις αναδυόμενες υπηρεσίες επιχειρησιακών τηλεπικοινωνιών, ιδιαίτερα οι εφαρμογές fast packet asynchronous transfer mode και frame relay-based applications, απαιτούν δυνατά συστήματα [44] [43].

Οι διακοπές στην παροχή ηλεκτρισμού δικτύων και η υποβάθμιση απόδοσης έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε αυτές τις εφαρμογές από ό,τι στις συμβατικές υπηρεσίες. Η συμβατική ικανότητα επιβίωσης δικτύων μετριέται συνήθως από τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα ή από το μέσο χρόνο λειτουργίας του δικτύου. Οι περισσότερες επιχειρήσεις θέλουν τις συνδέσεις των επικοινωνιών τους να είναι συνεχώς διαθέσιμες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουν την πιθανή απώλεια εισοδήματος.

Η υψηλή διαθεσιμότητα δικτύων μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα σχέδια αποκατάστασης χιλιοστών του δευτερολέπτου που παρέχονται από τις **τεχνικές αποκατάστασης** (Self-Healing) δικτύων.

Μια περιοχή με υψηλή δυνατότητα για τη μείωση του κόστους των δικτύων είναι η **ικανότητα επιβίωσης** των δικτύων. Η δυνατότητα του ATM για στατιστική πολυπλεξία [45] και η μη-ιεραρχική δομή μονοπατιών, καθώς επίσης και η δυναμική δρομολόγηση στοιχείων και η διαχείριση κυκλοφορίας του, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απλοποιήσουν την **επιβιωσιμότητα** των δικτύων και να κάνουν αποδοτικότερη χρήση των πόρων.

Είναι μια κοινοτοπία ότι οποιαδήποτε συσκευή μέσα σε ένα δίκτυο backbone πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για να παρέχει τη **λειτουργία ανοχής βλαβών** (fault tolerant operation). Τα ATM WANs δεν μπορεί να είναι βιώσιμα για δίκτυα μεγάλων backbone, εκτός αν μπορούν επιτυχώς να αποδείξουν ένα επίπεδο **ανθεκτικότητας** τουλάχιστον τόσο μεγάλο όσο αυτό που παρέχεται από άλλες τεχνολογίες [16] [48]. Τα δίκτυα του ATM, εντούτοις, απαιτούν την ειδική προσοχή από αυτή την άποψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

1.1 Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM)

Ο Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (ATM- Asynchronous Transfer Mode) είναι μια τεχνολογία μεταγωγής και πολυπλεξίας, σε επίπεδο κυψελίδων (cells). Χαρακτηρίζεται ως «ασύγχρονη» λόγω του τρόπου μεταφοράς των κυψελίδων. Το ATM συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα τόσο της μεταγωγής πακέτου όσο και της μεταγωγής κυκλώματος, έχει τη δυνατότητα μεταφοράς όλων των τύπων πληροφορίας δημιουργώντας ένα δίκτυο μεταφοράς ανεξάρτητο από τους διάφορους υποστηριζόμενους τύπους υπηρεσιών [2] [3].

Το ATM επιτρέπει στους προμηθευτές υπηρεσίας να υποστηρίξουν καλύτερα τα δίκτυά τους χωρίς περιττές εγκαταστάσεις και να καταστήσουν την ικανότητα επιβίωσης των δικτύων τους περισσότερο προσιτή.

1.2 Επιβιωσιμότητα (Survivability)

Βασική αρχή της **επιβιωσιμότητας** (survivability) των ATM δικτύων αποτελεί η εξασφάλιση της δυνατότητας αναδρομολόγησης της κίνησης, μέσω μιας εναλλακτικής διαδρομής, όταν συμβαίνει μία βλάβη, έτσι ώστε τελικά η κίνηση να φθάσει στον προορισμό της χωρίς να επηρεασθεί από τη βλάβη. Μια πολύ ενδιαφέρουσα και χρήσιμη διαδικασία είναι αυτή της «αυτόματης επισκευής» (self-healing) του δικτύου. Ο όρος αναφέρεται στην αυτόματη και ταχεία (της τάξης των msec) αποκατάσταση της επικοινωνίας μετά από ένα γεγονός που επηρεάζει την απόδοση του δικτύου [49].

Με άλλα λόγια πρόκειται για μια ιδιότητα ενός συστήματος, ενός υποσυστήματος, ενός εξοπλισμού, ή μιας διαδικασίας που παρέχουν έναν καθορισμένο βαθμό διαβεβαίωσης ότι η ονομασμένη οντότητα θα συνεχίσει να λειτουργεί και κατά τη διάρκεια αλλά και μετά από μια φυσική ή προκαλούμενη ή όχι από τον άνθρωπο διαταραχή. Για μια δεδομένη εφαρμογή, η ικανότητα επιβίωσης πρέπει να είναι κατάλληλη με τον προσδιορισμό της σειράς των όρων πέρα από την οποία η οντότητα θα επιζήσει, η ελάχιστη αποδεκτή λειτουργία επιπέδων ή μετα-διαταραχής, και η μέγιστη αποδεκτή "διάρκεια" διακοπών .

Οι στρατηγικές επιβιωσιμότητας ενός στρώματος (Single layer survivability) στα δίκτυα έχουν μελετηθεί για πολλά χρόνια [37] [39]. Πρότυπα είναι διαθέσιμα στις τεχνικές προστασίας για μερικά από αυτά τα στρώματα (π.χ. Synchronous Digital Hierarchy - SDH), εντούτοις, η χρήση μιας τεχνικής ικανότητας επιβίωσης που λειτουργεί σε ένα ενιαίο στρώμα δικτύων δεν είναι μερικές φορές η καλύτερη λύση για να παρέχει το απαιτούμενο επίπεδο του QoS για όλες τις υπηρεσίες σε ένα λογικό

κόστος. Οι πολυστρωματικές τεχνικές επιβιωσιμότητας υπόσχονται να υπερνικήσουν αυτό το πρόβλημα με την ενσωμάτωση των τεχνικών ικανότητας επιβίωσης που παρέχονται στα διαφορετικά στρώματα δικτύων. Ο καθορισμός των πολυστρωματικών στρατηγικών ικανότητας επιβίωσης θέτει δύο βασικές ερωτήσεις που χρειάζονται να απαντηθούν:

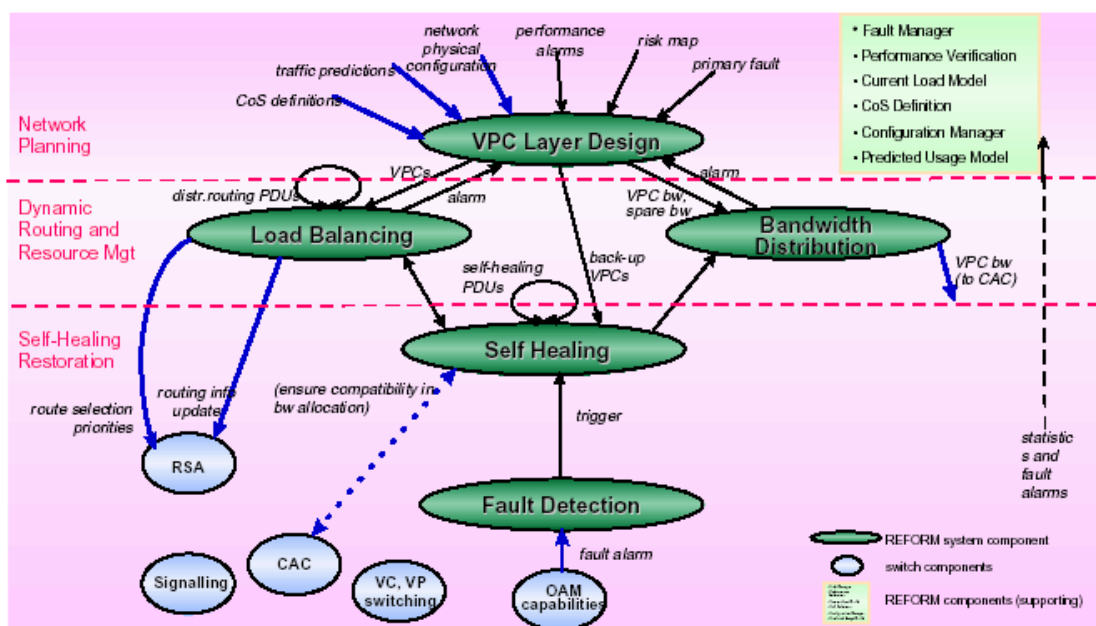
- Ποια λειτουργία επιβιωσιμότητας δεσμεύεται σε κάθε στρώμα;
- Πρέπει να δοθεί ο καθορισμός του συντονισμού μεταξύ των στρωμάτων δικτύων, επειδή εν τη απουσία των ασταθών καταστάσεων συντονισμού, ακαθόριστες διαμορφώσεις δικτύων και δυναμικές μπορούν να εμφανιστούν;

Κάθε στρώμα έχει την τεχνική του προστασίας/ αποκατάστασης, η οποία το καθιστά πολύ δύσκολο να καθορίσει μια κατάλληλη πολυστρωματική αρχιτεκτονική επιβιωσιμότητας.

Γενικά, η αξιοπιστία δικτύων συνεπάγεται: **επιβιωσιμότητα** δικτύων και **διαθεσιμότητα** δικτύων.

Η **επιβιωσιμότητα** δικτύων αναφέρεται στις απαραίτητες λειτουργίες του δικτύου για να εγγυηθεί μια συνεχής υπηρεσία για τις καθιερωμένες συνδέσεις σε περιπτώσεις αποτυχιών που εμφανίζονται μέσα στο δίκτυο.

Η **διαθεσιμότητα** δικτύων αναφέρεται στη βέλτιστη διαμόρφωση και τη λειτουργία του δικτύου, για να αποδεχθεί επιτυχώς το υψηλότερο πιθανό ποσό νέων αιτημάτων υπηρεσίας. Μέσα στο σύστημα η επιβιωσιμότητα δικτύων εφαρμόζεται με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μετατροπής προστασίας στρώματος ATM (ATM layer protection switching mechanism). Αυτός ο μηχανισμός στοχεύει στον επανασηματισμό της υποδομής στρώματος VP με την αλλαγή των αποτυχημένων VPCs σε εφεδρικά (προκαθορισμένα) εναλλακτικά VPCs [29].



Σχήμα 1.1 - Επιβιωσιμότητα και διαθεσιμότητα

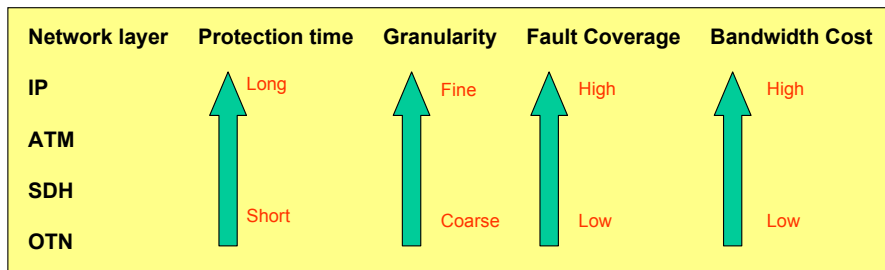
Γενικά οι αρχιτεκτονικές που εξασφαλίζουν την επιβιωσιμότητα ενός δικτύου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) αρχιτεκτονικές που παρέχουν διευκολύνσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για λειτουργίες αποκατάστασης και (β) αρχιτεκτονικές που υποστηρίζουν λειτουργίες αποκατάστασης, χρησιμοποιώντας διαθέσιμες διευκολύνσεις από τις ήδη υπάρχουσες [31].

Για να αντιμετωπίσει επιτυχώς το δίκτυο (χωρίς την επιρροή της ακεραιότητας των υπάρχουσών

υπηρεσιών και της διαθεσιμότητάς του στις μελλοντικές υπηρεσίες) τις περιπτώσεις βλαβών, πρέπει να προγραμματιστούν επίσης προστατευτικά VPCs και να δεσμευθεί το κατάλληλο εύρος ζώνης αποκατάστασης

1.3 Οι πολυστρωματικές αρχές επιβιωσιμότητας

Ένα από τα βασικά προβλήματα στην ανάπτυξη των στρατηγικών επιβιωσιμότητας είναι να συνταιριαστούν οι απαιτήσεις υπηρεσίας που ελαχιστοποιούν το γενικό κόστος δικτύων. Οι διαφορετικές υπηρεσίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις αναφορικά με την επιβιωσιμότητα, αλλά και διαφορετικά σχέδια προστασίας/ αποκατάστασης έχουν διαφορετική απόδοση επιβιωσιμότητας. Χαρακτηριστικά, τα σχέδια προστασίας/ αποκατάστασης, που λειτουργούν στα διαφορετικά στρώματα δικτύων είναι σημαντικά διαφορετικά από την άποψη του χρόνου αποκατάστασης, της granularity και της κάλυψης βλαβών. Επιπλέον, το κόστος του εύρους ζώνης αυξάνει γενικά προς τα ανώτερα στρώματα.



Σχήμα 1.2 – Σύγκριση μηχανισμών επιβιωσιμότητας στα διαφορετικά επίπεδα δικτύου

Η απλούστερη λύση για να βελτιωθεί η **επιβιωσιμότητα** του δικτύου είναι να εισαχθεί ένα ενιαίο σχέδιο **προστασίας** ή **αποκατάστασης**, εργαζόμενο σε ορισμένο στρώμα του δικτύου. Εντούτοις, κατ' αυτό τον τρόπο, είναι συχνά δύσκολο να ταιριαχτεί η απαίτηση όλων των υπηρεσιών που μεταφέρονται από το δίκτυο. Εάν επιλεγεί ένα σχέδιο επιβιωσιμότητας χαμηλού στρώματος, επιτυγχάνεται μια πολύ γρήγορη προστασία ενάντια στις βλάβες του φυσικού στρώματος, αλλά η κάλυψη βλαβών θα μπορούσε να είναι ανεπαρκής, επειδή οι βλάβες στο ανώτερο στρώμα δεν είναι προστατευμένες. Αφετέρου, ένα σχέδιο επιβιωσιμότητας υψηλού στρώματος παρέχει μια καλύτερη κάλυψη βλαβών, αλλά θα μπορούσε να είναι πάρα πολύ αργό για μερικές υπηρεσίες. Η κατάσταση είναι ακόμα και πιο σύνθετη όταν υποστηρίζεται μια ευρεία σειρά των υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις QoS από το ίδιο δίκτυο [37].

Μια ενδιαφέρουσα λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να εισαχθεί η **πολυστρωματική επιβιωσιμότητα** από το συνδυασμό δύο (ή περισσότερων) single-layer σχεδίων επιβιωσιμότητας στο ίδιο δίκτυο. Αυτή η στρατηγική επιτρέπει την εκμετάλλευση του συμπληρωματικού χαρακτηριστικού των διαφορετικών στρωμάτων με όρους επιβιωσιμότητας. Η πρόκληση είναι να βρεθεί η σωστή ανταλλαγή μεταξύ του επιπέδου QoS υπηρεσιών και του κόστους υπηρεσιών. Το βασικό πρόβλημα της πολυστρωματικής ικανότητας επιβίωσης είναι σχετικό την πιθανή ανεπιθύμητη αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών σχεδίων επιβιωσιμότητας. Στην πραγματικότητα μια ενιαία αποτυχία μπορεί να προκαλέσει πολλαπλάσια σχέδια αποκατάστασης που μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους με συνέπεια μια ή περισσότερες περιττές ενέργειες προστασίας.

Οι συνέπειες των ενεργειών αυτών μπορούν να είναι:

- επέκταση του outage time
- το να παραμείνει το δίκτυο σε άγνωστη κατάσταση
- να αυξηθεί η πολυπλοκότητα των διαδικασιών συντήρησης

Όπως αναφέρεται παραπάνω, η αλληλεπίδραση μεταξύ των σχεδίων επιβιωσιμότητας είναι σχετική με την ανίχνευση της ίδιας αποτυχίας στα διαφορετικά στρώματα. Προκειμένου να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη αλληλεπίδραση μεταξύ των σχεδίων επιβιωσιμότητας, διάφορες στρατηγικές μπορούν να εισαχθούν:

- εισαγωγή ενός hold-off χρόνου
- signalling μεταξύ των στρωμάτων.

1.3.1 Εισαγωγή ενός hold-off χρόνου

Μια λύση στο πρόβλημα που προκαλείται από ένα στρώμα που έχει έναν επίσης μικρό χρόνο ανίχνευσης είναι να εισαχθεί ένας **hold-off** χρονοδιακόπτης. Κατ' αυτό τον τρόπο μετά από την ανίχνευση της αποτυχίας το σχέδιο προστασίας πρέπει να περιμένει έως ότου λήγει hold-off χρόνος προτού ξεκινήσει οποιαδήποτε ενέργεια. Εάν ένα άλλο σχέδιο προστασίας, σε ένα διαφορετικό στρώμα, είναι σε θέση να αποκαταστήσει την αποτυχία, κατόπιν η ατέλεια ακυρώνεται και καμία ενέργεια δεν λαμβάνεται στο τέλος του hold-off χρόνου, διαφορετικά η ενέργεια προστασίας ολοκληρώνεται. Ο hold-off χρόνος είναι αυτήν την περίοδο τυποποιημένος μόνο για τα δίκτυα SDH προκειμένου να αποφευχθούν οι συγκρούσεις μεταξύ ενός αυτόματου σχεδίου προστασίας εργαζόμενος στο στρώμα μονοπατιών Path Layer και του Multiplex Section layer. Ιδιαίτερα, SNCP και VC σχέδια προστασίας ιχνών (Trail Protection schemes) μπορούν να έχουν έναν hold-off χρόνο για παροχή, σε μια μεμονωμένη VC βάση, από 0 έως 10 σε βήμα 100 ms. Όταν ο χρονοδιακόπτης λήγει, η μετατροπή προστασίας αρχίζει, εάν ένας όρος ατέλειας είναι ακόμα παρών σε αυτό το σημείο.

Οι hold-off χρονικές αξίες που καθορίζονται για την προστασία SDH εμφανίζονται να είναι κατάλληλες επίσης για άλλο είδος σχεδίων προστασίας όπως εκείνοι που χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο και στα δίκτυα ATM και WDM.

1.3.2 Signalling μεταξύ των στρωμάτων

Αυτή η στρατηγική αποτελείται από μια ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των στρωμάτων που επιτρέπουν την παρεμπόδιση μιας ενέργειας προστασίας σε ένα στρώμα, όταν δεσμεύεται ήδη ένα άλλο στρώμα στην προστασία την ίδια βλάβη. Αυτή η προσπέλαση εμφανίζεται να είναι πολύ ελπιδοφόρα, αλλά είναι πολύ σύνθετη για να εφαρμοστεί στα σημερινά δίκτυα, επειδή ένα πρότυπο signalling interface μεταξύ των παρακείμενων στρωμάτων δικτύων δεν καθορίζεται. Μέχρι τώρα μόνο τα απλά σήματα συντήρησης, όπως το σήμα ένδειξης συναγερμών (AIS) διαβιβάζονται από το server layer στο στρώμα χρηστών προκειμένου να επιτραπεί μερικώς και απλός εντοπισμός βλαβών, αλλά καμία πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο στρώμα χρηστών για την ενέργεια προστασίας στο server

layer.

1.4 Οι διαθέσιμοι μηχανισμοί επιβιωσιμότητας

Τα δίκτυα ATM έχουν τυποποιήσει τις τεχνικές **επιβιωσιμότητας** στο εικονικό στρώμα μονοπατιών (virtual path layer). Τα χαρακτηριστικά των σχεδίων επιβιωσιμότητας του ATM είναι αρκετά διαφορετικά, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα κι αν η αποκατάσταση μπορεί να πάρει περισσότερο απ' ό,τι στο στρώμα SDH ή WDM, η ανίχνευση βλαβών στο στρώμα του ATM είναι πολύ γρήγορη. Επομένως η προστασία του ATM προκαλείται ταυτόχρονα με την προστασία server layer (SDH ή WDM), και μπορεί να προκαλέσει τα αλληλεπιδρώντας προβλήματα [37] [4]. Οι δυνατότητες επιβιωσιμότητας των διαφορετικών στρωμάτων σε μια τυπική αρχιτεκτονική IP/ATM/SDH/WDM συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Layer	Protection	Restoration
IP		X
ATM	X	X
SDH Path	X	X
SDH MS	X	
WDM Och	X	X
WDM OMS	X	

Πίνακας 1.1 - Ικανότητα επιβίωσης των επιπέδων των δικτύων σε αρχιτεκτονική IP/ATM/SDH/WDM

1.5 Ανάπτυξη μοντέλου επιβιωσιμότητας

Ένα γενικό πλαίσιο αναφοράς για την ανάπτυξη ενός μοντέλου επιβιωσιμότητας περιλαμβάνει:

- Τα σενάρια βλαβών,
- Το δικτυακό περιβάλλον,
- Τα βασικά και προηγμένα κριτήρια αξιολόγησης (όπως για παράδειγμα χρόνος ανακατασκευής, νέες δρομολογήσεις, προσφερόμενη διαθεσιμότητα στον χρήστη, απώλεια κίνησης, απώλεια συνδεσιμότητας, κ.α.),
- Τα εργαλεία αξιολόγησης που είναι αναλυτικά μοντέλα και κυρίως εργαλεία και περιβάλλοντα προσομοίωσης,
- Τα εργαλεία απόδοσης πόρων στο δικτυακό περιβάλλον,
- Τα εργαλεία μελέτης του προβλήματος της επιβιωσιμότητας, όταν το δίκτυο επεκτείνεται γεωγραφικά [11] [14].

1.6 Η σημασία του Virtual Path (VP) για την επιβιωσιμότητα

Η έννοια του VP έχει πλεονεκτήματα όπως η ενισχυμένη αξιοπιστία δικτύων, η απλή δρομολόγηση, η γρήγορη μετατροπή και ο στατιστικός πολλαπλασιασμός του κέρδους. Από την επαναδρομολόγηση μόνο των αποτυχημένων VPs, μπορούμε να μειώσουμε πολύ τις σύνθετες διαδικασίες που απαιτούνται για να αποκαταστήσουν όλα τα αποτυχημένα VCs.

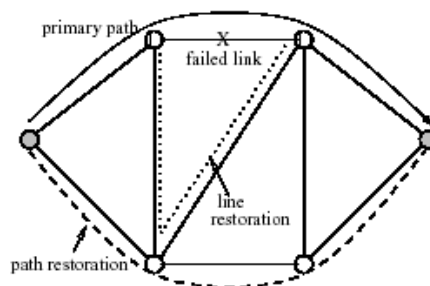
Επομένως θεωρούμε ένα VP ως **βασική μονάδα αποκατάστασης**. Τρεις φάσεις απαιτούνται για να αποκαταστήσουν ένα αποτυχημένο VP: **ανίχνευση αποτυχίας, εφεδρική οργάνωση VP, και μεταγωγή της κυκλοφορίας** (από το αποτυχημένο VP στο εφεδρικό VP). Η απόδοση ενός σχεδίου αποκατάστασης μπορεί να καθοριστεί από τη σύγκριση του κόστους της εφεδρικής οργάνωσης VP, και την προκύπτουσα απόδοση. Πρόσθετοι πόροι απαιτούνται για την εφεδρική οργάνωση VP. Αυτό το πρόσθετο κόστος περιλαμβάνει το εφεδρικό εύρος ζώνης, τα buffers, τα μηνύματα ελέγχου, και τους συντελεστές εικονικών μονοπατιών (Virtual Path Identifier, VPIs) ενώ η προκύπτουσα απόδοση περιλαμβάνει την αναλογία αποκατάστασης (η αναλογία του αριθμού αποκατεστημένων συνδέσεων προς τον αριθμό αποτυχημένων συνδέσεων), την ταχύτητα αποκατάστασης, και εφεδρικό optimality μονοπατιών [40] [10].

Προτείνεται ένας νέος εφεδρικός μηχανισμός VP για τα δίκτυα πλέγματος του ATM που στηρίζεται γύρω από την έννοια της κοινής εφεδρικής διαδρομής, ένα ιδεατό εφεδρικό δίκτυο που μπορεί να μοιραστεί την πολλαπλάσια εργασία VPs για τους σκοπούς αποκατάστασης. Η κοινή εφεδρική διαδρομή παρέχει αποδοτική χρησιμοποίηση πόρων και την ευέλικτη εφεδρική δρομολόγηση μονοπατιών.

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την αποκατάσταση χαμένων VPs:

1. η δυναμική on-demand προσέγγιση και,
2. η εφεδρική προσέγγιση.

Η δυναμική προσπέλαση παρέχει υψηλή ευελιξία δεδομένου ότι όλα τα πιθανά εναλλακτικά μονοπάτια για ένα αποτυχημένο VP μπορούν να βρεθούν από το διανεμημένο μηχανισμό πλημμύρας. Εντούτοις, υπάρχει το μειονέκτημα της αργής ταχύτητας αποκατάστασης και των σύνθετων μηνυμάτων αποκατάστασης. Επομένως, η δυναμική προσπέλαση εφαρμόζεται γενικά στην αποκατάσταση γραμμών παρά την αποκατάσταση μονοπατιών. Όπως διευκρινίζεται στην εικόνα 2, το αποτέλεσμα της αποκατάστασης μονοπατιών είναι βέλτιστο σε σύγκριση με αυτό της αποκατάστασης γραμμών [20].

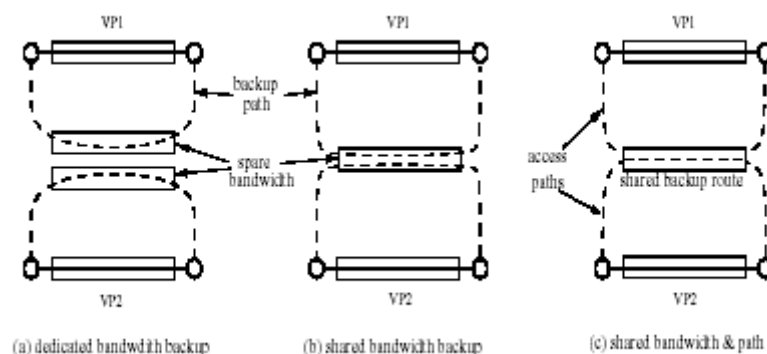


Σχήμα 1.3a - Αποκατάσταση γραμμών και αποκατάσταση μονοπατιών

Αφετέρου, η εφεδρική προσέγγιση αποκατάστασης μπορεί να παρέχει τη γρήγορη και απλή αποκατάσταση μονοπατιών δεδομένου ότι ένα εφεδρικό VP με διατηρημένο εύρος ζώνης ορίζεται για

κάθε λειτουργικό VP. Όταν ένα VP αποτυγχάνει, μόνο η λειτουργία της μεταγωγής εκτελείται από το αποτυχημένο VP στο εφεδρικό VP. Παρόλα αυτά η εφεδρική προσπέλαση έχει δύο βασικά μειονεκτήματα απέναντι στη δυναμική προσπέλαση. Κατ' αρχάς, χρειάζεται πολλούς εφεδρικούς πόρους που διατηρούνται για τις εφεδρικές συνδέσεις. Το κόστος πρέπει να πληρωθεί ακόμη και υπό κανονικές συνθήκες. Δεύτερον, εμφανίζει λιγότερη ευελιξία ενάντια στις πολλαπλάσιες αποτυχίες. Για να μειώσουν το υψηλό κόστος για την εφεδρική αποκατάσταση, οι Kawamura et al [27] πρότειναν ένα κοινό σχέδιο κατανομής εύρους ζώνης για εφεδρικά VPs. Σε αυτό το σχέδιο, τα εφεδρικά μονοπάτια καθιερώνονται με μηδέν εύρος ζώνης και το απαιτούμενο εφεδρικό εύρος ζώνης δεσμεύεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποκατάστασης. Αν και διάφορα εφεδρικά VPs καθοδηγούνται κατά μήκος μιας ίδιας σύνδεσης, εάν δεν ενεργοποιούνται ταυτόχρονα, το εφεδρικό εύρος ζώνης στη σύνδεση μπορεί να μοιραστεί από πολλά εφεδρικά VPs. Αυτό το σχέδιο μπορεί κατά ένα μεγάλο μέρος να μειώσει τα γενικά έξοδα εύρους ζώνης με τη διανομή.

Προτείνεται επίσης ένα σχέδιο εφεδρικού μονοπατιού για να επιτευχθεί χαμηλή εφεδρική κατανάλωση πόρων και ευέλικτη δρομολόγηση μονοπατιών. Η παρακάτω εικόνα εμφανίζει τη βασική έννοια της εφεδρικής διανομής μονοπατιών.



Σχήμα 1.3β - Εφεδρική διανομή μονοπατιών

Σε μια πλήρη εφεδρική αποκατάσταση εύρους ζώνης, που εμφανίζεται στο (α), καθιερώνεται ο ίδιος αριθμός εφεδρικών VPs με αυτόν των αρχικών λειτουργικών VPs, ένα ανά λειτουργικό VP. Τα εφεδρικά VPs δεσμεύουν το ίδιο ποσοστό περιοχής όπως αυτό των λειτουργικών VPs. Κατά συνέπεια υπάρχουν ένα προς ένα χαρτογραφήσεις μεταξύ του εφεδρικού μονοπατιού και του λειτουργικού μονοπατιού, και μεταξύ του εφεδρικού εύρους ζώνης και της λειτουργικής περιοχής.

Η εφεδρική αποκατάσταση εύρους ζώνης, που εμφανίζεται στο (β), καθιερώνει επίσης το ένα εφεδρικό μονοπάτι ανά λειτουργικό VP, εντούτοις, το εύρος ζώνης στο μονοπάτι μπορεί να μοιραστεί από πολλαπλά εφεδρικά VPs. Έτσι η χαρτογράφηση μεταξύ της εφεδρικής περιοχής και του λειτουργικού εύρους ζώνης μπορεί να είναι ένα προς πολλά, αν και η χαρτογράφηση μεταξύ του εφεδρικού μονοπατιού και του λειτουργικού μονοπατιού είναι ακόμα ένα προς ένα.

Στο τελευταίο σχέδιο, που εμφανίζεται στο (γ), και το εφεδρικό μονοπάτι και το εφεδρικό εύρος ζώνης μπορούν να μοιραστούν από πολλαπλά εφεδρικά VPs. Υπάρχει μια κοινή εφεδρική διαδρομή με τα προκαθορισμένα μονοπάτια και το εφεδρικό εύρος ζώνης, και κάθε τελικός κόμβος VP καθιερώνει τα μονοπάτια πρόσβασης στην κοινή εφεδρική διαδρομή. Τα μονοπάτια και το εύρος ζώνης στην κοινή εφεδρική διαδρομή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποκαταστήσουν οποιαδήποτε αποτυχημένη εργασία VP. Κατά συνέπεια και η χαρτογράφηση μονοπατιών και η χαρτογράφηση εύρους ζώνης μπορούν να είναι ένα προς πολλά [8].

1.6.1 Πλεονεκτήματα αποκατάστασης VP

Η αποκατάσταση VP έχει διάφορα θεμελιώδη πλεονεκτήματα που πραγματοποιούνται από τα οφέλη της έννοιας VP. Η ενός επιπέδου (**single-layer**) αποκατάσταση VP πραγματοποιεί μια απλή και αποτελεσματική στη διαχείριση πόρων (resource-efficient) αρχιτεκτονική αποκατάστασης. Επιπλέον, ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα να καθιερωθούν εκ των προτέρων τα εφεδρικά μονοπάτια που χρησιμοποιούν μηδέν εύρος ζώνης VPs. Το προσχεδιασμένο αυτοθεραπευόμενο σχέδιο τύπων μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το χαρακτηριστικό αποτελεσματικά.

Ένα άλλο πλεονέκτημα χρήσιμο για την αποκατάσταση του ATM είναι ο μηχανισμός διαχείρισης και συντήρησης λειτουργίας κυττάρων (**Operation Administration and Maintenance cell mechanism-OAM**). Το στοιχείο OAM έχει τυποποιηθεί, και το σχέδιο αποκατάστασης το χρησιμοποιεί για τη γρήγορη και αξιόπιστη μεταφορά μηνυμάτων μεταξύ των στοιχείων δικτύων (network elements -NEs) [1].

1.6.2 Μειονεκτήματα αποκατάστασης VP

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αξιοποίηση των οφελών του ATM και VPs πραγματοποιεί την αποτελεσματική αποκατάσταση στα δίκτυα του ATM. Παρόλα αυτά έχουμε να αντιμετωπίσουμε μια σειρά από προβλήματα. Το πρώτο είναι ο αυξανόμενος αριθμός μονοπατιών που τίθενται εκτός λειτουργίας από μια απλή αποτυχία στο δίκτυο. Δεδομένου ότι VPs δεν έχουν κάποια ιεραρχία εύρους ζώνης, το VP μπορεί να είναι μακρύτερο και το εύρος ζώνης συχνοτήτων του μικρότερο σε σύγκριση με DPs στα δίκτυα STM. Κατά συνέπεια, ο μέσος αριθμός μονοπατιών που προσαρμόζονται σε μια σύνδεση μπορεί να αυξηθεί πολύ (μέγιστο 4096 VPs/σύνδεση). Κατά συνέπεια, ο αριθμός μονοπατιών που αποτυγχάνουν όταν συμβαίνει αποτυχία μιας υπηρεσίας θα είναι μεγαλύτερος έναντι των αντίστοιχων STM δικτύων.

Ένα νεότερο πρόβλημα στην αποκατάσταση δικτύων ATM είναι ο προσδιορισμός του εύρους ζώνης (bandwidth dimensioning) που απαιτείται για να προσαρμοστούν VPs σε μια σύνδεση. Προκειμένου να προσαρμοστεί η στατιστική κυκλοφορία του ATM (VBR, κ.λπ.) στη σύνδεση ενώ ταυτόχρονα να εγγυάται και QoS, ένας αλγόριθμος που λαμβάνει υπόψη του, το μέγεθος των buffer στους κόμβους, τους τύπους κυκλοφορίας κ.λπ. είναι απολύτως απαραίτητος.

Επιπλέον, όταν επαναδρομολογηθούν αποτυχημένα VPs, το κατάλληλο QoS, που μπορεί να διαφέρει σε κάθε VP, πρέπει να είναι εγγυημένο. Παραδείγματος χάριν, ο αριθμός κόμβων διέλευσης μπορεί να χρειαστεί να περιοριστεί για να εγγυηθεί την καθυστέρηση διέλευσης κυττάρων (cell transfer delay-CTD) και την απόκλιση καθυστέρησης κυττάρων (cell delay variation – CDV).

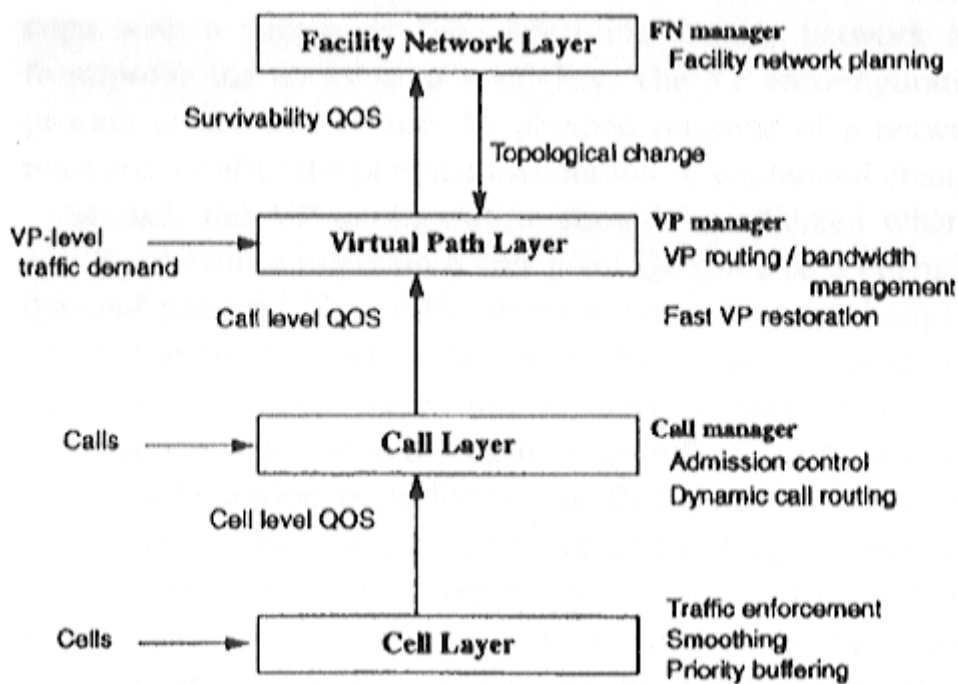
Ένα μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η διαχείριση του συντελεστή του λογικού μονοπατιού (Virtual Path Identifier – VPI). Όταν το εύρος ζώνης όλων των VPs που διαπερνά την ίδια σύνδεση είναι μικρό, ο αριθμός VPI μπορεί να εξαντληθεί, επειδή πρόκειται για πόρο δικτύων και είναι περιορισμένος σε 4096 ανά τη σύνδεση.

Αυτά τα προβλήματα περιπλέκουν τις διαδικασίες αποκατάστασης στα δίκτυα του ATM, και, κατά συνέπεια, η αποκατάσταση μπορεί να γίνει αργή. Τα χαρακτηριστικά VPs είναι ουσιαστικά για την αποδοτική αποκατάσταση των δικτύων ATM. Επομένως, τα προβλήματα που περιπλέκουν την ταχύτητα αποκατάστασης πρέπει να υπερνικηθούν .

1.7 Επιβιώσιμη αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύων ATM

Η διαχείριση των πόρων δικτύων ATM απαιτεί ιδιαίτερα περίπλοκες διαδικασίες δεδομένου ότι η διανομή των πόρων απαιτεί από διάφορα επίπεδα στοιχεία κυκλοφορίας (π.χ ATM κυψελίδες, κλήσεις και εικονικά μονοπάτια) πρέπει να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά για να ικανοποιήσουν τους στόχους αναφορικά με την ποιότητα της υπηρεσίας, που έχει ήδη τεθεί. Προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα μια οργανωμένη σε επίπεδα αρχιτεκτονική μεταγωγής έχει προταθεί για τα δίκτυα του ATM. Αυτή η αρχιτεκτονική απλοποιεί τη διαδικασία διαχείρισης δικτύων ταξινομώντας διαφορετικούς τύπους πόρων δικτύου και οντοτήτων κυκλοφορίας στα στρώματα. Ο διαχειριστής δικτύου σε κάθε επίπεδο μπορεί να συγκεντρωθεί στην διανομή των πόρων ανάλογα με την κυκλοφορία του δικτύου για να προωθήσει την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) του στρώματός του. Τα τέσσερα επίπεδα αυτής της επιβιώσιμης αρχιτεκτονικής διαχείρισης δικτύων ATM φαίνονται στο σχήμα 1.6.

Οι λειτουργίες επιβιωσιμότητας ενσωματώνονται στο VP και τα υψηλότερα στρώματα, θεωρώντας το γεγονός ότι η αποκατάσταση επιπέδων μονοπατιών επιτρέπει τη γρήγορη και αποδοτική αποκατάσταση και μειώνει αρκετά την πολυπλοκότητα της διαχείρισης κυκλοφορίας. Δοσμένης μιας ζήτησης κυκλοφορίας επιπέδου VP που ικανοποιεί το QoS, ο διαχειριστής VP διαμορφώνει τα εικονικά μονοπάτια έτσι ώστε το μέτρο επιβιωσιμότητας να είναι βέλτιστο. Ο διαχειριστής VP εκτελεί επίσης τη γρήγορη αποκατάσταση VP όταν συμβαίνει μια αποτυχία δικτύων [49].



Σχήμα 1.4 - Μια επιβιώσιμη διοικητική αρχιτεκτονική δικτύων του ATM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

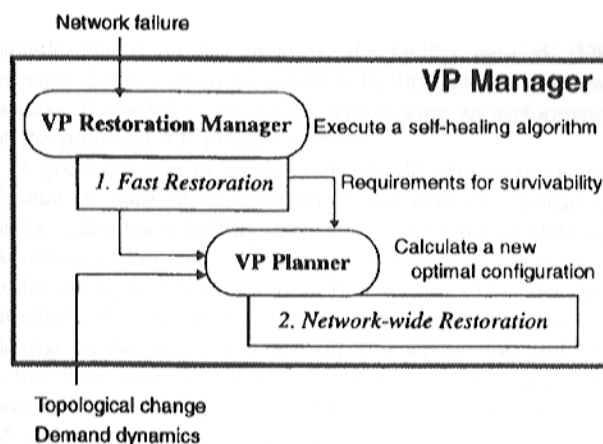
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΟΧΗ ΛΑΘΩΝ

2.1 Ανοχή βλαβών - fault tolerance

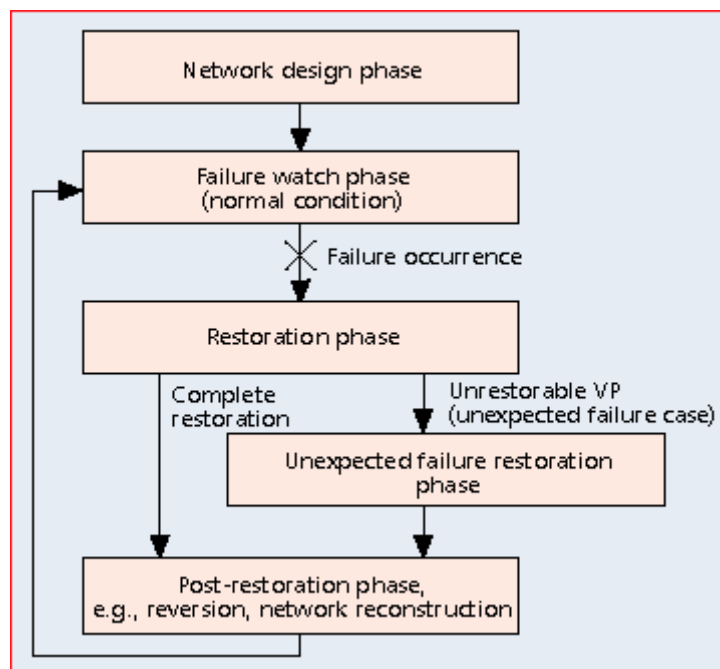
Ο βαθμός στον οποίο μια ενεργή μονάδα θα συνεχίσει να λειτουργεί με ένα καθορισμένο επίπεδο απόδοσης ακόμα κι αν ένα ή περισσότερα από τα συστατικά της δυσλειτουργούν.

2.2 Σχέδιο αποκατάστασης

Δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις πρέπει να ικανοποιηθούν επάνω στην λογική αποκατάσταση μονοπατιών. Μετά από μια αποτυχία είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί μια βέλτιστη διαμόρφωση VP που υφίσταται τη μικρότερη διακοπή υπηρεσίας επάνω σε μια πιθανή επόμενη αποτυχία. Ο βέλτιστος υπολογισμός ροής, εν τούτοις, εισάγει μια υπολογιστική καθυστέρηση που είναι σαφώς ανεπιθύμητη στα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων όπου η γρήγορη αποκατάσταση είναι ουσιαστική. Προκειμένου να έρθουν σε συμφωνία αυτές οι αντικρουόμενες απαιτήσεις, ο διαχειριστής VP χρησιμοποιεί ένα **σχέδιο αποκατάστασης** σε δύο στάδια, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Επάνω στην αποτυχία, ο διαχειριστής αποκατάστασης VP εκτελεί τη γρήγορη διαδικασία αποκατάστασης για να επιταχύνει μια αποκατάσταση από την αποτυχία. Αφότου ολοκληρώνεται η αποκατάσταση, ο διαχειριστής VP υπολογίζει μια βέλτιστη ανάθεση VP για τη νέα τοπολογία δικτύων. Αν και αυτό το σχέδιο παράγει προσωρινά μια ροή που δεν είναι βέλτιστη από την άποψη επιβιωσιμότητας, είναι αποδεκτό στην πράξη δεδομένου ότι η πιθανότητα να συμβούν περισσότερες από μία αποτυχίες σε σύντομο χρόνο είναι πολύ μικρή [49] [34].



Σχήμα 2.1 - Σε δύο στάδια προσπέλαση αποκατάστασης



Σχήμα 2.2 - Κύκλος διαχείρισης αποτυχίας

2.3 Οι απαιτήσεις για την επιβιωσιμότητα των δικτύων

Ο κύριος στόχος της **επιβιωσιμότητας** δικτύων είναι να αποκατασταθεί η κυκλοφορία που επηρεάζεται από μια αποτυχία σε κάποιο επίπεδο δικτύου. Σε ένα πολυστρωματικό περιβάλλον δικτύων, αυτό το πρόβλημα γίνεται πιο σύνθετο δεδομένου ότι μια φυσική αποτυχία μπορεί να παραγάγει τις πολλαπλάσιες αποτυχίες στα διαφορετικά στρώματα δικτύων. Επομένως, πριν ερευνηθούν οι τεχνικές επιβιωσιμότητας για ένα δίκτυο ATM είναι σημαντικό να ταξινομηθούν οι διάφοροι τύποι φυσικών αποτυχιών και αντίκτυπού τους στο στρώμα μεταφοράς του δικτύου [25].

2.4 Ανίχνευση, απομόνωση και αποκατάσταση βλαβών

Συνήθως, τα διαφορετικά στοιχεία σε ένα δίκτυο είναι εξοπλισμένα με την δυνατότητα κάλυψης και παραγωγής συναγερμών για να υποδειχθούν το περιστατικό οποιασδήποτε ανώμαλης κατάστασης, η οποία μπορεί να προκαλέσει τη μείωση ή την πλήρη απώλεια του στοιχείου. Αυτή η ανώμαλη κατάσταση ονομάζεται μερικές φορές ως **βλάβη**. Όταν μια πραγματική αποτυχία εμφανίζεται, ανάλογα με τις ωθήσεις που τίθενται από τα διάφορα στοιχεία στο δίκτυο, πολλαπλάσιοι συναγερμοί μπορούν να παραχθούν από διάφορα στοιχεία δικτύων (**φάση ανίχνευσης βλάβης**).

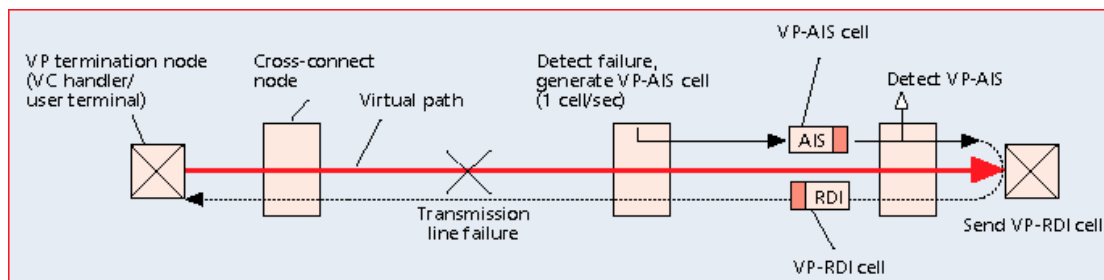
Κατόπιν, το διοικητικό σύστημα δικτύων που ελέγχει το δίκτυο χρειάζεται να καθορίσει την αιτία της βλάβης. Κατά συνέπεια, ένα ζήτημα που πρώτο χρειάζεται να εξεταστεί είναι ο συσχετισμός των συναγερμών για να καθοριστεί και να απομονωθεί το πραγματικό σημείο της αποτυχίας στο δίκτυο. Τέτοια **συστήματα ανίχνευσης βλάβης** είναι απαιτούμενα για να καθορίσουν την αιτία μιας βλάβης γρήγορα έτσι ώστε η κατάλληλη ενέργεια να μπορεί να ληφθεί

Μαζί με την φάση απομόνωσης της βλάβης, αρχίζει η **φάση αποκατάστασης/επισκευής**. Πρώτα, στο δίκτυο μπορεί να παρασχεθεί πρόσθετη χωρητικότητα. Για να εξετάσει για μια ενιαία αποτυχία, το δίκτυο μπορεί να χρειαστεί διπλάσια χωρητικότητα, κάτι που μπορεί να είναι μερικές φορές οικονομικά απαγορευτικό. Κατά συνέπεια, στο δίκτυο μπορεί να παρασχεθεί λιγότερη από την πλήρη χωρητικότητα για μια αποτυχία.

Μερικές φορές εφεδρική χωρητικότητα μπορεί να παρασχεθεί σε ένα διαφορετικό στρώμα στο δίκτυο λόγω του κόστους. Κατά την απλούστερη αρχιτεκτονική υποδομή δικτύων επικοινωνίας, οι υπηρεσίες όπως η φωνή ή το Διαδίκτυο παρέχονται πέρα από λογικά μεταγώγιμα ή router-based δίκτυα. Η χωρητικότητα που χρειάζεται για αυτά τα λογικά δίκτυα παρέχεται από το φυσικό δίκτυο μεταφοράς το οποίο μπορεί να είναι συνδεδεμένο από ψηφιακό cross-connect σύστημα ή τους δακτυλίους του Σύγχρονου Οπτικού Δικτύου (Synchronous Optical Network – SONET) [7].

2.5 Μηχανισμός ανίχνευσης αποτυχίας (Switching Trigger)

Ένα ισχυρό σχέδιο διαχείρισης της αποτυχίας σε ένα δίκτυο έχει προταθεί για το στρώμα VP (VP layer) που χρησιμοποιεί τις κυψελίδες OAM (Operation Administration and Maintenance cell mechanism). Το παρακάτω σχήμα εμφανίζει αυτόν τον μηχανισμό.



Σχήμα 2.3 - Μηχανισμός μετάδοσης συναγερμού στο VP επίπεδο

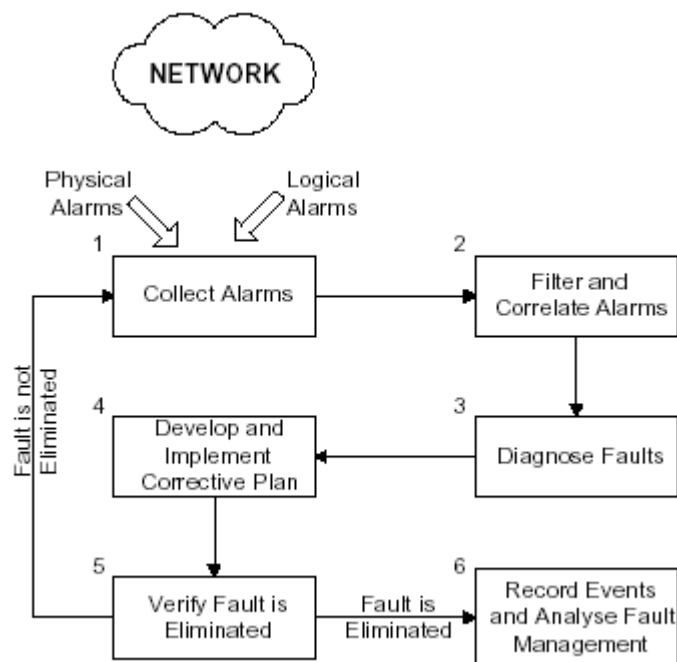
Τα VP-AIS cells παράγονται και διαβιβάζονται το συντομότερο δυνατόν έπειτα από την παρατήρηση μιας ένδειξης ατέλειας, και μεταδίδονται περιοδικά (ανά ένα δευτερόλεπτο) κατά τη διάρκεια της ύπαρξης της ατέλειας προκειμένου να υποδειχθεί διακοπή της ικανότητας μεταφοράς κυττάρων στο επίπεδο VP. Ένα VP-RDI cell στέλνεται από άκρη σε άκρη από το VP τελικό σημείο αμέσως μόλις έχει δηλωθεί η VP-AIS κατάσταση. Επομένως, οι cross-connect κόμβοι κατά μήκος του αποτυχημένου VP μπορεί να ανιχνεύσουν την αποτυχία πολύ γρήγορα. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει στο σχέδιο αποκατάστασης δικτύων του ATM να προκαλέσει αποκατάσταση πολύ γρήγορα [34].

2.6 Διαχείριση λαθών

1. Το πρώτο βήμα στη διαχείριση βλαβών είναι να **συλλεχθούν οι συναγερμοί ελέγχου και απόδοσης**. Οι συναγερμοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, φυσικοί και λογικοί, όπου οι φυσικοί συναγερμοί είναι άσχημα σφάλματα (π.χ., μια σύνδεση δεν λειτουργεί), και οι λογικοί συναγερμοί είναι στατιστικά σφάλματα (π.χ., υποβάθμιση απόδοσης οφειλόμενη στη συμφόρηση). Μόλις αναφερθούν οι συναγερμοί και συλλεχθούν, η υπηρεσία πρέπει να

διατηρηθεί μέσω άμεσης ενέργειας.

2. Το επόμενο βήμα είναι να **φιλτραριστούν και να συσχετιστούν οι συναγερμοί**. Το φιλτράρισμα συναγερμών είναι μια διαδικασία που αναλύει το πλήθος των λαμβανομένων συναγερμών και αποβάλλει τους περιττούς συναγερμούς (π.χ., πολλαπλάσια περιστατικά του ίδιου συναγερμού).
3. Οι βλάβες προσδιορίζονται με **την ανάλυση των φιλτραρισμένων και συσχετισμένων συναγερμών** και με την αίτηση των δοκιμών και των αναπροσαρμογών θέσης από τους element managers, οι οποίες παρέχουν τις πρόσθετες πληροφορίες για τη διάγνωση.
4. Μόλις εντοπιστεί μια βλάβη, οι **διορθωτικές διαδικασίες** αναλαμβάνονται από το δίκτυο για να αποβάλουν την αιτία της βλάβης. Ο σκοπός στη διόρθωση είναι να αναπτυχθεί ένα σχέδιο ή μια σειρά ενεργειών, και να ξεκινήσει αυτό το σχέδιο με άλλες λειτουργίες μέσα στο δίκτυο.
5. **Η διόρθωση πρέπει να ελεγχθεί μέσω της δοκιμής των αιτημάτων** που στέλνονται στους element managers, όπου εάν η βλάβη δεν εξαφανίζεται, τα περισσότερα στοιχεία αναλύονται και η διαγνωστική διαδικασία επαναλαμβάνεται [36].



Σχήμα 2.4 - Διαχείριση λαθών

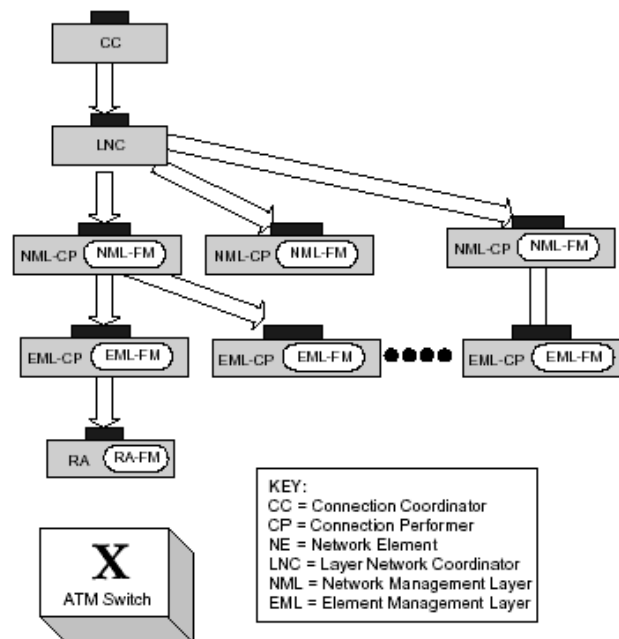
2.7 Λειτουργικές απαιτήσεις της διαχείρισης βλαβών

Οι λειτουργικές απαιτήσεις της διαχείρισης βλαβών είναι:

- **επιτήρηση συναγερμών:** Περιλαμβάνει τη συλλογή και την αναγραφή συναγερμών από τους πόρους των δικτύων, και παρακολούθηση των στοιχείων των συναγερμών
- **εντοπισμός βλαβών:** Αναλύει τις συλλεχθείσες πληροφορίες συναγερμών, ανιχνεύει την αιτία του συναγερμού και γνωστοποιεί το αποτέλεσμα στους χρήστες της επιτήρησης βλαβών
- **διόρθωση βλαβών:** εξετάζονται τα υπολογιστικά ευρήματα που αντιπροσωπεύουν τους

πόρους του δικτύου στους οποίους ένας συναγερμός ανιχνεύεται, προκειμένου να αποκατασταθούν οι βλάβες

- Λειτουργία **testing**: δίνει τη δυνατότητα σε κάποιο πόρο να ξεκινήσει μια διαδικασία test ύστερα από ζήτηση των χρηστών του δικτύου
- **Διαχείριση λαθών**: δίνει τη δυνατότητα αναφοράς λαθών εξαιτίας ελαττωματικών καταστάσεων και την ανίχνευση της κατάστασής τους [36] [35].



Σχήμα 2.5 – Συστατικά αρχιτεκτονικής ATM connection-fault management

2.8 Τα βασικά στοιχεία στη διαχείριση λαθών

Τα βασικά στοιχεία στη διαχείριση δικτύων είναι :

1. Alarm Manager (AM)

Ο διευθυντής συναγερμών (AM) αναλαμβάνει τον σχετικό με τη βλάβη συναγερμό και εκτελεί τις σχετικές διαδικασίες για το συσχετισμό συναγερμών, φιλτράρισμα συναγερμών κ.λπ. Κάθε AM έχει τα διακριτικά κριτήριά του μέσω των οποίων οι εισερχόμενοι συναγερμοί καταγράφονται και διαβιβάζονται στα σχετικά υπολογιστικά αντικείμενα.

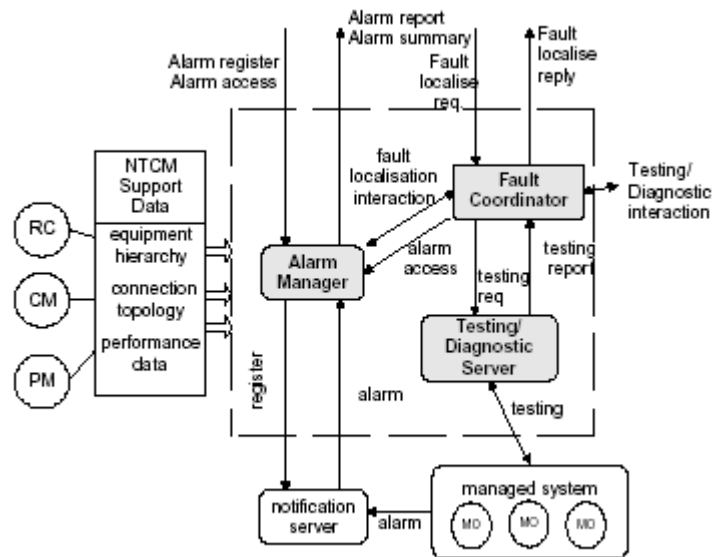
2. Fault Coordinator (FC)

Ο συντονιστής βλαβών (FC) περιλαμβάνει τις δυνατότητες κάλυψης και ανάλυσης εσωτερικά των συναγερμών που παραλαμβάνονται για να καθορίσουν το επόμενο πιθανό βήμα για τον εντοπισμό και τη διόρθωση βλαβών. Για αυτόν το λόγο, ο FC συσχετίζει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για να καθαρίσει τις πληροφορίες σχετικά με την αιτία του γεγονότος. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ο TDS μπορεί να κληθεί για να τρέξει δοκιμές ανάλογα με την

περίπτωση.

3. Testing/Diagnostic Server (TDS)

Ο διαγνωστικός κεντρικός υπολογιστής (TDS) καλείται είτε από το συντονιστή βλαβών (FC) ή το χρήστη διοικητικής υπηρεσίας βλαβών. Εντούτοις, είναι επίσης πιθανό ότι ο TDS μπορεί να κληθεί και από άλλα υπολογιστικά αντικείμενα στο σύστημα.



Σχήμα 2.6 – Αλληλεπιδράσεις στην διαχείριση βλαβών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

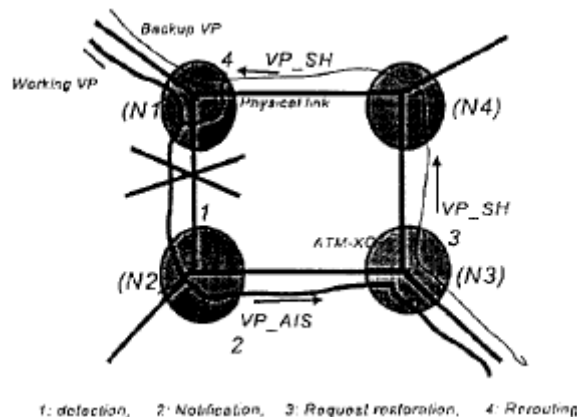
ΑΥΤΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΤΜ

3.1 Αυτόματη επιδιόρθωση δικτύων ΑΤΜ (Self-Healing Techniques of ATM Networks)

Ο όρος **self-healing** αναφέρεται στην αυτόματη και εξαιρετικά γρήγορη (της τάξης των msec) **αποκατάσταση** της επικοινωνίας μετά από ένα γεγονός που επηρεάζει την απόδοση του δικτύου. Οι τεχνικές αποκατάστασης δικτύων επιτρέπουν σε ένα δίκτυο να παρέχει αδιάλειπτη επικοινωνία. Στηρίζονται στην ύπαρξη πλεονασμού σε επίπεδο εξοπλισμού και στην ενσωμάτωση στο δίκτυο της κατάλληλης «ευφύιας», που θα επιτρέψει την ταχύτατη διερμηνεία των αποτελεσμάτων από τις διαδικασίες διάγνωσης και την αντίδραση στις παρουσιαζόμενες καταστάσεις [23] [26].

Τα βασικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών αυτόματης επιδιόρθωσης είναι :

- Πλεοναστική δρομολόγηση της πληροφορίας, χρησιμοποιώντας πέραν της μιας διατάξεις. Σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας του ενός συστήματος, μια εφεδρική διάταξη αναλαμβάνει το χειρισμό της κυκλοφορίας.
- Αυτόματη αναδρομολόγηση της πληροφορίας, χρησιμοποιώντας δακτυλίους οπτικών ινών με δύο καλώδια οπτικών ινών. Βλάβες σε δικτυακούς κόμβους ή καλώδια αντιμετωπίζονται με παράκαμψη χρησιμοποιώντας την εφεδρική οπτική ίνα. Μια τέτοια αναδρομολόγηση λαμβάνει χώρα μέσα σε χρονικό διάστημα από 50 έως 100 msec από την εμφάνιση της βλάβης.
- Ύπαρξη συστήματος αυτόματης παρακολούθησης του δικτύου, το οποίο αναδρομολογεί αυτόματα την πληροφορία, όταν εμφανίζονται βλάβες ή όταν η απόδοση του δικτύου πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο.



Σχήμα 3.1 – Λειτουργία «αυτοθεραπείας» (Self-Healing)

3.2 Σχέδια αυτοθεραπείας σε δίκτυα ATM

Τα υπάρχοντα και πρωτότυπα σχέδια για τα δίκτυα ATM περιλαμβάνουν τον κεντρικό έλεγχο μεταγωγής (centralized control switching), το «αυτοθεραπευόμενο» δίκτυο (Self-Healing Network – SHN), τη μεταγωγή αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS), τον «αυτοθεραπευόμενο» δακτύλιο (Self-Healing Ring – SHR) και το Multistage Interconnection Network (MIN).. Συγκρινόμενο με αυτά τα σχέδια, το «ανθεκτικό στην αποτυχία λογικό μονοπάτι» (Failure Resistant Virtual Path –FRVP) πραγματοποιεί την αποκατάσταση αποτυχίας χωρίς τη διακοπή υπηρεσιών. Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό επειδή ο χρόνος αποκατάστασης, που είναι ένα μέτρο της αξιοπιστίας, πρέπει να ανταλλάχτει με εφεδρικούς πόρους [34].

3.3 Αυτοθεραπευόμενο δίκτυο (Self-Healing Network – SHN)

Ένα «αυτοθεραπευόμενο δίκτυο» (SHN) είναι ένα σχέδιο αποκατάστασης κατανεμημένου ελέγχου (distributed control restoration scheme). Στην πραγματικότητα το SHN εκτελεί τις διαδικασίες αποκατάστασης (π.χ. αναζήτηση εναλλακτικής διαδρομής) μέσω της μετάδοσης μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων με ένα τρόπο κατανεμημένου ελέγχου.

Τα χαρακτηριστικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το σύγχρονο οπτικό δίκτυο (SONET), τη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (SDH). Στις περιπτώσεις SONET και SDH, τα ελλοχεύοντα πρωτόκολλα που καθορίζουν την αρχιτεκτονική έχουν σχεδιαστεί για να επιζήσουν μετά από τα σπασιμάτων στους δακτυλίους ινών που χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουν το δίκτυο. Σε περίπτωση αποτυχίας δικτύων, ο δακτύλιος μεταφέρεται αυτόματα στο φυσικό στρώμα για να αποτρέψει τη σημαντική απώλεια στοιχείων. Επομένως τα SONET και SDH είναι παραδείγματα αρχιτεκτονικών που παρέχουν την αυτοθεραπευόμενη ιδιοκτησία στο στρώμα 1, το φυσικό στρώμα.

Το ATM δεν παρέχει κανέναν μηχανισμό για αυτοθεραπεία στο φυσικό στρώμα, και στηρίζεται στην παρουσία δικτύου μεταφοράς SONET ή SDH για το γεγονός αυτό. Εντούτοις, όχι όλα τα δίκτυα του ATM που επεκτείνονται θα χρησιμοποιήσουν SONET ή SDH ως ελλοχεύουσα μεταφορά.

Το ATM είναι όχι μόνο ένα πρωτόκολλο στρώματος 2, αλλά είναι επίσης προσανατολισμένο προς σύνδεση, που σημαίνει ότι πολλές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες των καθιερωμένων συνδέσεων του ATM μπορούν να είναι παρόντα σε ένα δίκτυο μεταξύ των τελικών σταθμών.

Το SHN εκτελεί τις διαδικασίες αποκατάστασης (π.χ., εναλλακτικό δρομολόγιο αναζήτησης) μέσω της μετάδοσης μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων με ένα τρόπο κατανεμημένου ελέγχου. Οι αλγόριθμοι στρώματος SHN του ATM είναι ταξινομημένοι σε δύο σχέδια από την άποψη του χρόνου απόφασης εναλλακτικής διαδρομής. Το πρώτο ονομάζεται δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο (Dynamic Planned SHN Scheme) και είναι μια επέκταση των αλγορίθμων SHN για συμβατικά δίκτυα, και το άλλο ονομάζεται προκαθορισμένο SHN σχέδιο (Preplanned SHN scheme) που είναι μοναδικό στο ATM [28].

3.3.1 Δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο

Το δυναμικά προγραμματισμένο σχέδιο αναζητά, αποφασίζει, και παράγει την εναλλακτική διαδρομή δυναμικά μετά από αποτυχία. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος αποστολής μηνυμάτων

(message flooding algorithm) ή βελτιωμένες εκδόσεις του για την έρευνα των εναλλακτικών διαδρομών. Όταν μια αποτυχία εμφανίζεται σε ένα δίκτυο, οι κόμβοι χρησιμοποιούν τον μηχανισμό του message flooding για να εντοπίσουν τις διαδρομές εκείνες μέσω των οποίων μπορούν να παρακάμψουν τις αποτυχημένες διαδρομές.

3.3.2 Προκαθορισμένο SHN σχέδιο

Το προκαθορισμένο SHN σχέδιο προκαθορίζει τη βέλτιστη εναλλακτική διαδρομή στη φάση σχεδιασμού του δικτύου, και σχετίζει ένα εφεδρικό VP σε κάθε VP προτού να εμφανιστεί η αποτυχία.

Όπως είδαμε παραπάνω το δυναμικά προγραμματισμένο σχέδιο εντοπίζει τις διαδρομές αποκατάστασης με το message flooding αφότου ανιχνευθεί η αποτυχία στο δίκτυο. Η βασική διαφορά αυτού του σχεδίου είναι η απλοποίηση των διαδικασιών αποκατάστασης που πρέπει να εκτελεστούν μετά την εμφάνιση της αποτυχίας στο δίκτυο. Ο στόχος είναι η γρήγορη και αξιόπιστη αποκατάσταση.

3.3.3 Σύγκριση του δυναμικού προγραμματισμένου σχεδίου και του προκαθορισμένου σχεδίου

Υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ του δυναμικά προγραμματισμένου και προκαθορισμένου σχεδίου. Τα αρχικά πλεονεκτήματα του προκαθορισμένου σχεδίου SHN έναντι του δυναμικά προγραμματισμένου σχεδίου είναι η ταχύτητα αποκατάστασης και η πραγματοποίηση της αποκατάστασης μονοπατιών μεταξύ των τελικών κόμβων των μονοπατιών.

Το δυναμικά προγραμματισμένο SHN διαβιβάζει επανειλημμένα τα μηνύματα μεταξύ των κόμβων αποκατάστασης για να εντοπίσει τις εναλλακτικές διαδρομές, για να εγκαταστήσει τα μονοπάτια κ.λπ.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του προκαθορισμένου σχεδίου είναι η πραγματοποίηση της αποκατάστασης μονοπατιών μεταξύ των τελικών κόμβων των μονοπατιών. Στους περισσότερους δυναμικά προγραμματισμένους αλγόριθμους, τα ζεύγη κόμβων αποκατάστασης περιορίζονται σε εκείνα που ολοκληρώνουν την αποτυχημένη σύνδεση. Ο λόγος για αυτό είναι ότι ο αριθμός των μηνυμάτων αποκατάστασης αυξάνει εκθετικά με τον αριθμό συνδέσεων μεταξύ των ζευγών κόμβων αποκατάστασης. Επιπλέον, ένας μεγάλος αριθμός ζευγών κόμβων αποκατάστασης παράγεται από μια ενιαία αποτυχία συνδέσεων/ κόμβων. Αυτή η έκρηξη μηνυμάτων μπορεί μοιραία να επιβραδύνει τη διαδικασία αποκατάστασης. Επιπλέον, οι διαδικασίες αποκατάστασης ανταγωνίζονται η μια την άλλη για να συλλάβουν το εφεδρικό εύρος ζώνης συνδέσεων.

Αφετέρου, ο προκαθορισμένος αλγόριθμος επιτρέπει σε πολλά ζευγάρια κόμβων να αποκατασταθούν ταυτόχρονα επειδή μόνο ένα μήνυμα παράγεται ανά ζευγάρι και επιπλέον δεν ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Η πραγματοποίηση της αποκατάστασης μεταξύ των μονοπατιών παράγει δύο οφέλη. Ένα είναι η δυνατότητα να εκτελεσθεί η αποκατάσταση αποτυχίας κόμβων. Το άλλο όφελος αφορά μια μείωση των πόρων δικτύων που απαιτούνται επειδή η διαδρομή αποκατάστασης μπορεί να καθιερωθεί αποτελεσματικότερα.

3.4 Centralized Control Switching Σχέδιο

Το Centralized Control Switching σχέδιο χρησιμοποιεί ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης για να

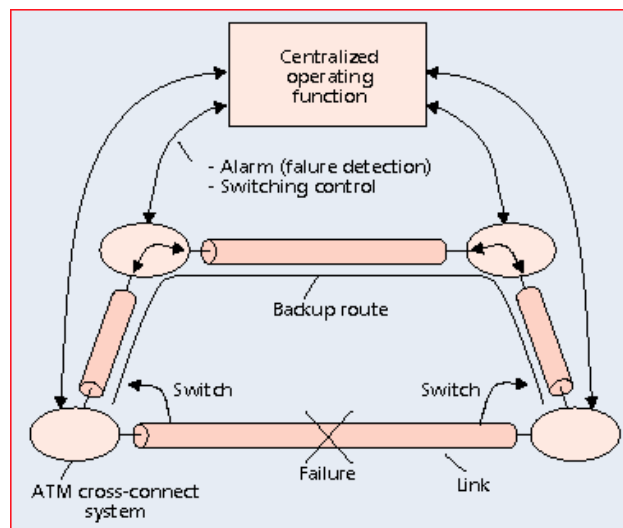
εκτελέσει τις λειτουργίες αποκατάστασης, οι οποίες περιλαμβάνουν την ανίχνευση αποτυχίας (failure detection), την επιλογή εναλλακτικών διαδρομών (selection of alternate routes), και την δημιουργία μονοπατιών.

Ο βασικός μηχανισμός του σχεδίου ελέγχου των συμβατικών δικτύων μπορεί να εφαρμοστεί επίσης στα δίκτυα του ATM με ελάχιστες μόνο αλλαγές και αναπαρίσταται γραφικά στο σχήμα 2.4. Το σχέδιο αυτό αποκατάστασης κάνει μια συνολική εκτίμηση της αποτυχίας για όλο το δίκτυο, και έτσι είναι ευκολότερο να βελτιστοποιηθεί το σχέδιο αποκατάστασης κατά περίπτωση. Κατά συνέπεια, μπορεί να χρησιμοποιήσει τους εφεδρικούς πόρους αποτελεσματικά, και να περιορίσει τους πόρους του δικτύου που απαιτούνται σε σύγκριση με την περίπτωση που έχουμε καταναμημένο έλεγχο [15] [13].

Από την άλλη πλευρά, η ταχύτητα αποκατάστασης είναι σχετικά αργή με το σχήμα κεντρικού ελέγχου. Οι βασικές αιτίες είναι η καθυστέρηση επικοινωνίας μεταξύ του κεντρικού ελεγκτή (centralized controller) και των στοιχείων του δικτύου καθώς και η συγκέντρωση του φορτίου επεξεργασίας στον κεντρικό ελεγκτή.

Επομένως, μπορεί να είναι δύσκολο με αυτό το σχέδιο να επιτευχθεί η επιθυμητή αποκατάσταση μέσα σε δύο δευτερόλεπτα. Επιπλέον οι λειτουργίες διαχείρισης και εφαρμογής (management/operation functions) του δικτύου είναι αρκετά πιο σύνθετες και πολυεπίπεδες (multilayered), απεικονίζοντας την ανάπτυξη και εγκατάσταση υπηρεσιών πολλών κατασκευαστών και υποδικτύων βασισμένων στην έννοια της τηλεπικοινωνιακής διαχείρισης δικτύων (Telecommunication Management Network – TMN).

Έτσι δραστικές βελτιώσεις στην ταχύτητα αποκατάστασης μπορεί να μην είναι εφικτές με την προσέγγιση αυτή. Γι' αυτό, το σχήμα κεντρικού ελέγχου, αν και δεν ικανοποιεί την απαίτηση της μεγάλης ταχύτητας αποκατάστασης, είναι παρόλα αυτά αποτελεσματικό όταν το καταναμημένο σχέδιο ελέγχου δεν μπορεί να αποκαταστήσει όλα τα αποτυχημένα μονοπάτια λόγω κάποιας απροσδόκητης αιτίας. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορεί να λάβει τα κατάλληλα μέτρα που ταιριάζουν στην περίπτωση βασισμένο στην ευρεία εκτίμηση του δικτύου [17].

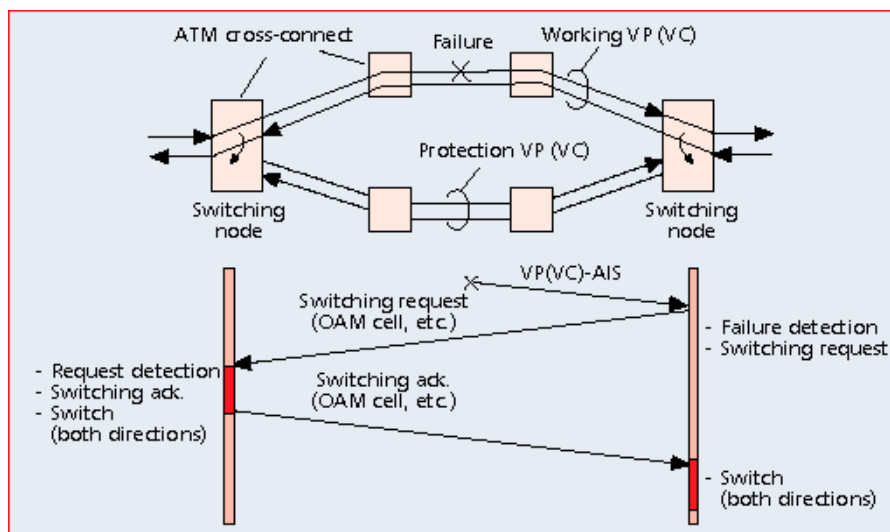


Σχήμα 3.2 - Σχήμα αποκατάστασης κεντρικού ελέγχου

3.5 Σχέδιο μεταγωγής αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS)

Το σχέδιο μεταγωγής αυτόματης προστασίας (APS) είναι ο δημοφιλέστερος και απλούστερος μηχανισμός αποκατάστασης που χρησιμοποιεί κατακεντρωμένο έλεγχο. Το APS στηρίζεται πάνω σε έναν αριθμό από ενεργές συνδέσεις (working links-channel/path/section κ.λπ.) καθώς και σε έναν αριθμό από εφεδρικές συνδέσεις (backup links). Η κυκλοφορία μεταφέρεται από την αποτυχημένη ενεργή σύνδεση στην προκαθορισμένη εφεδρική σύνδεση. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να εφαρμοστεί στα δίκτυα του ATM χρησιμοποιώντας VPs ή VCs ως συνδέσεις (μονάδα προστασίας).

Στο APS τα σχέδια είναι ταξινομημένα σε τρεις τύπους. Το σχήμα δείχνει το 1:1 APS σχέδιο.



Σχήμα 3.3 - Σχήμα VP (VC) - APS

1 + 1 APS : Το 1 + 1 APS είναι βασισμένο στην αντιστοιχία μιας ενεργής σύνδεσης με μια εφεδρική. Το σήμα διαβιβάζεται και στις δύο συνδέσεις παράλληλα ("+" σημαίνει την παράλληλη μετάδοση). Όταν η ενεργή σύνδεση αποτυγχάνει, μόνο η πλευρά του κόμβου δέκτη αλλάζει τη σύνδεση από την ενεργή στην εφεδρική γραμμή.

1:1 APS : Τα 1:1 APS επίσης αντιστοιχεί κάθε ενεργή σύνδεση σε μία εφεδρική, αλλά τα σήματα δεν μεταδίδονται στην εφεδρική σύνδεση, εκτός κι αν εμφανιστεί μία αποτυχία (":" σημαίνει τη μη παράλληλη μετάδοση). (Σχήμα) Επομένως, όταν αποτυγχάνει η ενεργή σύνδεση, τόσο ο κόμβος δέκτης όσο και ο κόμβος πομπός σημάτων μεταστρέφουν τη σύνδεση από την ενεργή στην εφεδρική γραμμή.

m:n APS : Το m:n APS είναι μια επαύξηση του 1:1 APS, και συσχετίζει m ενεργές συνδέσεις με n εφεδρικές συνδέσεις. Γενικά, το m είναι μεγαλύτερο από το n, και έτσι μια εφεδρική σύνδεση μπορεί να μοιραστεί από διάφορες ενεργές συνδέσεις.

Στα δίκτυα του ATM, όλοι οι APS μηχανισμοί μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε VP είτε VC στρώμα. Ειδικότερα το 1:1 APS είναι αποτελεσματικότερο από το 1+1 APS. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι διαθέσιμοι στα δίκτυα ATM ο μηχανισμός μετάδοσης χαμηλής προτεραιότητας (π.χ. Unspecified Bit Rate – UBR) και ο μηχανισμός προσαρμοσμένου ελέγχου (π.χ. Available Bit Rate – ABR).

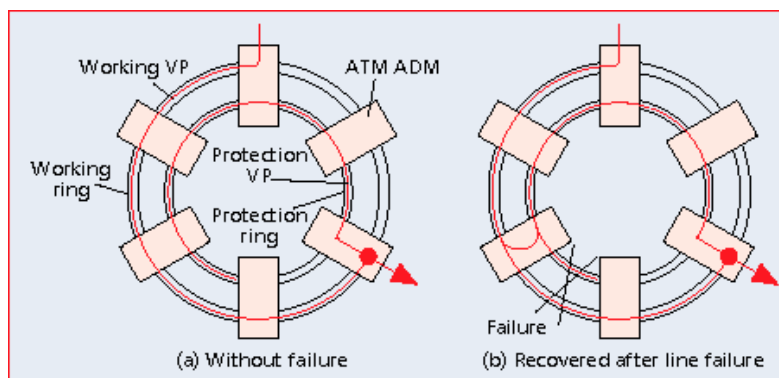
Τέτοιου είδους κυκλοφορία μπορεί να χρησιμοποιήσει τις εφεδρικές συνδέσεις αποτελεσματικά μόνο εάν η παράλληλη μετάδοση δεν χρησιμοποιείται. Το APS σχέδιο αποκατάστασης του δικτύου χρησιμοποιεί τους εφεδρικούς πόρους (spare resources) του δικτύου λιγότερο αποτελεσματικά από το Self-Healing Network (SHN) (Σχήμα 2.3), επειδή δεν μοιράζεται (ή μοιράζεται σε χαμηλό βαθμό) τους πόρους.

Παρόλα αυτά προσφέρει ως «αντάλλαγμα» πολύ μεγάλη ταχύτητα στην αποκατάσταση του δικτύου και έτσι χρησιμοποιείται για υπηρεσίες που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία. Επιπλέον χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ATM δικτύων διαφορετικών προμηθευτών ως στάνταρ σχέδιο αποκατάστασης λόγω της απλότητας του.

3.6 Σχέδιο Self-Healing Ring (SHR)

Το SHR («αυτοθεραπευόμενος» δακτύλιος) είναι ένα σχέδιο μεγάλης ταχύτητας αποκατάστασης για τα δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου. Ο περιορισμός της τοπολογίας του δικτύου στον δακτύλιο μπορεί να απλοποιήσει τη σχέση μεταξύ των ενεργών και των εφεδρικών διαδρομών του αλγορίθμου αποκατάστασης. Κατά συνέπεια, μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη αποκατάσταση

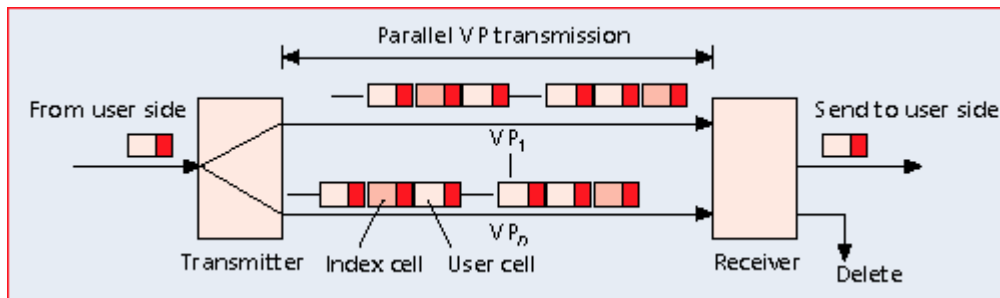
Από την άποψη των λεπτομερειών αλγορίθμου και της κατασκευής του, το SHR είναι παρόμοιο με τα σχέδια 1 + 1 και 1:1 APS. Στα συμβατικά δίκτυα, το SHR μπορεί να μειώσει το κόστος δικτύου σε πολλές περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή το SHR μπορεί να μειώσει τον αριθμό των διεπαφών της γραμμής (line interfaces) και του μήκους της ίνας (fiber length) που απαιτείται. Ένα άλλο πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του SHR είναι η απλότητά του αναφορικά με τη διαχείριση δικτύων δακτυλίου, η οποία μειώνει το κόστος διαχείρισης.



Σχήμα 3.4 - ATM self-healing ring

3.7 Ανθεκτικό εικονικό μονοπάτι αποτυχίας (Failure Resistant Virtual Path- FRVP)

Το FRVP σχέδιο παρέχει μεγάλη αξιοπιστία πραγματοποιώντας την ελεύθερη από σφάλματα μετάδοση ακόμη και κάτω από συνθήκες αποτυχίας δικτύου. Αυτό το σχέδιο χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά του ATM με έναν θετικό τρόπο, παραδείγματος χάριν, επιτρέπει το cell jitter μέσα σε κάποια όρια. Ο βασικός μηχανισμός FRVP - παράλληλη μετάδοση - είναι πολύ απλός.



Σχήμα 3.5 – Η έννοια του FRVP

Το FRVP αποτελείται από μια συσκευή αποστολής σημάτων (transmitter), τον δέκτη (receiver), και διάφορα VPs που εγκαθιστούν πολλαπλές διαδρομές μετάδοσης μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και του δέκτη. Η συσκευή αποστολής σημάτων αναπαράγει τα εισερχόμενα κύτταρα (cells) από τους χρήστες και στέλνει τα ίδια κύτταρα σε όλα τα καθορισμένα VPs. Ο δέκτης επιλέγει πάντα τα κύτταρα χωρίς σφάλματα και τα στέλνει στους χρήστες. Επομένως, εάν το επίπεδο πλεονασμού FRVP είναι περισσότερο από δύο, κανένα σφάλμα διακοπής ή σημάτων δεν εμφανίζεται σε μια αποτυχία VP, εάν τουλάχιστον ένα VP παραμένει ενεργό.

Το FRVP μπορεί να εφαρμοστεί στο στρώμα VP ή VC. Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές εφαρμογές της λειτουργίας FRVP στα δίκτυα του ATM. Μια είναι end-to-end υπηρεσία προστασίας VP. Το FRVP ενεργεί σε έναν κόμβο. Άλλη εφαρμογή είναι αυτή που τρέχει μέσα στο δίκτυο. Το FRVP εφαρμόζεται στα στοιχεία του δικτύου για να βελτιώσει την αξιοπιστία.

3.8 Multistage Interconnection Network (MIN)

Ένας άλλος τρόπος που προτείνεται για ανοχή λαθών και την αυτοθεραπεία στα ATM είναι το Multistage Interconnection Network (MIN). Για την ανοχή βλαβών και την βελτίωση της απόδοσης δικτύων προτείνεται μια νέα self-routing αρχιτεκτονική ανεκτική στις βλάβες και υψηλής απόδοσης για τα δίκτυα ATM που βασίζεται σε MINs. Αποτελείται από δύο συνδεδεμένα δίκτυα Banyan. Οι συνδέσεις παρέχονται σε κάθε στάδιο για να επιτρέψουν στα στοιχεία να μεταφέρουν από και προς κάθε επίπεδο. Η απόδοση και η αξιοπιστία της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής συγκρίνεται με τα άλλα δίκτυα. Το δίκτυο έχει τις χαμηλές πιθανότητες ποσοστού απώλειας cells από άλλα δίκτυα τόσο για το fault-free όσο και για ελαττωματικό περιβάλλον. Η δρομολόγηση κρατιέται απλή όπως σε ένα βασικό MINs. Επιπλέον, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική διακοπών είναι modular στο σχέδιό της που την καθιστά ιδανική για VLSI εφαρμογές.

Γενικά, ένα επιθυμητό δίκτυο ανεκτικό στις βλάβες πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- χαμηλή καθυστέρηση διάδοσης, που εκμεταλλεύεται το self-routing σχέδιο,
- το εύκολο σχέδιο μετακίνησης στις βλάβες ή/και τις συγκρούσεις,
- η τακτικότητα στη δομή,
- λιγότερες συνδέσεις/ στοιχεία μεταγωγής στο δίκτυο,
- και το απλό σχέδιο στοιχείων μεταγωγής.

Σχεδόν όλες οι εφαρμογές fault-tolerant MINs εισάγουν πλεονασμούς στο δίκτυο. Οι περισσότερες από αυτές τις λύσεις είναι ακριβές από την άποψη του αριθμού πρόσθετων διακοπών ανά στάδιο, ή/και του μεγέθους των στοιχείων μεταγωγής. Αυτές οι λύσεις έχουν μια υψηλή πολυπλοκότητα υλικού που απαιτούν σύνθετους αλγόριθμους δρομολόγησης.

Συμπεράσματα

Ο **Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (ATM)** αναγνωρίζεται ως θεμελιώδης τεχνική μεταγωγής και πολυπλεξίας για τα μελλοντικά δίκτυα ευρυζωνικού ISDN. Καθώς πάνω σε αυτά τα δίκτυα θα στηρίζονται όλο και περισσότερο υπηρεσίες για την μετάδοση φωνής, δεδομένων και βίντεο, η αξιοπιστία αυτών των δικτύων συνιστά ρόλο-κλειδί.

Σε αυτά τα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων, ένα δίκτυο ή ακόμα και μια αποτυχία κόμβων μπορεί να προκαλέσει μια μεγάλη απώλεια δεδομένων, ακόμα και σε μια μικρή διακοπή. Είναι ως εκ τούτου επιτακτικό να γίνει ο χρόνος διακοπής όσο το δυνατόν πιο μικρός. Οι **αυτοθεραπευόμενοι (self-healing)** αλγόριθμοι έχουν προταθεί για να επιτύχουν τη γρήγορη αποκατάσταση μετά από μια αποτυχία, αλλά η επιτυχία τους εξαρτάται κατά πολύ από το πώς η κυκλοφορία διανέμεται και από το πώς η εφεδρική χωρητικότητα κατανέμεται πάνω στο δίκτυο, όταν συμβαίνει η αποτυχία. Προκειμένου να προσφερθεί καλύτερη **ικανότητα επιβίωσης (survivability)** των δικτύων, είναι πολύ σημαντικό ένας διαχειριστής δικτύων να πραγματοποιεί αποκατάσταση κυκλοφορίας σε απάντηση στη μεταβαλλόμενη ζήτηση κυκλοφορίας και τη δυνατότητα διαμόρφωσης δικτύων. Μεγάλη βαρύτητα δίνεται επίσης στο γεγονός ότι είναι άκρως απαραίτητο να πληρούνται όλες οι λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις, ώστε ένα δίκτυο ATM να μπορεί να χαρακτηρίζεται ως **ανθεκτικό σε σφάλματα (fault tolerant)** κατά τη φάση διαχείρισης των σφαλμάτων.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως γνωρίζουμε, το ATM ολοκληρώνει τους τύπους δεδομένων. Είναι το ίδιο αποτελεσματικό με ισοχρονική κυκλοφορία (με περιορισμούς πραγματικού χρόνου), συνδεδεμένη κυκλοφορία βασισμένη σε υπηρεσίες μεταβλητού ρυθμού αλλά και σε κυκλοφορία χωρίς σύνδεση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ιδανικά για τα δεδομένα πολυμέσων που ελκύουν χρήστες όλων των ειδών. Πέρα όμως από αυτά το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς να ενδιαφέρει η ταχύτητα και η απόσταση, σε δίκτυα που μπορούν να είναι τοπικά ή ευρείας περιοχής.

Το γενικό πρόβλημα, που αποτελεί ανοικτό ερευνητικό αντικείμενο, αναφέρεται στην εξεύρεση και υλοποίηση τεχνικών αυτόματης επιδιόρθωσης που θα παρέχουν υψηλά επίπεδα προστασίας ελαχιστοποιώντας τον απαιτούμενο βαθμό πλεονασμού σε αποδεκτό κόστος.

Τα δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων ακολουθούσαν μέχρι σήμερα μια σχετικά ανεξάρτητη εξέλιξη. Η εισαγωγή του ATM δίνει όμως σήμερα την δυνατότητα γαφύρωσης της τεχνολογίας. Το ζητούμενο είναι η ολοκλήρωση των επικοινωνιών χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες των υπολογιστών. Και το ATM προσφέρει με την προσαρμοστικότητα του την βάση για την επιτυχία του εγχειρήματος.

Υπάρχει όμως η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στο χώρο αυτό. Η τεχνολογία είναι νέα και υπάρχει η δυνατότητα για ακόμα καλύτερη εξασφάλιση πλήρους χρήσης όλων των πόρων ενός συστήματος που θα στηρίζεται στο ATM. Πρέπει να ερευνηθούν οι τρόποι ολοκλήρωσης όλων των δικτύων, είτε τοπικά (Ethernet, Token Ring, FDDI), είτε ευρείας περιοχής (ISDN, B-ISDN) με δίκτυα που θα στηρίζονται στο ATM, και να δημιουργηθούν τα ώριμα, εμπορικά εφαρμόσιμα και αξιόπιστα πρότυπα που θα επιτρέψουν την απρόσκοπτη εξέλιξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ (ABBREVIATIONS)

A

ABR	Available Bit Rate
ACN	Augmented C Network
AM	Alarm Manager
APS	Automatic Protection Switch
ASEN	Augmented Shuffle Exchange Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode

C

CDV	Cell Delay Variation
CTD	Cell Transfer Delay

D

DCS	Distributed Control Scheme
-----	----------------------------

E

ESC	Extra Stage Cube
-----	------------------

F

FC	Fault Coordinator
FFP	Fast Facility Protection
FRVP	Failure Resistant Virtual Path

I

IP	Internet Protocol
----	-------------------

L

LAN	Local Area Network
-----	--------------------

M

MIN Multistage Interconnection Network

N

NE Network Element
 NMS Network Management Station-

O

OAM Operation Administration and Maintenance
 OC/FD Output Controller/Fault Detector

P

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy

Q

QoS Quality of Service

S

SDH Synchronous Digital Hierarchy
 SHN Self-Healing Network
 SHR Self-Healing Ring
 SONET Synchronous Optical NETWORK
 SPVC Soft Permanent Virtual Circuit
 SPVP Soft Permanent Virtual Path
 STM Synchronous Transfer Mode
 SVC Switched Virtual Circuit

T

TDM Time Division Multiplexer
 TDS Testing/Diagnostic Server
 TMN Telecommunication Management Network

U

UBR Unspecified Bit Rate

VC	Virtual Channel
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (REFERENCES)

ΒΙΒΛΙΑ

1. *Planning & Managing ATM Networks*, D.Minoli, T. Golway, N.P.Smith, Ed. Manning, 1996.
2. *ATM: User-Network Interface Specification*, The ATM-Forum, Prentice Hall, 1993.
3. *Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών*, Ανδρέα Πομπόρτση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1997.
4. *Fiber-Based ATM Computer Network Performance and Survivability Issues Under Soft Failure Conditions*, Igor Kostic, Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State, Virginia, August 1999.
5. *ATM Foundation for Broadband Networks*, Uyles Black, Prentice Hall, 1995.
6. *Analyzing Broadband Networks*, Mark A.Miller, McGraw-Hill, 2001.
7. *Broadband Networking: ATM, SDH, SONET*, Mike Sexton and Andy Reid, Artech House, Inc., 1997.

ΑΡΘΡΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ / ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

8. A New Backup-VP Priority Restoration Method for ATM Survival Networks, Chen Shanzhi, Cheng Shiduan, Chen Junliang, *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, Vol. 2, No. 2, December 1995.
9. Comparison of two path restoration schemes in self-healing networks, Yijun Xiong, Lorne Mason, *Computer Networks*, Vol. 38, Issue 5, April 2002, pp. 663-674.
10. Reconfiguration for service and self-healing in ATM networks based on virtual paths, Tai H. Noh, Dhadesugoor R. Vaman, Gu Xuedao, *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 29, Issue 16, December 1997, pp. 1857-1867.
11. Making network survivability more affordable, ATM enables service providers to back up their networks without fully redundant facilities, Hossein Ghandeharian, *Telephony*, November 1996.
12. Multi-Path Backup Self-Healing Algorithm for ATM Networks, Kiyohito Yoshihara, Gen Hattori, Keizo Sugiyama, Sadao Obana, *IEICE TRANS COMMUN*, Vol E82-B, No 11, November 1999, pp 1793-1800.
13. Performance Analysis of a Fault-Tolerant B-Tree ATM Switch, Chris Plate, Jack Tan, *Proceedings of the 21st Conference on Local Computer Networks*, IEEE 1996, pp 295-304.
14. The Use of Hop-Limits to Provide Survivable ATM Group Communications, William Yurcik,



- David Tipper, Deepankar Medhi *2nd Annual Workshop on Networked Group Communications (NGC'00)*, November 8-10, Palo Alto, CA. USA 2000.
15. An efficient architecture for fault-tolerant ATM switches, Krishnan Padmanabhan, *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Vol. 3, Issue 5, October 1995, pp 527-537.
 16. A Fault-Tolerant Architecture for ATM Networks, Chi-Chun Lo, ChewYu Chiu, *20th Conference on Local Computer Networks*, 1995 IEEE, pp 29-36.
 17. Modeling and Simulation of A Fault Tolerant ATM Switching Architecture, Muhammad Anan, Mohsen Guizani, *33rd Annual Simulation Symposium*.
 18. Design and Implementation of a Fault Tolerant Atm Switch, Kuo Chen Wang, Feng-Ming Lin, *Journal Of Information Science And Engineering*, Vol.15, 1999, pp 521-541.
 19. Backup Path Sharing for Survivable ATM Networks, Hoyoung Hwang, Sanghyun Ahn, Yanghee Choi, Chongsang Kim, *13th International Conference on Information Networking (ICOIN '98)*, January 21 - 23, 1998, Tokyo, 1998.
 20. An Efficient VP-Packing Algorithm in ATM Self-healing Networks, των Tang Jian, Feng Tian-shu, Lei Zhen-ming, *2nd IEEE Symposium on Computers and Communications*, 1997, pp 657-660.
 21. Self-healing ATM Networks Based on Virtual Path Concept, by Kawamura R., Sato K., Tokizawa I., IEEE 1994.
 22. Fast Restoration of ATM Networks, by Anderson J., Doshi B., Dravida S. and Harshavardhana, IEEE JSAC, Vol. 12, No.1, January 1994.
 23. Self-healing network techniques utilizing virtual paths, by Kawamura P. , Sato K. , Tokizawa I. May 1992.
 24. A design of self-healing ATM networks based on backup virtual paths, Chae Y. Lee and Seok J. Koh, *Computers & Operations Research, Volume 25, Issues 7-8, July 1998, pp 595-609*
 25. Administration of Restorable Virtual Path Mesh Networks, Veitch P., Hawker I., Smith G., *IEEE Communications Magazine*, December 1996.
 26. Self-Healing ATM Network Techniques utilizing Virtual Paths, Kawamura R., Sato K-I, Tokizawa I., *Networks*, Kobe 1992.
 27. Implementation of Self-healing Function in ATM Networks Based on Virtual Path Concept, Kawamura R., Hadama H., Tokizawa I., *Proceedings Infocom 95*, 3b.1 , pp 303-311.
 28. ATMR: Ring Architecture for Broadband Networks, Imai K., Honda T., Kasahara H., Ito T., *Proceedings of IEEE GLOBECOM'90*, December 1990.
 29. Draft baseline document on ATM Network Survivability Architectures and Mechanisms, Version 1, February 1997, Seoul.
 30. A distributed tool for verification of resource management and routing algorithms in ATM environment, K. Kavidopoulos, D. Manikis, G. Branis, N. Mitrou, *IFIP '97 Conference*, Brandford.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

31. http://www.ee.ucl.ac.uk/~dgriffin/papers/eunice_bd98.pdf

Από το επίσημο site του Department of Electronic & Electrical Engineering University College London, ένα tutorial των Matthieu Verdier, David Griffin και Panos Georgatsos με θέμα την δυναμική διαχείριση του εύρους ζώνης σε ATM δίκτυα με αναφορές και σε επιβιωσιμότητα και αυτοθεραπεία.

32. <http://www.alliancedatacom.com/self-healing-atm-networks.htm>

Επίσημο site της εταιρίας Alliance Datacom, στο οποίο υπάρχει paper του Keith Mumford για αυτοθεραπευόμενα ATM δίκτυα. Πλούσιο σε υλικό, φωτογραφίες καθώς και σε προτεινόμενα προϊόντα.

33. <http://www.apl.jhu.edu/Courses/cs/605.773Krishnan.html>

Tutorial του Johns Hopkins University του τμήματος Engineering and Applied Science, το οποίο επικεντρώνεται σε θέματα που αφορούν δικτυακές τεχνολογίες υψηλών ταχυτήτων, συμπεριλαμβανομένων και των ISDN, BISDN, Frame Relay, ATM, and SONET.

34. <http://www.comsoc.org/livepubs/surveys/public/4q98issue/kawamura.html>

Έρευνα δημοσιευμένη στο επίσημο site της IEEE Communications Society από τον Ryutaro Kawamura με θέμα την αρχιτεκτονική για επιβιωσιμότητα σε ATM δίκτυα. Εξαιρετικά αναλυτικό κείμενο με πολλές γραφικές απεικονίσεις και επεξηγήσεις.

35. http://www.cstp.umkc.edu/public/papers/dmedhi/m_jweee99.pdf

Από το επίσημο site του πανεπιστημίου του Missouri, paper του Deepankar Medhi του Department of Computer Networking το οποίο περιέχει εξαιρετικό υλικό για ανοχή σε λάθη, ανίχνευση λαθών και απομόνωσή τους, επαναφορά και γενικότερη προετοιμασία του δικτύου.

36. <http://www.ee.wits.ac.za/~comms/output/satnac00/185Chetan-Chiba-Wits.pdf>

Από το επίσημο site του School of Electrical and Information Engineering, University of Johannesburg, ηλεκτρονικό άρθρο σχετικό με τη διαχείριση των λαθών σε ATM δίκτυα των Chetan P. Chiba, Setumo Mohari, Hu Hanrahan. Περιέχει δομημένο κείμενο, πληθώρα εικόνων, επεξηγήσεις και αναλύσεις σχετικά με την παρουσιαζόμενη αρχιτεκτονική.

37. <http://www.eurescom.de/~pub-deliverables/p900-series/p918/D5/P918D5.doc>

Ανάλυση του Project P918 του 2001 της ερευνητικής ομάδας της Eurescom που εξειδικεύεται σε ερευνητικά προγράμματα εξέλιξης στις τηλεπικοινωνίες. Η έκθεση είναι σχετική με την επιβιωσιμότητα των δικτύων με ειδική αναφορά σε δίκτυα ATM, σε συσχετίσεις πολυεπίπεδων δικτύων, όπως και σε διασυνδέσεις δικτύων στις οποίες το ATM συμμετέχει. Περιέχει σημαντικό υλικό για στρατηγικές επιβιωσιμότητας, μηχανισμούς και τεχνικές προστασίας και αποκατάστασης λαθών.

38. <http://www.acm.org/sigcomm/ccr/archive/1998/oct98/ccr-9810-kyandoghere.pdf>

Από το επίσημο site του Association for Computing Machinery, ένα ηλεκτρονικό άρθρο του Kyamakya Kyandoghere με θέμα την απόδοση επιβιωσιμότητας σε στρατηγικές επαναδρομολόγησης σε ATM δίκτυα. Άρθρο πλούσιο σε εικόνες και υλικό.

39. <http://www.atmforum.com/aboutatm/sonet.html>

Το επίσημο site του ATM forum που περιέχει πληθώρα πληροφοριών σχετικά με ό,τι αφορά τα



δίκτυα ATM. Περιέχει ιστορικά στοιχεία, beginners guide, γλωσσάριο, case studies, standards, πρωτόκολλα, άρθρα, white papers και γενικά ό,τι χρειάζεται κάποιος για να ενημερωθεί επίσημα για το ATM.

40. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/atm/l2020/2020r211/sysover/atmtech.htm#38439>

Site της Cisco που περιέχει ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τη δομή των δικτύων ATM. Το site είναι εμπλουτισμένο με πληθώρα χρήσιμων εικόνων και σχεδίων που συμβάλλουν σημαντικά στην κατανόηση βασικών εννοιών.

41. http://www.iec.org/online/tutorials/atm_fund/topic11.html

Επίσημο site του International Engineering Consortium που έχει tutorials για το ATM. Το συγκεκριμένο tutorial περιέχει υλικό και εικόνες για κατανόηση ακόμη και βασικών εννοιών.

42. <http://www.networking.ibm.com/atm/atmnmman.html>

Site της IBM που περιέχει πληροφορίες και εικόνες σχετικά με τη δομή, τις λειτουργίες και τη διαχείριση του ATM, με αναφορά σε πρωτόκολλα και άλλα προϊόντα της IBM.

43. <http://www.alaska.net/~research/Net/S.htm#Letters>

Site του Network Design and Research Center, το οποίο, όπως αναφέρεται και από τους δημιουργούς του, υπάρχει για να καταργήσει την πολυπλοκότητα και το μπερδεμα που υπάρχει σχετικά με τα δίκτυα H/Y. Περιέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με άλλα sites που ασχολούνται με το networking, tutorials, white papers, downloads, links, λεξικό όρων και άλλες πηγές.

44. <http://compnetworking.about.com/cs/atm/>

Ειδικό site για computer networking, στο οποίο περιέχεται περιγραφή του δικτύου ATM με εικόνες και συσχετισμούς με άλλα δίκτυα και πρωτόκολλα.

45. http://www.ctr.columbia.edu/~dimitri/teaching/E6761/Lecture2/atm_97.PDF

Site του Center for Telecommunications Research του Columbia University στο οποίο περιέχεται tutorial για το ATM.

46. <http://www.sciencedirect.com/>

Επίσημο site της Elsevier με on-line άρθρα από πληθώρα περιοδικών που καλύπτουν όλων των ειδών τις θεματολογίες, συμπεριλαμβανομένων και των περιοδικών σχετικών με τα δίκτυα.

47. ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/cis788-95/atm_switching/index.html

Από το πανεπιστήμιο του Ohio ένα tutorial της Sonia Fahmy με εκτενείς αναφορές στη δομή των δικτύων ATM καθώς και αναφορές στην ανθεκτικότητα των λαθών.

48. <http://www.telecom.ntua.gr/~jman/iw98.pdf>

Άρθρο των Dimitris Manikis, Yves T'joens, Dimitris Makris, Eleni Mykoniati, George Konstantoulakis με θέμα την αξιολόγηση της απόδοσης της λειτουργίας της αυτοθεραπείας σε δίκτυα ATM. Άρθρο κατανοητό και με πολύ αναλυτικές εικόνες.

49. http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/af5/article2.html

Από το site του Department of Computing του Imperial College of Science, Technology and Medicine στο University of London tutorial του Ανδρέα Φελέκη με θέμα την επιβιωσιμότητα των ATM δικτύων. Το site περιέχει πολλές πληροφορίες και καλές εικόνες.