

*Survivability, Fault Tolerance and Self-Healing Techniques
of ATM Networks*

kyriakidou alexandra

December 2001

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

*Επιβιωσιμότητα, Ανοχή στα λάθη και Τεχνικές Αποκατάστασης
των ATM Δικτύων*

κυριακίδου αλεξάνδρα

Δεκέμβριος 2001

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή κάνει μια αποτίμηση των αρχιτεκτονικών και τάσεων που έχουν αναπτυχθεί με στόχο την επιβιωσιμότητα των δικτύων ασύγχρονης μετάδοσης (ATM). Η αξιοπιστία των δικτύων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα του παρόντος και του μέλλοντος. Είναι εξάλλου σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των δικτύων. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στις τεχνικές αποκατάστασης των ATM δικτύων. Προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής αποκατάσταση με το μικρότερο κόστος είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί ένα σχέδιο αποκατάστασης (ή συνδυασμός σχεδίων). Τα σχέδια αποκατάστασης κατηγοριοποιούνται και παρουσιάζονται εν συντομία (κεντρικός έλεγχος, μεταγωγή αυτόματης προστασίας (APS), αυτοθεραπευόμενος δακτύλιος (SHR), αυτοθεραπευόμενο δίκτυο (SHN), ανθεκτικό στην αποτυχία εικονικό μονοπάτι (FRVP)). Τέλος παρουσιάζονται διάφορα θέματα σχεδιασμού των δικτύων που σχετίζονται με την ασφάλεια και την επιβιωσιμότητα (μηχανισμός ανίχνευσης αποτυχίας, ικανότητα πολυεπίπεδης αξιοπιστίας, συγχρονισμός κεντρικής και συγχρονισμένης διαχείρισης κ.ο.κ.), με σκοπό να θέσουν τα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν άμεσα.

ABSTRACT

This paper surveys the restoration architectures for asynchronous transfer mode (ATM) network survivability that have been studied. Network reliability is critical for recent and future networks. Moreover it is one of the biggest factors in designing and managing networks. This paper focuses on new restoration techniques for ATM networks. Restoration schemes are categorized and briefly introduced. Examples include centralized control, automatic protection switch (APS), self-healing ring (SHR), self-healing network (SHN) and failure resistant virtual path (FRVP). In order to achieve adequate restoration probability with minimum cost a network design scheme is necessary. Finally some issues related to security and survivability of ATM networks are introduced (switching trigger, multireliability, synchronizing centralized and distributed management e.t.c.), so that problems are solved as soon as possible.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΤΜ ΔΙΚΤΥΩΝ	9
1.1 ΑΤΜ Δίκτυα	9
1.2 Η Τεχνική Cell Relay	9
1.3 Η ιδέα του Virtual Channel και του Virtual Path	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΤΜ ΔΙΚΤΥΩΝ	12
2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Αποτυχημένη σύνδεση σε ένα δίκτυο	12
2.3 Τεχνικές αποκατάστασης ΑΤΜ Δικτύων	13
2.4 Σχέδια (Schemes) αποκατάστασης στα ΑΤΜ δίκτυα	15
2.5 Centralized Control Switching Σχέδιο	16
2.6 Σχέδιο μεταγωγής αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS)	17
2.7 Σχέδιο Self-Healing Ring (SHR)	19
2.8 Σχέδιο Self-Healing Network (SHN)	19
2.9 Failure Resistant Virtual Path – FRVP	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	25
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΠΟΡΟΙ (SPARE RESOURCES)	25
3.1 Σχεδιασμός Δικτύου	25
3.2 Μηχανισμός ανίχνευσης αποτυχίας (Switching Trigger)	26
3.3 Τυπικά προβλήματα στην αποκατάσταση ΑΤΜ δικτύου	27
3.4 Ικανότητα πολυεπίπεδης αξιοπιστίας (Multireliability)	28
3.5 Συγχρονισμός κεντρικής και κατακευματισμένης διαχείρισης	29
3.6 Κύκλος αποκατάστασης	29
3.7 Μελέτες εφαρμογής και Συμπεράσματα	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	32
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟ WEB	32

CONTENTS

INTRODUCTION	7
SURVIVABLE COMMUNICATION NETWORKS	7
CHAPTER 1	9
INTRODUCTION TO ATM NETWORKS	9
1.1 ATM Networks	9
1.2 Cell Relay Technique	9
1.3 Virtual Channel and Virtual Path Concept	11
CHAPTER 2	12
ARCHITECTURES FOR ATM NETWORKS SURVIVABILITY	12
2.1 Introduction	12
2.2 Network Failure	12
2.3 ATM Network Restoration Techniques	13
2.4 ATM Restoration Schemes	15
2.5 Centralized Control Switching Scheme	16
2.6 Automatic Protection Switch - APS	17
2.7 Self-Healing Ring Scheme (SHR)	19
2.8 Self-Healing Network Scheme (SHN)	19
2.9 Failure Resistant Virtual Path - FRVP	23
CHAPTER 3	25
NETWORK DESIGN AND SPARE RESOURCES	25
3.1 Network Design	25
3.2 Failure Detection Mechanism (Switching Trigger)	26
3.3 Problems in ATM network Restoration	27
3.4 Multireliability	28
3.5 Synchronizing Centralized and Distributed Management	29
3.6 Restoration Cycle	29
3.7 Implementation Studies and Conclusions	31
REFERENCES	32
WEB REFERENCES	32

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα 1: ATM 53-byte κελί.....</i>	<i>10</i>
<i>Σχήμα 2: Συστατικά του ATM δικτύου.....</i>	<i>10</i>
<i>Σχήμα 3: Η σχέση μεταξύ VC, VP και του φυσικού μέσου.....</i>	<i>11</i>
<i>Σχήμα 4 – Σχέδια αποκατάστασης ATM δικτύου.....</i>	<i>15</i>
<i>Σχήμα 5 – Σχήμα αποκατάστασης κεντρικού ελέγχου.....</i>	<i>17</i>
<i>Σχήμα 6 - Σχήμα VP (VC)-APS.....</i>	<i>18</i>
<i>Σχήμα 7 - ATM self-healing ring.....</i>	<i>19</i>
<i>Σχήμα 8 - Προκαθορισμένο SHN σχέδιο (backup VP-based).....</i>	<i>21</i>
<i>Σχήμα 9- FRVP concept.....</i>	<i>23</i>
<i>Σχήμα 10 – Μηχανισμός μετάδοσης συναγερμού στο VP επίπεδο.....</i>	<i>26</i>
<i>Σχήμα 11 – Χαρακτηριστικά της προστασίας κάθε στρώματος.....</i>	<i>27</i>
<i>Σχήμα 12 – Κύκλος Διαχείρισης Αποτυχίας.....</i>	<i>30</i>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατό ετών, τα δίκτυα επικοινωνίας έχουν γίνει ένα αναπόσπαστο τμήμα της οικονομικής και κοινωνικής ζωής. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για τις απλές τηλεφωνικές συνομιλίες αλλά ευθύς εξαρχής η διαθεσιμότητα των δικτύων φάνηκε να είναι ένας βασικός παράγοντας στη διαδικασία σχεδίασης. Η τηλεφωνική υπηρεσία (και ειδικά οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης) έπρεπε να είναι διαθέσιμες οπουδήποτε (στις πόλεις καθώς επίσης και στην επαρχία) οποιαδήποτε στιγμή (η συμφόρηση έπρεπε να ελαχιστοποιηθεί και καμία διακοπή δεν επιτρέπονταν ακόμη και κατά τη διάρκεια μιας γενικής διακοπής ρεύματος).

Αυτή η τάση έχει ενισχυθεί από το γεγονός ότι τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα διαμορφώνουν τις εθνικές οδούς της σύγχρονης κοινωνίας των πληροφοριών και διαδραματίζουν τώρα έναν κεντρικό ρόλο σε όλες τις πτυχές της οικονομικής και κοινωνικής ζωής.

Αν και ειδικές προφυλάξεις λαμβάνονται για να αποφευχθούν οι αποτυχίες δικτύων (ανθεκτικά κατά πυρκαγιάς γραφεία, ενισχυμένα καλώδια και αγωγοί, εφεδρικά μέρη εξοπλισμού, κ.λπ.), τα δίκτυα δεν φθάνουν ποτέ σε μια διαθεσιμότητα εκατό τοις εκατό. Έχει αναφερθεί ότι αποτυχίες δικτύων στις Ηνωμένες Πολιτείες με αντίκτυπο σε περισσότερους από 30.000 πελάτες συμβαίνουν με μια συχνότητα της τάξεως της μιας κάθε δύο ημέρες και ο μέσος χρόνος να επισκευαστούν είναι της τάξεως των πέντε έως δέκα ωρών.

Μπορούμε να αναφέρουμε διάφορους τύπους αποτυχίας, όπως πυρκαγιά, αποκοπή καλωδίων, προγραμματιστικό λάθος λογισμικού, σεισμός, κ.λπ.. Αυτές οι αποτυχίες μπορούν μόνο να επιλυθούν με την παροχή ικανότητας επιβίωσης στα δίκτυα, που είναι η δυνατότητα του δικτύου να ανακτήσει την κυκλοφορία που επηρεάζεται από την αποτυχία.

Αυτό είναι δυνατό με την παροχή εφεδρικών πόρων στο δίκτυο, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από σταθερούς μηχανισμούς προστασίας και αποκατάστασης προκειμένου να επαναδρομολογηθεί η κυκλοφορία μετά την αποτυχία στο δίκτυο. Σημαντική απαίτηση είναι ο μικρότερος αντίκτυπος στις επηρεασθείσες υπηρεσίες με ελάχιστο κόστος.

Οι παρούσες απαιτήσεις της ικανότητας επιβίωσης των δικτύων πρέπει να εξετασθούν στο πλαίσιο του αυξανόμενου ανταγωνισμού, της απελευθέρωσης της αγοράς και των υψηλών προσδοκιών από τους χρήστες δικτύων. Επιπλέον οι νέες σύνθετες πολυστρωματικές τεχνολογίες δικτύων (multiplayer network technologies) και η αυξανόμενη χωρητικότητα δικτύων (network capacity) τοποθετούν αυστηρές απαιτήσεις στην ικανότητα των δικτύων να ανακτήσουν από διάφορους τύπους αποτυχιών. [16]

Σήμερα παρατηρούμε ότι στα δίκτυα πολλές τεχνολογίες συνδυάζονται σε σύνθετα σενάρια όπως μεταφορά PDH σημάτων σε SDH containers μέσα από WDM συνδέσεις. Ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM) είναι επίσης μια σημαντική τεχνολογία μετάδοσης, η οποία μπορεί να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα δικτύων. Είναι

γεγονός ότι η εξέλιξη στις τεχνολογίες των δικτύων δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε μηχανισμούς ικανότητας επιβίωσης που μπορούν να παρασχεθούν. [23],[24]

Έχει αναφερθεί σε πολλές περιπτώσεις ότι υπάρχει αυτήν την περίοδο μια τάση όπου η μεταγωγή πακέτου (ειδικά IP-based) θα διαδραματίσει έναν πρωτεύοντα ρόλο στην περαιτέρω ανάπτυξη και παροχή νέων και υπαρχουσών υπηρεσιών. Αυτή η τάση απεικονίζεται σαφώς σε διάφορα άρθρα. Γι' αυτό και ικανότητα επιβίωσης των ATM δικτύων αποκτά ιδιαίτερη σημασία και ενδιαφέρον.

Όπως αναφέρεται επίσης σε άλλα άρθρα ότι και η οπτική δικτύωση (optical networking) θα διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη. Γίνεται σαφές ότι υπάρχει πλήθος πλεονεκτημάτων του ATM και της οπτικής δικτύωσης προκειμένου να μειωθούν το κόστος και η πολυπλοκότητα των παρόντων δικτύων επικοινωνίας

Εξάλλου μερικά παραδείγματα των προβλημάτων σχετικών με την εισαγωγή των νέων τεχνολογιών συζητούνται. Ένα άρθρο (Demeester και λοιποί) εξετάζει τις διαφορετικές στρατηγικές για την πολυστρωματική ικανότητα επιβίωσης δικτύων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η οπτική δικτύωση θα διαδραματίσει έναν βασικό ρόλο στα μελλοντικά δίκτυα σπονδυλικών στηλών (backbone networks). Αυτό αντιμετωπίζεται λεπτομερώς σ' ένα άρθρο του Sato. [13]

- Μερικά σημαντικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:
- Η κυκλοφορία Διαδικτύου (Internet Traffic) θα γίνει κυρίαρχος χρήστης των μελλοντικών επιβιώσιμων δικτύων επικοινωνίας και θα ασκήσει αυστηρή επίδραση στις τεχνικές κατευθύνσεις που λαμβάνονται στο μέλλον.
 - Η οπτική δικτύωση πρέπει να επιτρέψει μια αποδοτικότερη μεταφορά των μεγάλων χωρητικοτήτων με μια βελτιωμένη ικανότητα επιβίωσης.
 - Η σύγχρονη τάση της χρησιμοποίησης των σύνθετων πολυστρωματικών δικτύων προέρχεται από την ιστορική εξέλιξη. Εντούτοις, αυτό οδηγεί στα σύνθετα σενάρια ικανότητας επιβίωσης που μπορούν να απλοποιηθούν με τη μείωση του αριθμού τεχνολογιών δικτύων και στρωμάτων δικτύων.
 - Προσεκτικός σχεδιασμός δικτύων θα είναι ένας βασικός παράγοντας προκειμένου να φτάσουμε σε επιβιώσιμα δίκτυα με ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. [17]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΤΜ ΔΙΚΤΥΩΝ

1.1 ΑΤΜ Δίκτυα

Ένας όρος που χρησιμοποιείται πολύ συχνά σήμερα στο χώρο των δικτύων και επικοινωνιών είναι ο όρος ΑΤΜ και αναφέρεται στον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς των δεδομένων (Asynchronous Transfer Mode). [35]

Το ΑΤΜ είναι αυτό που αναμένεται να ενοποιήσει τις υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και βίντεο. Συνήθως χρησιμοποιεί οπτικές ίνες και υψηλής ταχύτητας ψηφιακά ηλεκτρονικά ως υποδομή για να παρέχει αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης και εξαιρετικά μεγάλη χωρητικότητα (capacity) για υπηρεσίες με μεγάλο βαθμό ολοκλήρωσης σε δεδομένα, φωνή, εικόνα ή βίντεο.

Ο *Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς* των δεδομένων (Asynchronous Transfer Mode) είναι μια τεχνολογία που έχει τη δική της ιστορία στην ανάπτυξη του ευρυζωνικού ISDN (Broadband ISDN) στις δεκαετίες του 70' και του 80'. Τεχνικά, μπορεί να θεωρηθεί ως η εξέλιξη της μεταγωγής πακέτου (packet switch). Όπως στη μεταγωγή πακέτου για μετάδοση δεδομένων (π.χ., X.25, frame relay, TCP/IP) το ΑΤΜ ενσωματώνει λειτουργίες πολυπλεξίας και μεταγωγής, ανταποκρίνεται καλά στην ξαφνική και μεγάλη κυκλοφορία (σε αντίθεση με τη μεταγωγή κυκλώματος) και επιτρέπει τις επικοινωνίες μεταξύ συσκευών που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Σε αντίθεση με τη μεταγωγή πακέτου, το ΑΤΜ έχει σχεδιαστεί για υψηλής απόδοσης πολυμεσικά δίκτυα και έχει υλοποιηθεί με μια μεγάλη σειρά συσκευών δικτύωσης: [1], [2]

- Προσωπικοί υπολογιστές, σταθμοί εργασίας κάρτες διεπαφής εξυπηρετητή δικτύων (server network interface cards)
- switched-ethernet και token-ring workgroup hubs
- ΑΤΜ κέντρα (ATM switches) ομάδων εργασίας και πανεπιστημιούπολεων
- ΑΤΜ κέντρα (ATM switches) επιχειρηματικών δικτύων
- ΑΤΜ πολυπλέκτες
- ΑΤΜ-edge switches
- ΑΤΜ-backbone switches

1.2 Η Τεχνική Cell Relay

Το ΑΤΜ δίκτυο έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει ανά πάσα στιγμή τη διανομή (allocation) της διαθέσιμη δυναμικότητάς (capacity) του ανάμεσα σε διάφορους χρήστες που ανταγωνίζονται γι' αυτήν. Αντί να υπάρχει μια παγιωμένη δυναμικότητα (capacity) ανάμεσα στα

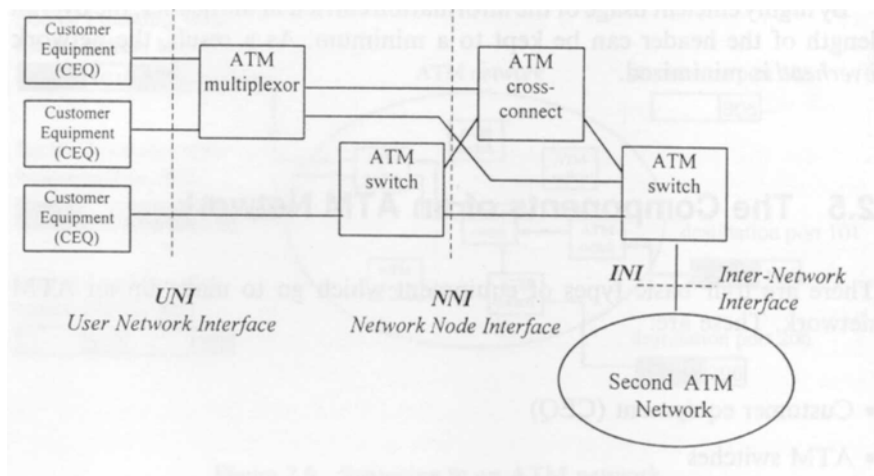
δυο μέρη που επικοινωνούν για τη διάρκεια της συνόδου (session) ή του τηλεφωνήματος, το ATM εξασφαλίζει ότι η δυναμικότητα της γραμμής θα αξιοποιείται με τον καλύτερο τρόπο, μεταφέροντας μόνο τη "χρήσιμη" πληροφορία.

Έτσι για παράδειγμα τα κενά της σιωπής στο λόγο δεν χρειάζεται να μεταφέρονται καθώς στο μεταξύ μια σύντομη ένταση της κυκλοφορίας θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί. Η δυναμική διανομή (allocation) του εύρους ζώνης που επιτυγχάνεται στα ATM δίκτυα οφείλεται σε μια νέα τεχνική που ονομάζεται **cell relay switching** και βασίζεται στην στατιστική πολυπλεξία (statistical multiplexing).

48 octet (byte) πεδίο πληροφορίας ή cell payload	5 byte header
--	---------------

Σχήμα 1: ATM 53-byte κελί

Η τεχνική αυτή πολλαπλασιάζει την λειτουργική δυναμικότητα (capacity) της γραμμής μεταφοράς ή του δικτύου εκμεταλλευόμενη την στατιστική φύση των συμβάντων όταν πρέπει να μεταφερθεί πληροφορία. Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι ότι γίνεται η μέγιστη αξιοποίηση της δυναμικότητας της γραμμής, αποφεύγοντας τη μετάδοση άχρηστων δεδομένων. [1], [2], [14],[15]



Σχήμα 2:

Συστατικά ενός ATM δικτύου

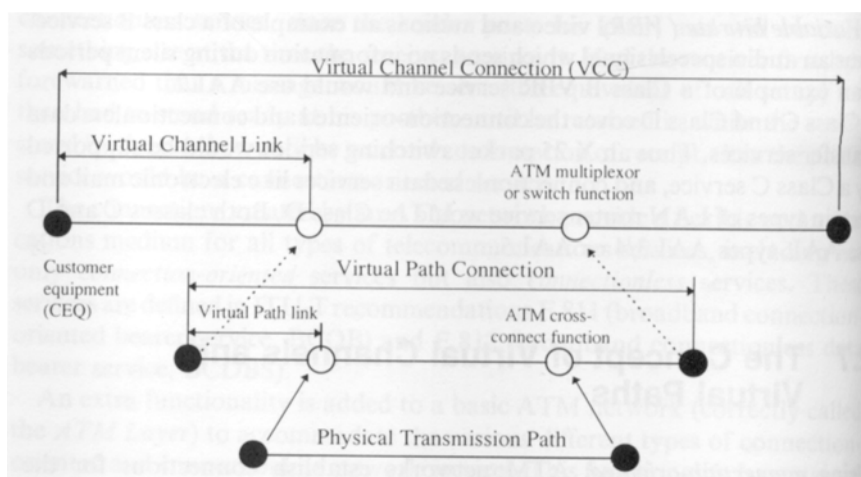
Τα σημαντικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση ATM δικτύου μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω. [1], [2], [3]

- Υψηλή απόδοση
- Δυναμικό εύρος ζώνης (Bandwidth on demand)
- Κατηγορία υπηρεσιών για πολυμέσα. Ικανοποιούνται ποικίλες ανάγκες σε ένα δίκτυο (για βίντεο, φωνή, δεδομένα)
- Διαβάθμιση της ταχύτητας
- Connection Oriented τεχνολογία

- Συμβατότητα καθώς δεν υπάρχει εξάρτηση από το φυσικό μέσο (ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένο ζεύγος ή οπτική ίνα)
- Κοινές αρχιτεκτονικές LAN/WAN
- Δυνατότητα χρήσης πιο απλοποιημένων αρχιτεκτονικών
- Διεθνής πιστοποίηση
- Ευελιξία απέναντι σε γεωγραφικές αποστάσεις, αριθμό χρηστών και ταχύτητας

1.3 Η ιδέα του *Virtual Channel* και του *Virtual Path*

Τα ATM δίκτυα είναι connection-oriented και κατά συνέπεια εγκαθιστούν συνδέσεις μεταξύ των τελικών χρηστών. Στην πραγματικότητα η σύνδεση γίνεται μεταξύ δύο συσκευών χρηστών (βλ. Σχήμα 2, CEQ) που επικοινωνούν μέσω του δικτύου (ATM layer) και ονομάζεται κανάλι (channel). Πολλά κανάλια (channels) μοιράζονται ουσιαστικά το ίδιο φυσικό μέσο αφού χρησιμοποιείται η τεχνική της πολυπλεξίας. Παρόλα αυτά τα κανάλια φαίνονται προς τους χρήστες ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και γι' αυτό καλούνται λογικά κανάλια (logical ή **virtual channels**).



Σχήμα 3:
Η σχέση μεταξύ των *Virtual Channels*, *Virtual Paths* και του φυσικού μέσου μετάδοσης

Ένα λογικό κανάλι (virtual channel) που επεκτείνεται μέσα σε ένα ATM δίκτυο ονομάζεται virtual channel connection (VCC) και αποτελείται από μικρότερα virtual channel links. Από την άλλη πλευρά το **virtual path** αποτελείται από έναν αριθμό από virtual channel links που έχουν κοινά άκρα (endpoints). Κατά αντιστοιχία τα virtual paths διακρίνονται σε virtual path connections (VPC) και virtual path links. [14], [15], [19]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ATM ΔΙΚΤΥΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα το εύρος ζώνης των δικτύων συνεχίζει να αυξάνει, αντανακλώντας τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών μετάδοσης με οπτικές ίνες. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες εξαρτώνται σήμερα περισσότερο από ποτέ από τη μετάδοση της πληροφορίας και την επικοινωνία μέσω δικτύων. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν η τηλεϊατρική, το ηλεκτρονικό εμπόριο, οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης κ.ο.κ. Επομένως απαιτείται μια σταθερή αρχιτεκτονική γρήγορης αποκατάστασης σε περίπτωση αποτυχίας στη μετάδοση, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κοινωνική και οικονομική ζημία. Πολλές είναι οι μελέτες που έχουν δημοσιευθεί με το συγκεκριμένο προβληματισμό.

Πιο συγκεκριμένα για το ATM η ζημία που μπορεί να προκληθεί από μια αποτυχημένη σύνδεση ή ένα κόμβο εκτός λειτουργίας είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στα συμβατικά δίκτυα και είναι δυνατό να προκαλέσει σοβαρό πρόβλημα. Αυτό έχει άμεση σχέση με το ότι μια απλή σύνδεση (link) σε ένα ATM δίκτυο περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό από λογικά μονοπάτια (virtual paths –VPs) και καθένα από αυτά επίσης ένα μεγάλο αριθμό από λογικά κανάλια (virtual channels- VCs). Επιπλέον οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν πολυμέσα και χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο δεδομένων καθώς και από απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο απαιτούν πιο αξιόπιστα δίκτυα.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως εκφράζεται και η ανάγκη να εξετασθεί το θέμα της επιβιωσιμότητας των δικτύων μέσα στο γενικό πλαίσιο της ασφάλειας των δικτύων. Μέσα λοιπόν από μια κοινή πρωτοποριακή πολιτική επιβάλλεται να αυξηθεί η επιβιωσιμότητα και η ευελιξία και να μειωθούν τα τρωτά σημεία των δικτύων. [11], [17], [22]

Εξάλλου αν μετρούσαμε την επιβιωσιμότητα των δικτύων και πιο συγκεκριμένα των ATM δικτύων με κριτήριο όχι τη συνολική διαθεσιμότητα του δικτύου αλλά με μέτρο τις χαμένες κλήσεις ή γενικότερα το ποσό της χαμένης “ροής” (flow) θα βοηθούσε ίσως την εξασφάλιση του επιθυμητού QoS (ποιότητα υπηρεσιών).[18],[34]

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα ασχοληθούμε με πρόσφατες έρευνες και τα αποτελέσματα ανάπτυξης αξιόπιστων αρχιτεκτονικών και μηχανισμών αποκατάστασης για το δίκτυο ασύγχρονης μεταφοράς δεδομένων (ATM), που αποτελεί την υποδομή των μελλοντικών δικτύων. Επιπλέον, θα διευκρινιστούν και κάποια προβλήματα που πρέπει να λυθούν από μελλοντικές επιστημονικές μελέτες.[20]

2.2 Αποτυχημένη σύνδεση σε ένα δίκτυο

Οι επιπτώσεις της αποτυχίας ενός δικτύου να μεταδώσει πληροφορία (network failure) μπορεί να είναι πολλαπλές και να έχουν τόσο οικονομικές όσο και κοινωνικές παραμέτρους. Πολύ

απλά οι πελάτες των υπηρεσιών δεν είναι ικανοποιημένοι ενώ οι διαχειριστές του δικτύου μπορεί να χάσουν πάρα πολλά χρήματα.[23]

Σε μεγάλο βαθμό η επίδραση ενός τέτοιου συμβάντος εξαρτάται από το μέγεθος της αποτυχίας δηλαδή κυρίως από το χρόνο της διακοπής της μετάδοσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δύο δευτερόλεπτα είναι ένα κρίσιμο όριο για την πλειοψηφία των υπηρεσιών. Ο πίνακας 1 είναι ενδεικτικός για τα αποτελέσματα ενός προβλήματος στη μεταφορά δεδομένων σε σχέση πάντα με το χρόνο που λαμβάνει χώρα αυτό το πρόβλημα.

Χρόνος Αποκατάστασης	Αποτέλεσμα της διακοπής υπηρεσίας
0 to < 50 msec	Service "hit," reframe required
50 msec to < 200 msec	Potential voiceband disconnect (< 5%)
	Effect cell rerouting process
200 msec to < 2 sec	May drop voiceband calls depending on channel bank vintage
2 sec to < 10 sec	Call-dropping (all circuit switched service)
	PL disconnects, potential packet (X.25) disconnect
	Potential data session timeouts
10 sec to < 5 min	Packet (X.25) disconnects, data session timeout
5 min to < 30 min	Network congestion, minor social/business impact
> 30 min	Major social/business impact

Πίνακας 1: Χρόνος αποκατάστασης και αντίκτυπο στους πελάτες.

2.3 Τεχνικές αποκατάστασης ATM Δικτύων

Οι τεχνικές αποκατάστασης παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ATM και τα STM (Synchronous Transfer Mode) δίκτυα. Το γεγονός αυτό οφείλεται φυσικά στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του ψηφιακού μονοπατιού (digital path ή DP) του STM δικτύου και του λογικού μονοπατιού (virtual path ή VC) του ATM δικτύου. Ο Πίνακας 2 που ακολουθεί συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά της αποκατάστασης ενός λογικού μονοπατιού έναντι του ψηφιακού.

Η αποκατάσταση του VP έχει μερικά βασικά πλεονεκτήματα που απορρέουν από την ίδια την έννοια (concept) του VP. Η ενός επιπέδου (single-layer) αποκατάσταση του VP αποτελεί μια απλή και αποδοτική αρχιτεκτονική αποκατάστασης. Επιπλέον, ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα να καθιερωθούν εκ των προτέρων τα εφεδρικά μονοπάτια που χρησιμοποιούν μηδενικού εύρους ζώνης VPs.[27]

Το προσχεδιασμένο “αυτοθεραπεύόμενο” (self-healing) σχήμα (το οποίο περιγράφεται παρακάτω) χρησιμοποιεί 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 κύτταρο OAM έχει τυποποιηθεί, και το σχήμα αποκατάστασης το χρησιμοποιεί για τη γρήγορη και αξιόπιστη μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ των στοιχείων δικτύων (NEs).

Όπως προηγουμένως αναφέρθηκε, η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του ATM και των VPs έχει ως αποτέλεσμα την αρκετά αποτελεσματική αποκατάσταση στα δίκτυα του ATM. Εντούτοις, έχουμε να αντιμετωπίσουμε μια σειρά από νέα προβλήματα. Το πρώτο είναι ο αυξανόμενος αριθμός μονοπατιών που τίθενται εκτός λειτουργίας από μια απλή αποτυχία στο δίκτυο. Δεδομένου ότι VPs δεν ακολουθούν κάποια ιεραρχία στο εύρος ζώνης, το VP μπορεί να είναι μακρύτερο και το εύρος ζώνης του μικρότερο σε σύγκριση με τα DPs στα δίκτυα STM.

Κατά συνέπεια, ο μέσος αριθμός μονοπατιών που προσαρμόζονται σε μια σύνδεση (link) μπορεί να αυξηθεί πολύ (μέγιστ. 4096 VPs /σύνδεση). Το αποτέλεσμα είναι φυσικά ο αριθμός των μονοπατιών που αποτυγχάνουν όταν συμβαίνει αποτυχία μιας υπηρεσίας να είναι μεγαλύτερος έναντι των αντίστοιχων STM δικτύων.

	Ψηφιακό Μονοπάτι (STM)	Λογικό μονοπάτι (ATM)
Restoration unit	Digital path (VC-3, VC-4)	Virtual path
Number of restoration layers	Multiple path layer	Single
Pre-establish backup path	Difficult (not effective)	Easy (zero bandwidth VP)
Built-in path OAM mechanism	Path overhead (POH)	OAM cell
Number of restoration paths	Smaller (less than 50 paths/link)	Can be large (less than 4096 paths/link)
Traffic type of path	None	Several (CBR, VBR, UBR, ABR, ABT, etc.)
Managed QOS parameters	Transmission delay, bit error	Bit error, cell transfer delay, CDV, cell loss/misinsertion, throughput (ABR) etc.
Bandwidth dimensioning scheme	Not required	Required (to handle multiple QOS parameter and traffic type)
Managed resources	Bandwidth (time slot)	Bandwidth, VPI number

Πίνακας 2. Σύγκριση της ανταπόκρισης του λογικού και του ψηφιακού μονοπατιού

Ένα επίσης νέο πρόβλημα στην αποκατάσταση δικτύων ATM είναι προσδιορισμός του εύρους ζώνης που απαιτείται για να προσαρμοστούν VPs σε μια σύνδεση (link). Προκειμένου να προσαρμοστεί η στατιστική κυκλοφορία (statistical traffic) του ATM (VBR, κ.ο.κ.) στη σύνδεση, με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service-QoS), απαιτείται ένας αλγόριθμος που εξετάζει τους τύπους κυκλοφορίας, το μέγεθος προσωρινών χώρων αποθήκευσης (buffers) στους κόμβους κ.λ.π. Προτείνεται εξάλλου και η ύπαρξη διαφορετικών προτεραιοτήτων στα εικονικά μονοπάτια για πιο απλή αποκατάσταση.[21], [25]

Επιπλέον, κατά την επαναδρομολόγηση (rerouting) των αποτυχημένων VPs, το κατάλληλο QoS, που μπορεί να διαφέρει σε κάθε VP, πρέπει να είναι εξασφαλισμένο. Παραδείγματος χάριν, ο αριθμός κόμβων διέλευσης (transit nodes) μπορεί να πρέπει να περιοριστεί για να εγγυηθεί την καθυστέρηση διέλευσης κυττάρων (cell transfer delay- CTD) και την απόκλιση καθυστέρησης κυττάρων (cell delay variation- CDV) [3].

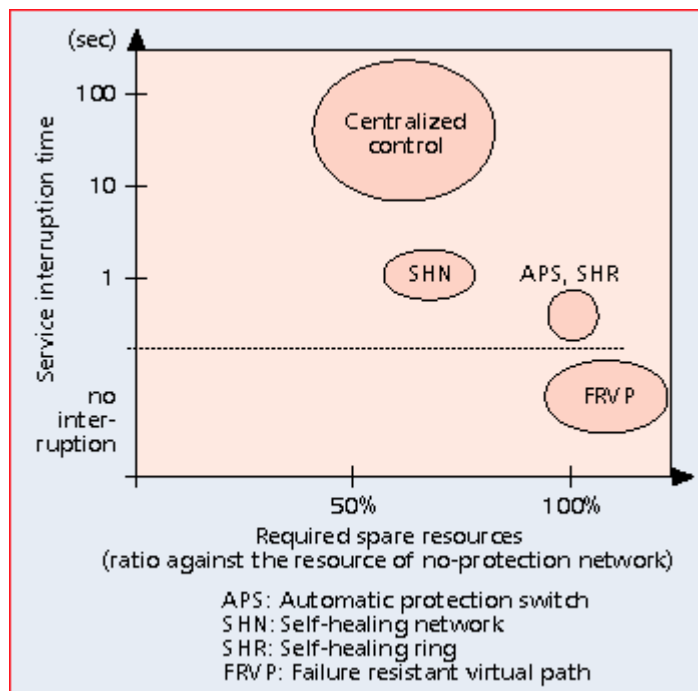
Ένα ακόμη πρόβλημα είναι διαχείριση του συντελεστή του λογικού μονοπατιού (Virtual Path Identifier – VPI). Όταν τα εύρη ζώνης όλων των VPs που διέρχονται από την ίδια σύνδεση (link) είναι μικρά, ο αριθμός των VPI μπορεί να εξαντληθεί, καθώς ο αριθμός VPI είναι ένας πόρος του δικτύου και περιορίζεται σε 4096 ανά σύνδεση (link).

Όλα αυτά τα προβλήματα περιπλέκουν τις διαδικασίες αποκατάστασης στα δίκτυα του ATM, με αποτέλεσμα η τελευταία να γίνεται αργή. Τα χαρακτηριστικά των VPs είναι ουσιαστικά για την αποδοτική αποκατάσταση των δικτύων του ATM. Επομένως, τα προβλήματα που αναστέλλουν την ταχύτητα αποκατάστασης πρέπει να αντιμετωπιστούν δραστικά. [19]

Το REFORM ερευνητικό έργο (REFORM project) που είχε στόχο την εφαρμογή ενός αξιόπιστου συστήματος που προσφέρει ATM, πολλών κατηγοριών υπηρεσιών μεταγωγής δίνει ιδιαίτερη σημασία στην εξασφάλιση της λειτουργίας οποιασδήποτε υπηρεσίας και σε καταστάσεις αποτυχίας. [30]

2.4 Σχέδια (Schemes) αποκατάστασης στα ATM δίκτυα

Τα περισσότερα σχέδια αποκατάστασης στα ATM δίκτυα προήλθαν και αναπτύχθηκαν από εκείνα των συμβατικών δικτύων (π.χ. SDH). Τα υπάρχοντα και πρωτότυπα (prototypes) σχέδια για τα δίκτυα ATM περιλαμβάνουν τον κεντρικό έλεγχο μεταγωγής (centralized control switching), το



Σχήμα 4 – Σχέδια αποκατάστασης ATM δικτύου

“αυτοθεραπευόμενο” δίκτυο (Self-Healing Network – SHN), τη μεταγωγή αυτόματης προστασίας (Automatic Protection Switch – APS) και το “αυτοθεραπευόμενο” δακτύλιο (Self-Healing Ring – SHR).

Έναντι αυτών των σχεδίων, το “ανθεκτικό στην αποτυχία λογικό μονοπάτι” (Failure Resistant Virtual Path – FRVP) πραγματοποιεί την αποκατάσταση αποτυχίας χωρίς τη διακοπή υπηρεσιών. Αυτό είναι λογικό αφού ο χρόνος αποκατάστασης, που είναι ένα μέτρο της αξιοπιστίας, πρέπει να ανταλλάχτει με εφεδρικούς πόρους (spare resources) σε ένα δίκτυο. Οι λεπτομέρειες κάθε σχεδίου θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Το σχήμα 4 εμφανίζει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας αποκατάστασης, που είναι ένας από τους παράγοντες αξιοπιστίας ενός δικτύου, και των εφεδρικών πόρων (spare resources), που είναι ένας από τους παράγοντες κόστους. Και οι δυο αυτοί παράγοντες είναι κρίσιμοι για την αξιολόγηση των τεχνικών που αποσκοπούν στην αξιοπιστία των δικτύων. **Οι απαραίτητοι εφεδρικοί πόροι (spare resource) είναι ο λόγος της απαραίτητης διαθέσιμης χωρητικότητας (spare capacity) προς τη χωρητικότητα που απαιτείται από το βασικό δίκτυο χωρίς προστασία.**

Οι περιοχές του κάθε σχεδίου αποκατάστασης σε αυτήν την γραφική παράσταση σχεδιάστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές συνθήκες. Επομένως, διαφαίνεται μόνο η γενική τάση και κάθε περιοχή μπορεί να αλλάξει σε κάθε περίπτωση σύμφωνα με τις ιδιαίτερες κάθε φορά συνθήκες (π.χ. τοπολογία δικτύων, κλίμακα, κ.λ.π.).

2.5 Centralized Control Switching Σχέδιο

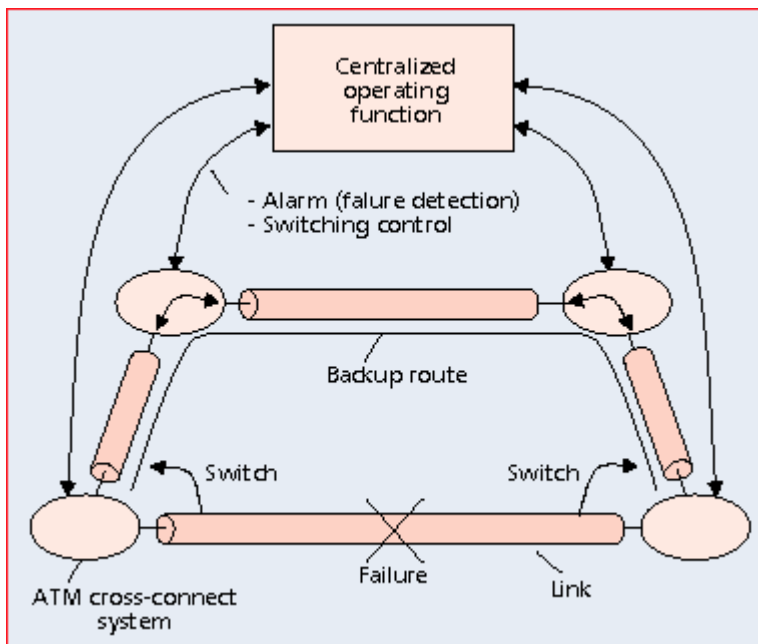
Το Centralized Control Switching σχέδιο χρησιμοποιεί ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης για να εκτελέσει τις λειτουργίες αποκατάστασης. Οι λειτουργίες αυτές είναι η *ανίχνευση αποτυχίας (failure detection)*, η *επιλογή εναλλακτικών διαδρομών (selection of alternate routes)* και η *δημιουργία μονοπατιών*. Παραδείγματα αυτού του σχεδίου είναι τα FASTAR (AT&T) και SUCCESS (NTT).

Ο βασικός μηχανισμός του σχεδίου κεντρικού ελέγχου των συμβατικών δικτύων μπορεί να εφαρμοστεί επίσης στα δίκτυα του ATM με μόνο ελάχιστες αλλαγές και αναπαρίσταται γραφικά στο σχήμα 5. 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 εφεδρικούς πόρους αποτελεσματικά και να περιορίσει τους πόρους του δικτύου που απαιτούνται σε σύγκριση με την περίπτωση που έχουμε κατανεμημένο έλεγχο.

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 και η συγκέντρωση του φορτίου επεξεργασίας στο κεντρικό ελεγκτή.

Συνεπώς μπορεί να είναι δύσκολο με αυτό το σχέδιο να επιτευχθεί η επιθυμητή αποκατάσταση μέσα σε δύο δευτερόλεπτα. Επιπροσθέτως 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).



Σχήμα 5 – Σχήμα αποκατάστασης κεντρικού ελέγχου

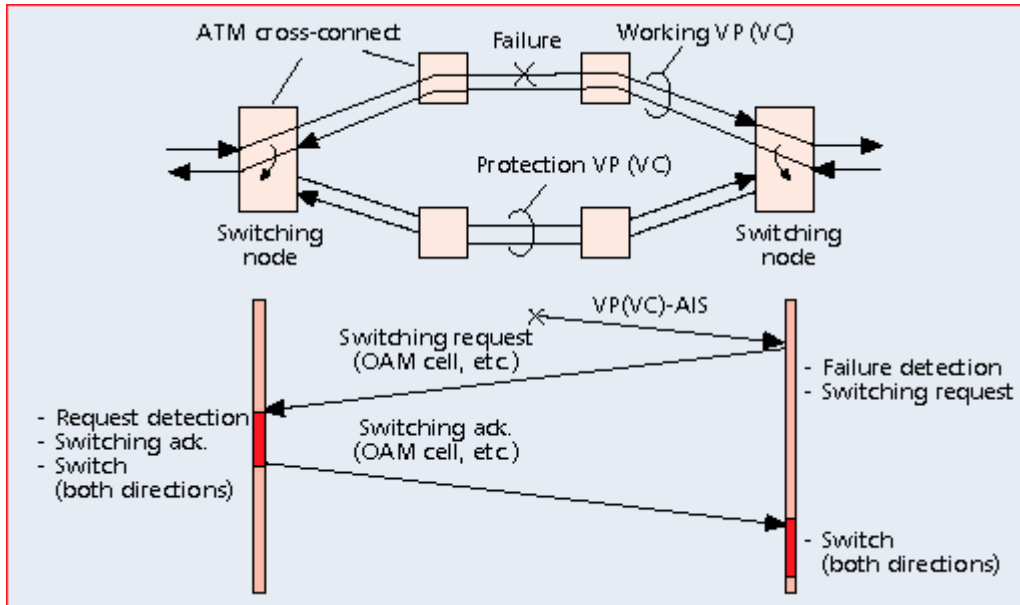
Έτσι δραστικές βελτιώσεις στην ταχύτητα αποκατάστασης μπορεί να μην είναι εφικτές με την προσέγγιση αυτή. Γι' αυτό το σχήμα κεντρικού ελέγχου αν και δεν ικανοποιεί την απαίτηση της μεγάλης ταχύτητας αποκατάστασης, είναι παρόλα αυτά αποτελεσματικό όταν δεν μπορεί να αποκαταστήσει το κατανεμημένο σχέδιο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

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

Το APS είναι ο δημοφιλέστερος και απλούστερος μηχανισμός αποκατάστασης που χρησιμοποιεί κατανεμημένο έλεγχο. Στηρίζεται πάνω σε έναν αριθμό από ενεργές συνδέσεις (working links-channel / path/ section κ.λ.π.) καθώς και σε ένα αριθμό από εφεδρικές συνδέσεις (backup links). Η κυκλοφορία μεταφέρεται από την ενεργή σύνδεση που απέτυχε σε κάποια προκαθορισμένη εφεδρική σύνδεση.

Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να εφαρμοστεί στα δίκτυα του ATM χρησιμοποιώντας τα VPs ή VCs ως συνδέσεις. Τα σχέδια του APS είναι ταξινομημένα σε τρεις τύπους. Το σχήμα 6 εμφανίζει σχέδιο τύπου 1:1 APS.

1 + 1 APS: Το σχέδιο βασίζεται στην αντιστοιχία μιας ενεργής σύνδεσης σε 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.



Σχήμα 6 - Σχήμα VP (VC)-APS

1:1 APS: Σε αυτή την περίπτωση, επίσης κάθε ενεργή σύνδεση αντιστοιχίζεται σε μια εφεδρική σύνδεση, αλλά τα σήματα δεν μεταδίδονται στην εφεδρική σύνδεση εκτός αν μια αποτυχία λάβει χώρα ("·" σημαίνει τη μη παράλληλη μετάδοση) (σχήμα 6).

Επομένως, όταν τίθεται εκτός λειτουργίας μια ενεργή σύνδεση και ο κόμβος δέκτης 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 άρα μια εφεδρική σύνδεση μπορεί να μοιραστεί από διάφορες ενεργές.

Στα ATM δίκτυα όλοι οι APS μηχανισμοί μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε VP είτε VC επίπεδο. 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 (traffic) 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) (βλ. σχήμα 4), επειδή δε μοιράζεται (ή μοιράζεται σε χαμηλό βαθμό) τους πόρους.

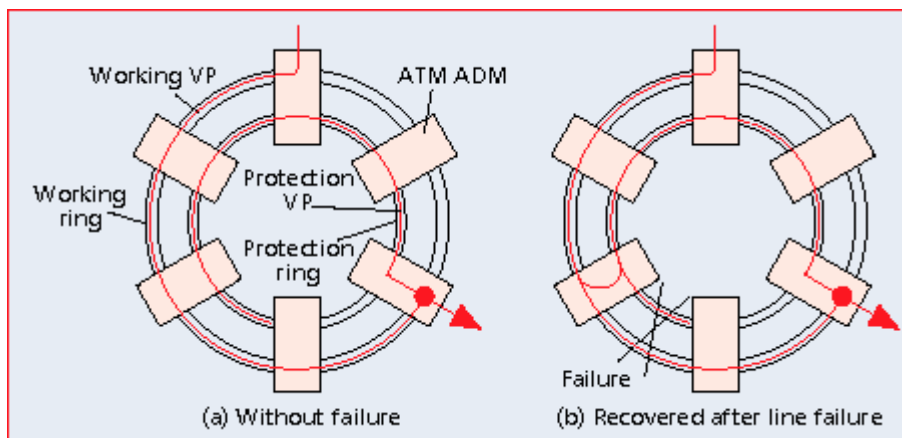
Παρόλα αυτά προσφέρει ως "αντάλλαγμα" πολύ μεγάλη ταχύτητα στην αποκατάσταση του δικτύου και έτσι χρησιμοποιείται για υπηρεσίες που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία. Επιπλέον χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ATM δικτύων διαφορετικών προμηθευτών ως στάνταρ σχέδιο αποκατάστασης λόγω της απλότητας του.

2.7 Σχέδιο Self-Healing Ring (SHR)

Το SHR (“αυτοθεραπευόμενος” δακτύλιος) είναι 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. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεγάλη ταχύτητα στην 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 η εφαρμογή του SHR μπορεί να μειώσει το κόστος σε πολλές περιπτώσεις. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι το SHR μπορεί να μειώσει τον αριθμό διεπαφών της γραμμής (line interfaces) και του μήκους της ίνας που απαιτείται. Ένα άλλο πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό SHR είναι η απλότητά του όσον αφορά τη διαχείριση του δακτυλίου, η οποία προφανώς ελαττώνει το κόστος διαχείρισης.

Το σχέδιο SHR έχει προταθεί επίσης και για το ATM (βλ. σχήμα 7), αλλά δεν είναι σαφές εάν προσφέρει κάποιο σοβαρό πλεονέκτημα έναντι του APS σχεδίου. Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να αγνοήσουμε την αξιόπιστη λειτουργία μεταγωγής (hitless switching function) που προσφέρει το σχέδιο SHR στο ATM.



Σχήμα 7 - ATM self-healing ring

2.8 Σχέδιο Self-Healing Network (SHN)

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

Ήδη από περίπου το 1992, το SHN επίπεδο του ATM έχει μελετηθεί, και πολλά σχέδια βασισμένα στα χαρακτηριστικά του ATM έχουν προταθεί. Οι αλγόριθμοι SHN για ATM είναι ταξινομημένοι σε δύο σχέδια από την άποψη του χρόνου απόφασης εναλλακτικής διαδρομής.

Ο πρώτος ονομάζεται δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο (Dynamic Planned SHN Scheme) και είναι μια επέκταση των αλγορίθμων SHN για συμβατικά δίκτυα. Ο δεύτερος αλγόριθμος είναι το προκαθορισμένο SHN σχέδιο (Preplanned SHN scheme) που είναι μοναδικό στο ATM.

Δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο. Το συγκεκριμένο σχέδιο αναζητά, αποφασίζει, και παράγει την εναλλακτική διαδρομή δυναμικά μετά αποτυχία. Χρησιμοποιείται συνήθως 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 το μηχανισμό του *message flooding* για να εντοπίσουν τις διαδρομές εκείνες μέσω των οποίων μπορούν να παρακάμψουν τις αποτυχημένες διαδρομές.

Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός μηνυμάτων που παράγονται και να βελτιωθεί η ταχύτητα αποκατάστασης, μερικοί αλγόριθμοι περιορίζουν τη μετάδοση χρησιμοποιώντας ένα όριο. Όταν η καθορίζεται η εναλλακτική στη συνέχεια χρησιμοποιείται από τους κόμβους του δικτύου. Διάφορα σχέδια έχουν προταθεί για την επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής διαδρομής από τις πιθανές υποηφίες. [9]

Το δυναμικά προγραμματισμένο SHN σχέδιο χρησιμοποιείται στα συμβατικά δίκτυα και μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στα ATM δίκτυα με τις μικρές αλλαγές. [4]

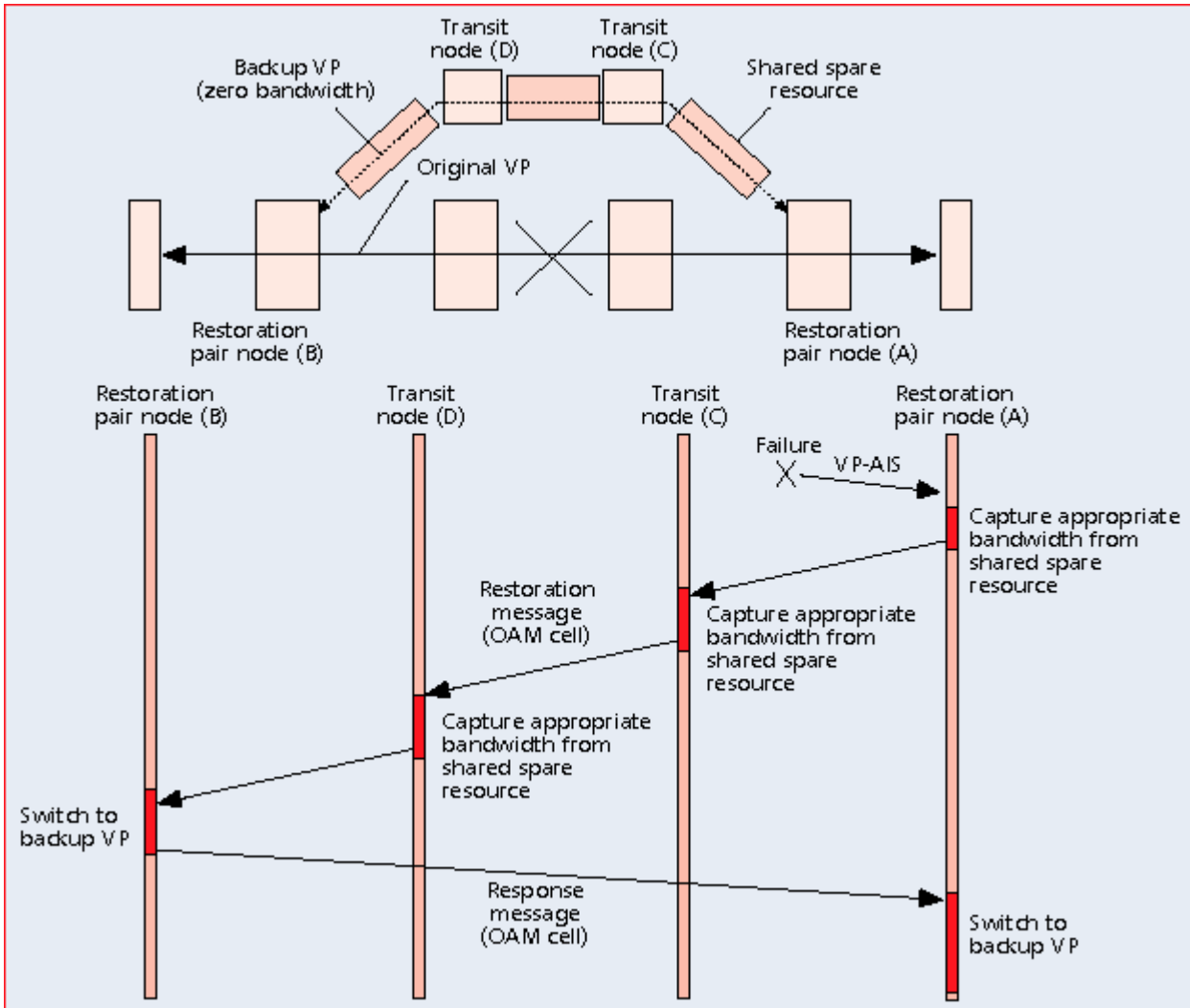
Προκαθορισμένο SHN σχέδιο. Το προκαθορισμένο SHN σχέδιο προκαθορίζει τη βέλτιστη εναλλακτική διαδρομή στη φάση σχεδιασμού του δικτύου, και σχετίζει ένα εφεδρικό VP (backup Virtual Path) σε κάθε VP προτού να εμφανιστεί η αποτυχία (σχήμα 8).

Το δυναμικά προγραμματισμένο σχέδιο εντοπίζει όπως είδαμε παραπάνω τις διαδρομές αποκατάστασης με το message flooding αφού 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 αποτυχία στο δίκτυο. Ο στόχος είναι γρήγορη και αξιόπιστη αποκατάσταση.

Αυτό είναι δυνατό με την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων των VPs. Το εύρος ζώνης ενός εφεδρικού VP (backup virtual path) τίθεται στο μηδέν και έτσι διαμοιράζονται οι εφεδρικοί πόροι (spare resources) κάθε σύνδεσης (link) στα εφεδρικά VPs της σύνδεσης. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι που επιλέγουν, αρχικοποιούν και διαμοιράζουν το εφεδρικό μονοπάτι και μπορεί να θέτουν το εύρος ζώνης και μεγαλύτερο του μηδενός. Στόχος πάντα είναι η βελτίωση της ταχύτητας αποκατάστασης στο μικρότερο κόστος. [6], [7], [8]

Η αποκατάσταση του μονοπατιού πραγματοποιείται με τη δέσμευση εύρους ζώνης του εφεδρικού VP από τους διαμοιραζόμενους εφεδρικούς πόρους (spare resources) για κάθε σύνδεση. Η δομή αυτού του σχεδίου είναι παρόμοια με την 1:1 APS δομή. Εντούτοις αυτό το σχέδιο μπορεί να διαμοιράσει τους εφεδρικούς πόρους (spare resources) ενώ το 1:1 APS δεν μπορεί.

Σύγκριση του δυναμικά προγραμματισμένου και του προκαθορισμένου SHN σχεδίου. Υπάρχουν αρκετές διαφορές όπως φαίνεται μεταξύ των δύο σχεδίων όπου περιγράφηκαν προηγούμενα.. Τα αρχικά πλεονεκτήματα του προκαθορισμένου SHN σχεδίου έναντι του δυναμικά προγραμματισμένο σχεδίου είναι η ταχύτητα αποκατάστασης και η πραγματοποίηση της αποκατάστασης μονοπατιών μεταξύ των κόμβων τερματισμού του μονοπατιού.



Σχήμα 8 - Προκαθορισμένο SHN σχέδιο (backup VP-based)

Το δυναμικά προγραμματισμένο SHN διαβιβάζει επαναλλειπτικά τα μηνύματα μεταξύ του ζευγαριού των κόμβων αποκατάστασης για να εντοπίσει τις εναλλακτικές διαδρομές, να εγκαταστήσει τα μονοπάτια, κ.ο.κ.. Ειδικότερα η διαδικασία αναζήτησης της εναλλακτικής διαδρομής (flooding) παράγει πάρα πολλά μηνύματα (broadcasting). Η διαδικασία είναι σχετικά απλή και συνήθως δεν ξεπερνά το όριο του χρόνου των δυο δευτερολέπτων για την αποκατάσταση της λειτουργίας στο δίκτυο.

Το προκαθορισμένο SHN από την άλλη πλευρά μπορεί να ολοκληρώσει την αποκατάσταση με τη διαβίβαση των μηνυμάτων κατά μήκος κάθε προκαθορισμένου εφεδρικού VP. Αυτή η απλοποίηση της διαδικασίας μετάδοσης μηνυμάτων και ο μειωμένος αριθμός μηνυμάτων πραγματοποιούν τις πολύ υψηλότερες ταχύτητες αποκατάστασης σε σχέση με το δυναμικά προγραμματισμένο SHN. Κάνει εξάλλου καλύτερη χρήση των εφεδρικών πόρων του δικτύου (spare resources) αφού απαιτεί λιγότερη διαθέσιμη χωρητικότητα (spare capacity) για το ίδιο αποτέλεσμα αποκατάστασης με το δυναμικά προγραμματισμένο αλγόριθμο.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα του προκαθορισμένου SHN σχεδίου είναι η πραγματοποίηση της αποκατάστασης μονοπατιών μεταξύ των κόμβων τερματισμού του μονοπατιού. Στους

περισσότερους δυναμικά προγραμματισμένους SHN αλγόριθμους, το ζευγάρι των κόμβων αποκατάστασης περιορίζεται σε εκείνους που τερματίζουν την αποτυχημένη σύνδεση.[12],[29]

Ο λόγος είναι ότι ο αριθμός των μηνυμάτων αποκατάστασης που εκπέμπονται αυξάνει εκθετικά με τον αριθμό συνδέσεων μεταξύ του ζευγαριού των κόμβων αποκατάστασης. Επιπλέον ένας μεγάλος αριθμός ζευγαριών κόμβων παράγεται από μια μόνη αποτυχία σύνδεσης/κόμβου. Αυτή η έκρηξη μηνυμάτων μπορεί μοιραία να επιβραδύνει τη διαδικασία αποκατάστασης. Εξάλλου οι διαδικασίες αποκατάστασης ανταγωνίζονται η μια με την άλλη για να δεσμεύσουν την διαθέσιμη χωρητικότητα (spare capacity) και οι διαμάχες πρέπει να επιλυθούν.

Από την άλλη, ο προκαθορισμένος SHN αλγόριθμος επιτρέπει σε πολλά ζευγάρια κόμβων να αποκατασταθούν ταυτόχρονα διότι μόνο ένα μήνυμα παράγεται ανά ζευγάρι και επιπλέον δεν ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Η μείωση των εφεδρικών πόρων που απαιτούνται είναι δεδομένη καθώς η διαδρομή αποκατάστασης εγκαθίσταται αποτελεσματικότερα.

	Δυναμικά Προγραμματισμένο Σχέδιο (SHN scheme -flooding based)	Προκαθορισμένο SHN Σχέδιο (backup VP based)
Restoration rapidity	Slow (route searching)	Fast
Algorithm and message transmission protocol	Complex	Simple
Number of generated messages	Large	Small
Restoration segment	Between link terminator (difficult to restore between path terminator)	Between link terminator (any node along the path)
Required spare resource	Large	Small
Node failure restoration	Difficult	Easy (except failure of restoration pair node)
Support of process identification and interruption	Difficult	Easy
Backup path management	Not required (only at failure occurrence)	Required
Spare resource management	Necessary if high ratio of restoration needed	Proper management of spare resource on the backup route is necessary
Flexibility against multiple or unforeseeable failures	High	Low

Πίνακας 3. Σύγκριση του δυναμικά προγραμματισμένου και του προκαθορισμένου SHN σχεδίου

Πρέπει βέβαια να τονίσουμε ότι εκτός από τα πλεονεκτήματά του το προκαθορισμένο SHN σχέδιο χαρακτηρίζεται και από κάποια επιβάρυνση (overhead). Έτσι χρειάζεται διαχείριση (management) τόσο για τα ενεργά όσο και για τα εφεδρικά VPs (backup VPs) ενώ στα δυναμικά σχέδια κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο μόνο αφού συμβεί κάποια αποτυχία στο δίκτυο.

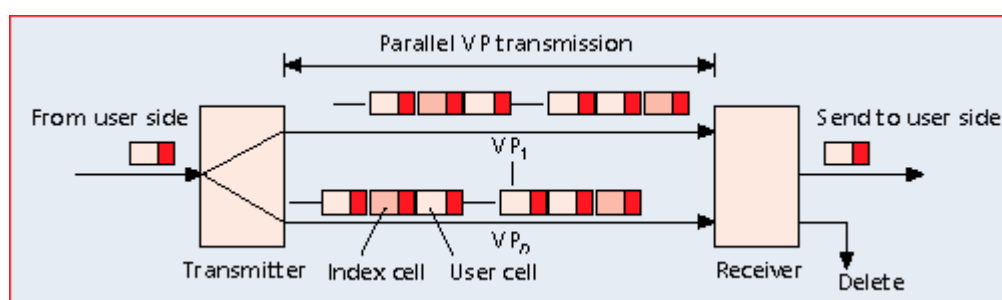
Επιπλέον η ευελιξία ενάντια στις πολλαπλές ή απροσδόκητες αποτυχίες είναι χαμηλότερη δεδομένου ότι μόνο οι προκαθορισμένες εφεδρικές διαδρομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτές οι περιπτώσεις απροσδόκητων αποτυχιών υπάρχουν δυο πιθανές προσεγγίσεις. Στην πρώτη η εναπομένουσα κυκλοφορία (traffic) που δεν μπορεί να αποκατασταθεί από το προκαθορισμένο σχέδιο, αποκαθίσταται από το κέντρο διαχείρισης του δικτύου (κεντρικός έλεγχος). Ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι flooding για να αποκατασταθεί η εναπομένουσα κυκλοφορία.[6], [19]

2.9 Failure Resistant Virtual Path – FRVP

Το FRVP σχέδιο προσφέρει μεγάλη αξιοπιστία αφού επιτυγχάνει την ελεύθερη από σφάλματα μετάδοση (failure free transmission) ακόμη και υπό συνθήκες αποτυχίας δικτύου. Αυτό το σχέδιο εκμεταλεύεται τα χαρακτηριστικά του ATM κατά τρόπο θετικό, παραδείγματος χάριν, επιτρέπει το cell jitter μέσα σε κάποια όρια.

Ο βασικός μηχανισμός FRVP - παράλληλη μετάδοση - είναι πολύ απλός (σχήμα 9). Το FRVP αποτελείται από μια συσκευή αποστολής σημάτων (transmitter), το δέκτη (receiver) και διάφορα VPs (virtual paths) που εγκαθιστούν πολλαπλές διαδρομές μετάδοσης μεταξύ του πομπού 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.



Σχήμα 9- FRVP concept

Ο δέκτης επιλέγει πάντα τα κύτταρα χωρίς σφάλματα και τα στέλνει στους χρήστες. Επομένως εάν το επίπεδο πλεονασμού του FRVP είναι περισσότερο από δύο, καμιά διακοπή ή σφάλμα σήματος δεν λαμβάνει χώρα σε μια αποτυχία ενός VP, εάν τουλάχιστον ένα VP παραμένει ενεργό.

Τα καθορισμένα VPs συνιστούν απολύτως ανεξάρτητες διαδρομές για να αποφευχθεί το να τεθούν εκτός λειτουργίας πολλαπλά VPs μετά από μια αποτυχία στο δίκτυο. Προκειμένου να προσδιοριστεί η σειρά των κυττάρων που φτάνουν στο δέκτη και να ανιχνευθούν τα σφάλματα στο ρεύμα κυττάρων (π.χ. απώλεια κυττάρων και σφάλμα δυαδικών ψηφίων), παρεμβάλλονται από τη συσκευή αποστολής σημάτων ανάμεσα στα κύτταρα δεδομένων τα κύτταρα δείκτες (index cells).

Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές εφαρμογές της λειτουργίας FRVP στα δίκτυα ATM. Η μία είναι end-to-end υπηρεσία προστασίας VP. Το FRVP ενεργεί σε έναν κόμβο. Η άλλη είναι μια

εφαρμογή που τρέχει μέσα στο δίκτυο. Το FRVP εφαρμόζεται στα στοιχεία του δικτύου για να βελτιώσει την αξιοπιστία.

Στο σχέδιο FRVP το επίπεδο πλεονασμού μπορεί να καθοριστεί ελεύθερα αλλά πρέπει να είναι μεγαλύτερο από δύο. Αυτή η τιμή είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στον καθορισμό της ικανότητας επιβίωσης και του πλεονασμού του σχεδίου FRVP. Το FRVP πραγματοποιεί την ελεύθερη σφαλμάτων μετάδοση χρησιμοποιώντας σχεδόν τους ίδιους εφεδρικούς πόρους με το 1:1 ή 1 + 1 APS σχέδιο, εάν ο πλεονασμός είναι δύο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΠΟΡΟΙ (SPARE RESOURCES)

3.1 Σχεδιασμός Δικτύου

Είναι γεγονός ότι για να επιτύχουμε κάποια επαρκή πιθανότητα αποκατάστασης με τους λιγότερους κατά το δυνατό εφεδρικούς πόρους, είναι απαραίτητος ο σωστός σχεδιασμός του δικτύου. Οι μεθοδολογίες σχεδιασμού δικτύων που προτείνονται για την αποκατάσταση συμβατικών δικτύων μπορούν να εφαρμοστούν και στα ATM δίκτυα με μερικές μικρές μόνο αλλαγές.

Η διαφορά είναι ότι η ιεραρχία των μονοπατιών είναι επίπεδη και το εύρος ζώνης των VP δεν περιορίζεται από κάποια ιεραρχία. Ο γραμμικός προγραμματισμός, οι ευρετικοί αλγόριθμοι (heuristic algorithms), και οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μερικές δημοφιλείς τεχνικές με τις οποίες μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε τη διαδικασία καθορισμού σχεδίου αποκατάστασης δικτύων. Στην πραγματικότητα, πολλά σχέδια έχουν προταθεί για την αποκατάσταση ATM δικτύων, ιδιαίτερα σχέδια προκαθορισμένου SHN.

Βασικά, πρέπει να σχεδιάσουμε όλα τα στρώματα μετάδοσης (transmission layers) συμπεριλαμβανομένης της γεωγραφικής τοπολογίας διαδρομών (geographical route topology), έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί το σχέδιο αποκατάστασης για ένα δίκτυο. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες μελέτες για το σχεδιασμό της προστασίας των δικτύων υποθέτουν ότι η γεωγραφική τοπολογία διαδρομών είναι μια δεδομένη παράμετρος, και ασχολούνται με τα υψηλότερα στρώματα (layers) από το στρώμα γεωγραφικών διαδρομών (geographical route layer). Αυτό είναι μια λογική υπόθεση επειδή η τροποποίηση της γεωγραφικής τοπολογίας διαδρομών είναι εξαιρετικά δύσκολη και ακριβή.

Μια τυπική διαδικασία σχεδιασμού ATM δικτύου είναι η ακόλουθη:

Παράμετροι που δίνονται:

- End-to-end απαιτήσεις (End-to-end demand- demand matrix)
- Αναμενόμενες περιπτώσεις αποτυχίας (π.χ. απλή σύνδεση/ αποτυχία κόμβου)
- Επαρκής πιθανότητα αποκατάστασης έναντι στις αναμενόμενες περιπτώσεις αποτυχίας
- Παράμετροι κόστους
- Γεωγραφική τοπολογία διαδρομών (geographical route topology)

Βήμα 1: Σχεδίαση του στρώματος ATM (ATM layer-VP) (λαμβάνοντας υπόψη το σχέδιο αποκατάστασης που εφαρμόζεται)

Βήμα 2: Αντιστοίχιση του ATM στρώματος (ATM layer) στο STM στρώμα (STM layer)

Βήμα 3: Αντιστοίχιση του SDH στρώματος στο στρώμα ινών (fiber layer) (λαμβάνοντας υπόψη τη γεωγραφική τοπολογία).

Οι τυπικές παράμετροι του ATM στρώματος για τα τέσσερα σχέδια που παρουσιάστηκαν παρατίθενται παρακάτω ως εξής:

APS: Ενεργή και εφεδρική VP διαδρομή (working and backup route).

SHR: Τοπολογία δακτυλίου (Ring topology - working and backup route).

SHN: Ενεργή και εφεδρική VP διαδρομή (working and backup route), εφεδρικοί πόροι (spare resources) σε κάθε σύνδεση.

FRVP: Παράλληλες VP διαδρομές.

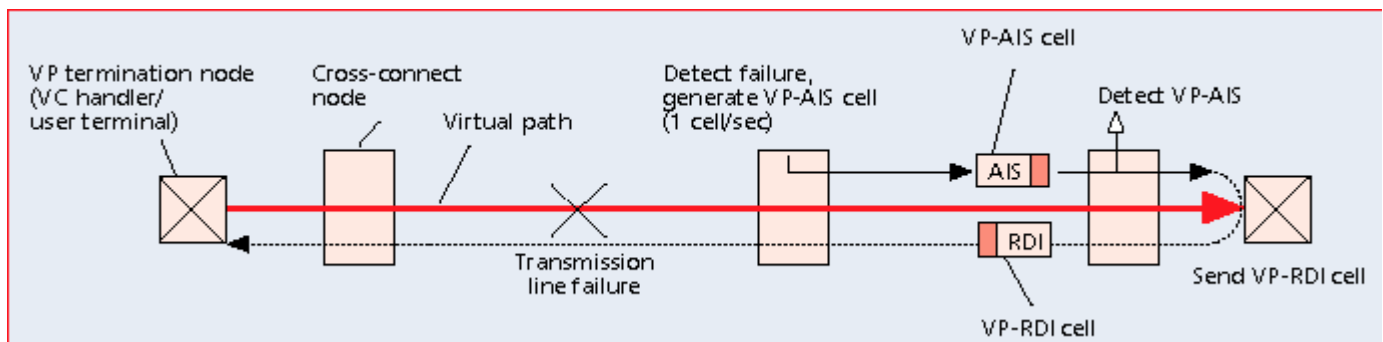
Στο SHN σχέδιο δικτύων, οι ίδιοι αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε δύο περιπτώσεις (δυναμικά προγραμματισμένο και προκαθορισμένο σχέδιο). Το προκαθορισμένο σχέδιο μπορεί να εγγυηθεί τη χρήση της (σχεδιασμένης) βέλτιστης διαδρομής και έτσι μπορεί να εγγυηθεί την αναμενόμενη αναλογία αποκατάστασης (restoration ratio) (π.χ. πλήρης αποκατάσταση στην αναμενόμενη αποτυχία).

Από την άλλη πλευρά, μερικά δυναμικά προγραμματισμένα σχέδια είναι δυνατό να επιλέξουν μια μη-βέλτιστη διαδρομή. Κατά συνέπεια, δεν μπορούν να εγγυηθούν την αναλογία αποκατάστασης (restoration ratio).

Οι περισσότεροι συμβατικοί αλγόριθμοι θεωρούν την “μια και έξω” κατασκευή του δικτύου. Αντίθετα στα πραγματικά δίκτυα, αλλαγές γίνονται καθημερινά και απεικονίζουν τις αλλαγές σε ζήτηση. Επομένως, πρέπει να εξετάσουμε τις πραγματικές συνθήκες όταν ξεκινήσουμε το σχεδιασμό ενός δικτύου.

3.2 Μηχανισμός ανίχνευσης αποτυχίας (Switching Trigger)

Ένα ισχυρό σχέδιο διαχείρισης της αποτυχίας σε ένα δίκτυο έχει προταθεί για το στρώμα VP (VP layer), που χρησιμοποιεί τα κύτταρα OAM (Operation Administration and Maintenance cell mechanism). Το σχήμα 10 παρουσιάζει αυτόν τον μηχανισμό. Τα κύτταρα VP-AIS παράγονται και διαβιβάζονται αμέσως μόλις παρατηρηθεί ένδειξη κάποιας ατέλειας. Στην πραγματικότητα μεταδίδονται περιοδικά (ανά ένα δευτερόλεπτο) σε όλη τη διάρκεια της ύπαρξης της ατέλειας προκειμένου να υποδειχθεί διακοπή της ικανότητας μεταφοράς κυττάρων στο επίπεδο VP.



Σχήμα 10 – Μηχανισμός μετάδοσης συναγερμού στο VP επίπεδο

Ένα κύτταρο VP-RDI στέλνεται από άκρη σε άκρη από ένα VP σημείο τερματισμού (termination point) μόλις διαγνωστεί κατάσταση VP-AIS. Επομένως οι cross-connect κόμβοι κατά μήκος του αποτυχημένου VP μπορούν να ανιχνεύσουν την αποτυχία πολύ γρήγορα. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει το σχέδιο αποκατάστασης δικτύων του ATM να εξασφαλίσει την αποκατάσταση πολύ γρήγορα.

3.3 Τυπικά προβλήματα στην αποκατάσταση ATM δικτύου

Μερικά συστήματα αποκατάστασης έχουν κατασκευαστεί ήδη ως πρωτότυπα (prototypes), αλλά παρόλα αυτά υπάρχουν και πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφορα προβλήματα. Ειδικότερα ορισμένα προβλήματα παραμένουν για το SHN, επειδή οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν κυρίως στους αλγορίθμους αποκατάστασης. Τα περισσότερα εξάλλου προβλήματα είναι κοινά τόσο για την αποκατάσταση δικτύων STM όσο και ATM.

Το ATM επίπεδο (ATM layer) επικάθεται στο SDH επίπεδο (SDH layer). Επιπλέον το WDM επίπεδο ή photonic network layer σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη είναι χαμηλότερο επίπεδο από το SDH. Επίσης το πρωτόκολλο IP γίνεται κυρίαρχο στο επίπεδο δικτύων. Επομένως τα δίκτυα του μέλλοντος μπορεί να εξελιχθούν σε τεσσάρων επιπέδων δίκτυα (IP/ATM/SDH(SONET)/WDM).[13]

Οι αρχιτεκτονικές αποκατάστασης για κάθε επίπεδο έχουν μελετηθεί χωριστά. Παρόλα αυτά πρέπει να αναπτυχθεί μια βέλτιστη αρχιτεκτονική αποκατάστασης ή λειτουργία διανομής θεωρώντας συνολικά το διαστρωματωμένο δίκτυο προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ικανότητα επιβίωσης με το ελάχιστο κόστος. Εάν τα συστήματα αποκατάστασης εφαρμόζονται σε όλα τα στρώματα ανεξάρτητα, η δομή και οι πόροι του δικτύου σπαταλούνται και η σχέση αποτελεσματικότητα -κόστος είναι ανέφικτη.

Η απλούστερη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί το σύστημα αποκατάστασης μόνο ενός επιπέδου (layer). Υπάρχουν διάφορες ανταλλαγές μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου επιπέδου αποκατάστασης όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Είναι ανάγκη να λάβουμε υπόψη αυτά τα χαρακτηριστικά ώστε να επιλέξουμε το καταλληλότερο επίπεδο.

	Higher layer protection		Lower layer protection	
	IP	ATM	SDH/SONET	WDM
Resource utilization	Effective		Not effective	
Restorability	Higher		Lower	
Controlability (multi-reliability)	Higher		Lower	
Restoration speed	Slower		Faster	
Number of entities to be resored (e.g., VP)	Larger		Smaller	

Σχήμα 11 – Χαρακτηριστικά της προστασίας κάθε στρώματος

Μια άλλη λύση είναι η πολλαπλών επιπέδων αποκατάσταση που επιτυγχάνει την μη-περιττή χρησιμοποίηση των εφεδρικών πόρων συνδέοντας τα σχέδια αποκατάστασης κάθε επιπέδου. Αυτή η προσέγγιση καλείται "τεχνική κλιμάκωσης" (escalation technique). Οι τεχνικές κλιμάκωσης μπορούν να διακρίνονται σε κλιμάκωση επιπέδου (layer escalation), την κλιμάκωση υποδικτύων (subnetwork escalation) και την κλιμάκωση σχεδίου (scheme escalation). Για προβλήματα δικτύων που είναι σε επίπεδα (layered networks) μπορεί να εφαρμοστεί η κλιμάκωση επιπέδου. [5]

Layer Escalation - η κλιμάκωση επιπέδου είναι το πιο συνηθισμένο σχέδιο. Κάθε επίπεδο του δικτύου έχει το σύστημα αποκατάστασής του, και τα συστήματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να πραγματοποιήσουν την αποκατάσταση. Παραδείγματος χάριν, η αποκατάσταση δοκιμάζεται αρχικά στο χαμηλότερο επίπεδο (WDM). Εάν δεν μπορούν να αποκατασταθούν όλες οι αποτυχίες τότε αποκατάσταση υψηλότερου επιπέδου προσπαθεί να τις εξαλείψει. Η αποκατάσταση δηλαδή προχωράει επίπεδο- επίπεδο, αρχίζοντας από το χαμηλότερο. Αυτό το σχέδιο ονομάζεται από κάτω- προς τα επάνω κλιμάκωση (bottom-up escalation). Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη εξοικονόμηση κόστους οι εφεδρικοί πόροι διαμοιράζονται μεταξύ των πολλαπλών επιπέδων.

Subnetwork Escalation - αυτό το σχέδιο ποικίλλει στην περιοχή αποκατάστασης. Κατ' αρχήν, η αποκατάσταση δοκιμάζεται σε μια περιορισμένη (μικρή) περιοχή. Παρόλα αυτά εάν δεν μπορούν όλες οι αποτυχίες να αποκατασταθούν σε αυτή την περιοχή, λόγω μιας έλλειψης εφεδρικών πόρων η περιοχή αποκατάστασης επεκτείνεται. Παραδείγματος χάριν η αποκατάσταση δοκιμάζεται αρχικά μεταξύ των κόμβων που συνδέονται άμεσα με την αποτυχημένη σύνδεση (link). Εάν αυτό αποτύχει, η αποκατάσταση δοκιμάζεται έπειτα μεταξύ των κόμβων λήξης του μονοπατιού (path). Η επέκταση της περιοχής αποκατάστασης επεκτείνει την αποτυχία σε έναν ευρύτερο τομέα του δικτύου αλλά μπορεί να βελτιώσει τη δυνατότητα αποκατάστασης του αποτυχημένου μονοπατιού.

Scheme Escalation - η κλιμάκωση σχεδίου αλλάζει το σχέδιο αποκατάστασης εάν το πρώτο σχέδιο δεν μπορεί να αποκαταστήσει όλες τις αποτυχίες. Παραδείγματος χάριν το προκαθορισμένο σχέδιο δοκιμάζεται πρώτα και το δυναμικό προγραμματισμένο σχέδιο δοκιμάζεται έπειτα εάν μερικές αποτυχίες παραμένουν.

3.4 Ικανότητα πολυεπίπεδης αξιοπιστίας (Multireliability)

Ένα θέμα κλειδί αποτελούν τα πολλαπλά επίπεδα αξιοπιστίας. Τα μελλοντικά δίκτυα θα υποστηρίξουν και θα ενσωματώσουν μια ευρεία ποικιλία υπηρεσιών και οι απαιτήσεις αξιοπιστίας θα ποικίλουν από υπηρεσία σε υπηρεσία. Από την άλλη πλευρά η αξιοπιστία (π.χ. ταχύτητα αποκατάστασης, πιθανότητα αποκατάστασης) που εξασφαλίζεται από τις τεχνικές αποκατάστασης περιλαμβάνει και μια ανταλλαγή δεδομένων που δημιουργεί πλεονασμό στο δίκτυο και επιδρά και στο κόστος των υπηρεσιών που παρέχονται.[23]

Κατά συνέπεια εφαρμογές όπως η τηλεϊατρική μπορεί να υποστούν πολύ υψηλό κόστος υπηρεσιών σε αντάλλαγμα για την εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία δικτύων που απαιτείται ενώ εφαρμογές όπως η ιδιωτική πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορούν να απαιτήσουν χαμηλού κόστους υπηρεσίες με χαμηλή αξιοπιστία. Φυσικά, και ενδιάμεσα επίπεδα αξιοπιστίας μπορούν επίσης να χρειαστούν. Επομένως διάφοροι βαθμοί αξιοπιστίας πρέπει να πραγματοποιηθούν και να ενσωματωθούν στα μελλοντικά δίκτυα προκειμένου να επιτευχθεί το κατάλληλο κόστος υπηρεσιών.

Η απλούστερη λύση για να πραγματοποιηθεί η πολυεπίπεδη αξιοπιστία είναι η ενσωμάτωση των διαφορετικών σχεδίων αποκατάστασης σε ένα ενιαίο δίκτυο. Παρόλα αυτά μπορούν να υπάρξουν αποτελεσματικότεροι μηχανισμοί που να πραγματοποιούν την πολυεπίπεδη αξιοπιστία με περισσότερες ουσιαστικές ικανότητες και μικρότερο κόστος. Πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι το κόστος τέτοιου πολλαπλού βαθμού αξιοπιστίας πρέπει να είναι χαμηλότερο από το κόστος του πιο αξιόπιστου σχεδίου. Τα προβλήματα με τις έννοιες της πολυ-διαθεσιμότητας- αξιοπιστίας των δικτύων αφορούν περισσότερο τη μελλοντική τους εξέλιξη.[30]

3.5 Συγχρονισμός κεντρικής και κατακεντρωμένης διαχείρισης

Ένα σημαντικό πρόβλημα αποτελεί ο συγχρονισμός του κεντρικού OS ελέγχου και των συστημάτων διαχείρισης κατακεντρωμένου ελέγχου. Ο κατακεντρωμένος έλεγχος είναι αποτελεσματικός για μερικές μόνο λειτουργίες ελέγχου δικτύων. Παραδείγματος χάριν ο σχεδιασμός δικτύων ή οι λειτουργίες ελέγχου διαχειριστών δικτύων πραγματοποιείται καλύτερα από το συμβατικό κεντρικό έλεγχο. Επομένως, τα σχέδια κατακεντρωμένου ελέγχου μαζί με εκείνα τα σχέδια κεντρικού ελέγχου θα συνυπάρχουν και είναι απαραίτητη η διαλειτουργικότητά τους.

Σε αυτό το περιβάλλον το σημαντικότερο πρόβλημα είναι να συγχρονιστούν οι κεντρικές και τοπικές βάσεις δεδομένων. Εάν αυτό δε γίνει σωστά πολλά προβλήματα μπορούν να εμφανιστούν. Έτσι το OS πρέπει με ακρίβεια να αναγνωρίσει τις διαμορφώσεις των δικτύων που προκύπτουν από οποιαδήποτε αναδιοργάνωση προκαλούμενη από την κατακεντρωμένη αποκατάσταση.

3.6 Κύκλος αποκατάστασης

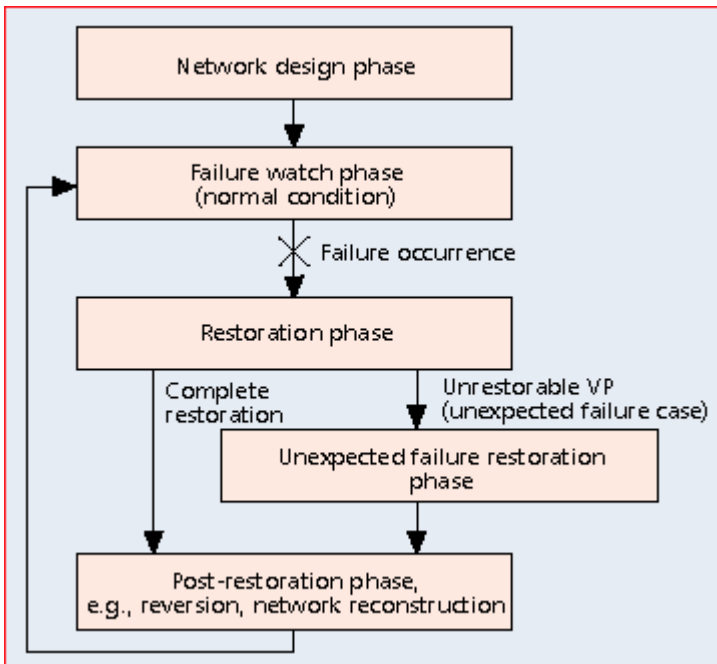
Εξάλλου ένα άλλο πρόβλημα εστιάζεται σε ένα πλήρες σενάριο ή έναν κύκλο για τη διαχείριση αποτυχίας. Οι περισσότερες μελέτες αποκατάστασης εστιάζουν κυρίως στους αλγόριθμους αποκατάστασης. Παρόλα αυτά οι διαδικασίες μετά από την αποκατάσταση και τα σχέδια που θα αντιμετωπίζουν τις απροσδόκητες αποτυχίες δεν έχουν συζητηθεί αρκετά.

Επίσης είναι σημαντικό να υλοποιήσουμε την αποδοτική χρησιμοποίηση δικτύων σε συνδυασμό με την υψηλή αξιοπιστία. Το σχήμα 12 παρουσιάζει τον τυπικό κύκλο διαχείρισης της αποτυχίας. Ειδικότερα οι διαδικασίες που υιοθετούνται μετά από μια αποκατάσταση είναι σημαντικές από την άποψη του χειρισμού των επόμενων αποτυχιών.[4], [20]

Στο APS (1:1 ή 1 + 1) και SHR, τα οποία δεν μοιράζονται τους εφεδρικούς πόρους, διαδικασίες μετά την αποκατάσταση δεν είναι πάντα απαραίτητες. Αφότου αποκαθίσταται η αποτυχημένη υπηρεσία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το εφεδρικό VP ως τη νέα ενεργή διαδρομή (working route) και το αρχικό VP ως το νέο εφεδρικό VP εάν το εφεδρικό VP ικανοποιεί την ποιότητα υπηρεσιών (π.χ., καθυστέρηση μετάδοσης) που έχουμε καθορίσει (quality of service).

Από την άλλη πλευρά, σε SHN ή m:n APS όπου διαμοιράζονται οι εφεδρικοί πόροι, διαδικασίες μετα-αποκατάστασης είναι απαραίτητες διότι τα δίκτυα δεν μπορούν να εγγυηθούν την

πλήρη αποκατάσταση απέναντι στην επόμενη αποτυχία αφότου εκτελεσθεί η πρώτη αποκατάσταση.



Σχήμα 12 – Κύκλος Διαχείρισης Αποτυχίας

Συγκεκριμένα οι εφεδρικοί πόροι μπορεί να γίνουν ανεπαρκείς σε μερικές συνδέσεις εάν εφεδρικά VPs χρησιμοποιούνται συνεχώς όπως τα ενεργά VPs. Αυτό είναι ένα κοινό πρόβλημα σε όλες τις αρχιτεκτονικές αποκατάστασης που στηρίζονται στο μοίρασμα των εφεδρικών πόρων. Το δυναμικά προγραμματισμένο SHN είναι σχετικά πιο συμπαγές από το προκαθορισμένο SHN απέναντι στις επόμενες ακόλουθες αποτυχίες επειδή μπορεί να βρεί τις διαδρομές δυναμικά. Παρόλα αυτά κάποια VPs να μην μπορούν να αποκατασταθούν λόγω της ανεπάρκειας των εφεδρικών πόρων.

Η επαναφορά όλων των αποκατεστημένων VPs στις αρχικές διαδρομές τους μετά την αποκατάσταση της αποτυχημένης υπηρεσίας είναι μια απλή εγγυημένη λύση, το δίκτυο επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Παρόλα αυτά η επαναφορά ενός κατελημμένου VP προκαλεί τη διακοπή υπηρεσιών στην κυκλοφορία. Επιπλέον δεν μπορεί να λάβει χώρα έως ότου έχει αποκατασταθεί η αποτυχία.

Στην προκαθορισμένου τύπου αποκατάσταση, μια άλλη διαδικασία μετα-αποκατάστασης που βελτιώνει τη δυνατότητα αποκατάστασης είναι η αναδημιουργία των εφεδρικών VP του δικτύου. Η διαδικασία αναδημιουργίας εφεδρικών VP ξαναφτιάχνει το εφεδρικό δίκτυο VP (routes) προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα αποκατάστασης απέναντι σε μια επόμενη αποτυχία όπου λαμβάνεται υπόψη η νέα διαδρομή VP.

Η εφεδρική διαδρομή VP μπορεί να αλλάξει χωρίς διακοπή υπηρεσιών. Κατά συνέπεια αυτή η περίπτωση μπορεί να ελαχιστοποιήσει ή και να εξαλείψει τον αριθμό των VPs που απαιτούν επαναφορά, και να εγγυηθεί την επόμενη αποκατάσταση αποτυχίας χωρίς διακοπές στην

κυκλοφορία. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εκτελεσθεί επίσης σε ένα καταναμημένο περιβάλλον ελέγχου (self reconstruction).

3.7 Μελέτες εφαρμογής και Συμπεράσματα

Τα σημερινά δίκτυα PDH και STM (SONET) χρησιμοποιούν το σχέδιο κεντρικού ελέγχου, συστήματα APS και συστήματα SHR. Λίγες είναι οι μελέτες που έχουν εξετάσει την εφαρμογή ή την ανάπτυξη σε ATM δίκτυα. Σαφώς περισσότερες μελέτες εφαρμογής απαιτούνται μαζί με προσπάθειες για τυποποίηση.

Η τυποποίηση έχει αρχίσει στο ITU-T SG 13 (WP3 Question 6/13). Το πεδίο της περιλαμβάνει APS (1:1, 1 + 1, m:n), SHR, και SHN (δυναμικά προγραμματισμένο, προκαθορισμένο) στα δίκτυα ATM. Ειδικότερα, VP/VC - 1:1 APS έχει αρχικά συζητηθεί ως θεμελιώδες σχέδιο στο ATM.

Συνοψίζοντας τις παρούσες τυπικές μελέτες για την αποκατάσταση δικτύων ATM μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα.

Καταρχήν πολλή έρευνα έχει γίνει ήδη για τα μελλοντικά δίκτυα πολυμέσων και τα θέματα έχουν συμπεριλάβει το κεντρικό έλεγχο, το APS, το αυτοθεραπευόμενο δίκτυο, το αυτοθεραπευόμενο δαχτυλίδι, το FRVP. Ειδικότερα, οι αυτοθεραπευόμενες τεχνικές δικτύων έχουν μελετηθεί ενεργά και πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο αυτό.

Το ITU-T εξάλλου έχει προχωρήσει στην διεργασία τυποποίησης για την αποκατάσταση δικτύων ATM. Τα προβλήματα που αποτρέπουν την πραγματοποίηση της αποδοτικής αποκατάστασης στα πραγματικά δίκτυα διευκρινίστηκαν. Στην πραγματικότητα, τα προβλήματα πολλαπλών επιπέδων και οι απαιτήσεις πολλαπλής αξιοπιστίας είναι ουσιαστικά θέματα για τα μελλοντικά δίκτυα. **Πρέπει να επιλύσουμε αυτά τα προβλήματα εάν πρόκειται να πραγματοποιήσουμε τα αξιόπιστα μελλοντικά δίκτυα.**

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] ATM Networks Principles and Use, Martin P. Clark
- [2] Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues, Raif O. Onvural
- [3] Quality of Service in ATM Networks- Natalie Giroux, Sudhakar Ganti
- [4] Implementation of Self-Healing Function in ATM Networks Based on VP Concept- R. Kawamura, H. Hadama, I. Tokizawa IEEE Computer and Communications Societies (vol 1) (c) 1995
- [5] A Self-Healing Scheme for ATM Networks Based on Virtual Path - A. Greca, K. Nakagawa, L Barolli IEEE Computer Society 1998 Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [6] A Restoration Mechanism for Virtual Path-Based ATM Networks- M.Eom, C. Kim IEEE Computer Society 1998 Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [7] Design of a Fast Restoration Mechanism for Virtual Path-based ATM Networks- C. Hou IEEE Computer and Communications Societies (c) 1997
- [8] Backup Path Sharing for Survivable ATM Networks- H. Hwang, S. Ahn, Y. CHOI, C. Kim IEEE Computer Society (c) 1998
- [9] An efficient VP-Packing Algorithm in ATM Self-Healing Networks- T. Jian, F. Tianshu, L Zhenming IEEE Symposium on Computer and Communications (c) 1997
- [10] Scalable Survivable ATM Group Communications - W. Yurcik, D. Tipper, D. Medhi IEEE Military Communications Conference L.A. October 2000
- [11] Survivability over Security: Providing Whole System Assurance- W. Yurcik, D. Doss, H. Kruse IEEE Computer Society Press, Boston October 2000 pp 201-204
- [12] Comparative Study on Restoration Schemes of Survivable ATM Networks- K. Murakami IEEE Computer and Communications Societies (c) 1997
- [13] Advances in transport network technologies: photonic networks, ATM , and SDH- K. Sato Artech House Inc. 1996

Αναφορές από WEB

- [14] Definition of ATM http://www.iec.org/online/tutorials/atm_fund/topic01.html
- [15] Asynchronous Transfer Mode Tutorial http://www.npac.syr.edu/users/mahesh/homepage/atm_tutorial/
- [16] Survivable Telecommunication Networks <http://www.comsoc.org/livepubs/ci1/public/1999/aug/guested1.html>
- [17] Flexibility is Key to Efficiency, Reliability http://www.americasnetwork.com/issues/97supplements/111597netrel/111597_netreflex.html
- [18] Securing “Classical IP over ATM Networks” http://cert.dfn.de/eng/team/benecke/eng_natm/node2.html
- [19] Virtual Path Routing for Survivable ATM Networks http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol12/af5/article2.html
- [20] Architectures for ATM Network Survivability, R. Kawamura <http://www.comsoc.org>
- [21] Modeling Recoverable Connections in Fault Tolerant ATM Networks- M. Stahl, R. Bianchini <http://citeseer.nj.nec.com/cache/papers/cs/10440>
- [22] Asynchronous Transfer Mode: Security Issues- R. Taylor, G. Findlow http://uluru.poly.edu/~tmoors/atm_security
- [23] Network Reliability and Fault Tolerance- D. Medhi <http://citeseer.nj.nec.com/medhi99network.html>
- [24] A Management Briefing on Self-Healing ATM Networks – General dAtacomm <http://alliancedatacom.com/self-healing-atm-networks.htm>
- [25] On Fault Recovery Priority in ATM Networks – B. Jager <http://citeseer.nj.nec.com/21247.html>
- [26] ATM Network Design and Optimization: A Multirate Loss Network Framework-D.Mitra, J.Morrison, K. Ramakrishnan <http://citeseer.nj.nec.com/mitra96atm.html>
- [27] Models for Network Design, Servicing and Monitoring of ATM Networks based on the Virtual Path Concept-D.Medhi <http://citeseer.nj.nec.com/medhi95models.html>
- [28] Alternative transport architectures for core ATM networks <http://www.bt.com/bttj/vol16no3/22.pdf>
- [29] Restoration Strategies and Spare Capacity Requirements in Self-Healing ATM Networks-Y.Xiong <http://www.ieee-infocom.org/1997/papers/xiong2.pdf>

- [30] Dynamic Bandwidth Management in ATM Networks -M.Verdier, D. Griffin <http://ee.ucl.ac.uk/~dgriffin/papers/eunice/bd98.pdf>
- [31] Multi-layered Network Survivability-Models, Analysis, Architecture, Framework and Implementation: An overview- D.Medhi, D.Tipper http://www.cstp.umkc.edu/public/papers/dmedhi/mt_disceX00.pdf
- [32] The Use of Hop- Limits to Provide Survivable ATM Group Communications W. Yurci, D.Tipper, D. Medhi http://www.cstp.umkc.edu/public/papers/dmedhi/ytm_ngc2000.pdf
- [33] Understanding Prioritized Recovery in Fault-Tolerant ATM Networks- M. Stahl <http://citeseer.nj.nec.com/cache>
- [34] IP QoS: Feel the quality E. Biddlecombe <http://www.totaltele.com/newcarrier/view.asp?articleID=37568&Pub=NC&categoryid=705&kw=Feel%2Bthe%2BQuality>
- [35] Telecommunications Fundamentals and Planning <http://www.800teachme.com/pdf/catalogs2002/tsec01.pdf>