



**University of Macedonia
Economic and Social Studies
Master in Information Systems**

Lesson: Networking Technologies
Professor: A.A. Economides
economid@uom.gr

Subject:
**Survivability, Fault Tolerance and Self-Healing Techniques
for Optical Networks**

Bella Vaia
Tsavdaridou Fotini

Thessaloniki 2003



**Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στα Πληροφορικά
Συστήματα**

Μάθημα:

Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης
economid@uom.gr

Θέμα:

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

Μπέλλα Βαϊα
Τσαβδαρίδου Φωτεινή

Θεσσαλονίκη 2003

1. Abstract

Optical networks are faster than tradition networks and offer the promise to solve many problems in networks. Examples of optical networks are SONET (Synchronous Optical Network) and the essentially similar SDH (Synchronous Digital Hierarchy) networks which form the basis for current high speed backbone networks .The most resent breakthrough are WDM (Wavelength Division Multiplexing) that offer several important advantages such as increased usable bandwidth on an optical fiber, reduced processing cost, efficient failure handling.

Providing resilience against failures is an important requirement for many high-speed networks. A single outage can disrupt millions of users and result in millions of dollars of lost revenue to users and operators of the network.

The only practical way of obtaining availability is to make the network survivable, that is, able to continue providing service in the presence of failures. The key technique used to ensure survivability is protection that is usually implemented in a distributed manner without requiring centralized control in the network so that fast restoration of service after a failure is ensured. In that way protection techniques provide redundant capacity within the network and automatically rerouting traffic around the failure using this redundant capacity. When we talk about failures we mean failures of network links, nodes and individual channels.

A great variety of protection schemes are used in today's networks and are designed to operate over a range of network topologies. Ring topologies are particularly popular in SONET/SDH and WDM networks. A ring is the simplest topology offering an alternate route around a failure. Protection may be dedicated or shared, protection schemes can either be revertive or nonrevertive and the protection switching can be bidirectional or unidirectional.

Also survivability can be addressed within many layers in the network protection, which can be performed at the physical layer, at the link layer and at the network layer.

In this paper we examine the survivability, fault tolerance and self-healing in optical networks. The outline of our paper has the following structure:

We introduce the optical networks, the failures and their impact in chapters 2 and 3. In chapters 4 and 5 we analyze the concepts of survivability, the survivability strategies, the objectives and the influencing factor. A detailed analysis about protection schemes for both SONET/SDH and WDM networks is presented in chapters 6 and 7. A general description of multiplayer survivability and its results are presented in chapter 8 and the conclusions are given in chapter 9.

1.Περίληψη

Τα οπτικά δίκτυα είναι γρηγορότερα από τα παραδοσιακά δίκτυα και προσφέρουν την υπόσχεση να λύσουν πολλά προβλήματα που αφορούν τα δίκτυα. Παραδείγματα των οπτικών δικτύων είναι το SONET (σύγχρονο οπτικό δίκτυο) και το ουσιαστικά παρόμοιο SDH (σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία) που αποτελούν τη βάση για δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Μια σημαντική ανακάλυψη είναι το δίκτυο WDM (πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος) που προσφέρει διάφορα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως αύξηση του εύρους ζώνης συχνοτήτων σε μια οπτική ίνα, μείωση του κόστους, αποδοτικό χειρισμό της αποτυχίας. Η ανθεκτικότητα στις αποτυχίες είναι σημαντική απαίτηση για υψηλής ταχύτητας δίκτυα. Μια απλή αποτυχία μπορεί να αναστατώσει εκατομμύρια χρηστών και να οδηγήσει σε απώλεια εκατομμυρίων δολαρίων στους χρήστες και τους χειριστές του δικτύου. Ο μόνος πρακτικός τρόπος είναι να κατασταθεί το δίκτυο επιβιώσιμο, δηλαδή ικανό να συνεχίσει να παρέχει υπηρεσίες μετά από μια αποτυχία. Η βασική τεχνική που χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει επιβίωση, είναι η προστασία που εφαρμόζεται συνήθως με έναν καταναμημένο τρόπο χωρίς την απαίτηση κεντρικού ελέγχου στο δίκτυο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η γρήγορη αποκατάσταση της υπηρεσίας μετά από μια αποτυχία. Με αυτόν τον τρόπο οι τεχνικές προστασίας παρέχουν επιπλέον χωρητικότητα μέσα στο δίκτυο και αυτόματα επαναδρομολογούν την κυκλοφορία γύρω από την αποτυχία χρησιμοποιώντας την επιπλέον χωρητικότητα. Όταν αναφερόμαστε στις αποτυχίες εννοούμε αποτυχίες στις συνδέσεις των δικτύων, των κόμβων και των μεμονωμένων καναλιών. Μια μεγάλη ποικιλία των σχεδίων προστασίας χρησιμοποιείται στα σημερινά δίκτυα και σχεδιάζεται για να λειτουργήσει σε μια ποικιλία τοπολογιών δικτύων. Οι τοπολογίες δακτυλίων είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στα δίκτυα SONET/SDH και WDM. Ένας δακτύλιος είναι η απλούστερη τοπολογία που προσφέρει μια εναλλακτική διαδρομή γύρω από μια αποτυχία. Η προστασία μπορεί να είναι αποκλειστική ή μη, τα σχέδια προστασίας μπορούν είτε να είναι αναστρέψιμα ή μη και η μεταγωγή προστασίας μπορεί να είναι αμφίδρομη ή ομοιοκατευθυνόμενη. Επίσης η ικανότητα επιβίωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλά στρώματα, στο φυσικό στρώμα, στο στρώμα συνδέσεων και στο στρώμα δικτύων.

Στην εργασία μας εξετάζουμε την επιβιωσιμότητα, την ανοχή στα λάθη και τις τεχνικές της αυτόματης επιδιόρθωσης στα οπτικά δίκτυα η οποία έχει την ακόλουθη δομή: Κάνουμε μια εισαγωγή στα οπτικά δίκτυα, στις αποτυχίες και τον αντίκτυπό τους στα κεφάλαια 2 και 3. Στα κεφάλαια 4 και 5 αναλύουμε την έννοια της επιβίωσης, τις στρατηγικές, του σκοπούς και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Παρουσιάζεται μια λεπτομερή ανάλυση σχετικά με τα σχέδια προστασίας για τα δίκτυα SONET/SDH και WDM στα κεφάλαια 6 και 7. Μια γενική περιγραφή της επιβίωσης πολλαπλών επιπέδων και τα αποτελέσματά της παραθέτονται στο κεφάλαιο 8 και κλείνουμε με τα συμπεράσματα στο κεφάλαιο 9.

CONTENTS

1. Abstract	1
2. Introduction to optical networks	5
2.1 <i>Multiplexing techniques</i>	6
3. Network Failures and their impact	8
4. Survivability Concepts	9
4.1 <i>Survivability Strategy</i>	11
4.2 <i>Objectives</i>	11
4.3 <i>Influencing factors</i>	12
4.4 <i>Protection</i>	13
4.5 <i>Restoration</i>	13
5. Single Layer Network Recovery Mechanisms	14
5.1 <i>Multilayer Network Recovery Mechanisms</i>	14
6. Protection techniques	16
6.1 <i>Protection Switching Characteristics</i>	16
6.2 <i>Protection types</i>	17
6.3 <i>Self-Healing Rings</i>	19
6.4 <i>Protection in ring networks</i>	21
6.4.1 <i>Two –fiber UPSR</i>	21
6.4.2 <i>Two-fiber BLSR</i>	22
6.4.3 <i>Four –Fiber BLSR</i>	23
7. Network Survivability in WDM Networks	25
7.1 <i>Failures in recovery</i>	26
7.2 <i>Restoration Schemes</i>	27
7.3 <i>Survivability in WDM Ring Networks</i>	29
8. Multilayer Survivability	30
8.1 <i>Results in Multilayer Survivability</i>	31
9. Conclusions	34
10. References	36

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη	1
2.Εισαγωγή στο οπτικά δίκτυα	5
2.1 Τεχνικές πολυπλεξίας	6
3.Λάθη δικτύων και ο αντίκτυπός τους	8
4. Βασικές αρχές επιβιωσιμότητας των Δικτύων	9
4.1 Στρατηγική επιβίωσης	11
4.2 Οι στόχοι	11
4.3 Οι παράγοντες που επηρεάζουν	12
4.4 Προστασία	13
4.5 Αποκατάσταση	13
5. Μηχανισμοί αποκατάστασης δικτύων	14
5.1 Μηχανισμοί Αποκατάστασης Πολλαπλών στρωμάτων	14
6. Τεχνικές προστασίας	16
6.1 Χαρακτηριστικά της Προστασίας Μετάδοσης	16
6.2 Τύποι προστασίας	17
6.3 Αυτοθεραπευόμενοι δακτύλιοι	19
6.4 Προστασία σε δίκτυα με τοπολογία Δακτυλίου	21
6.4.1 Δακτύλιοι διπλής-ίνας μονής κατεύθυνσης (UPSR)	21
6.4.2 Δακτύλιοι διπλής ίνας αμφίδρομης κατεύθυνσης (2-ίνα BLSR)	22
6.4.3 Δακτύλιοι τετραπλής -ίνα αμφίδρομης κατεύθυνσης (4-ίνα BLSR)	23
7. Ικανότητα επιβίωσης στα WDM Δίκτυα	25
7.1 Αποτυχίες αποκατάστασης	26
7.2 Σχέδια αποκατάστασης	27
7.3 Ικανότητα επιβίωσης στα WDM δίκτυα δακτυλίων	29
8. Επιβιωσιμότητα Πολλαπλών επιπέδων	30
8.1 Τα αποτελέσματα της πολυστρωματικής επιβίωσης	31
9. Συμπεράσματα	34
10. Αναφορές	36

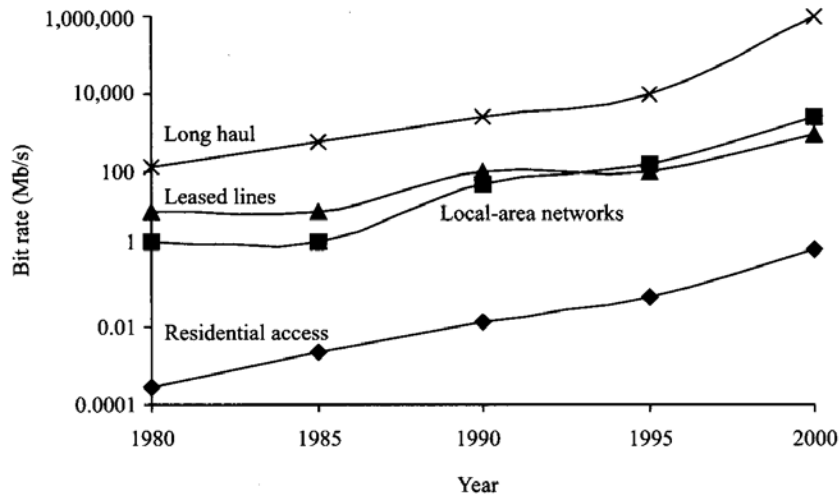
2.Εισαγωγή στο οπτικά δίκτυα

Τα οπτικά δίκτυα υπόσχονται να λύσουν πολλά από τα προβλήματα που εμφανίζονται στα δίκτυα. Εκτός από την παροχή των τεράστιων ικανοτήτων, ένα οπτικό δίκτυο παρέχει μια κοινή υποδομή πάνω στην οποία ποικίλες υπηρεσίες μπορούν να υλοποιηθούν. Επίσης όλο και περισσότερο γίνονται ικανά να δώσουν εύρος ζώνης συχνοτήτων με έναν εύκαμπτο τρόπο όπου και όταν απαιτείται.

Η οπτική ίνα προσφέρει πολύ υψηλότερο εύρος ζώνης συχνοτήτων από τα καλώδια χαλκού και είναι λιγότερο ευάλωτη στα διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικών παρεμβάσεων και άλλων ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια, είναι το προτιμότερο μέσο για την μεταφορά δεδομένων για περισσότερο από μερικές δεκάδες μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο (Mbps) πέρα από οποιαδήποτε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Είναι επίσης το μέσο που προτιμάται για την πραγματοποίηση αλληλοσυνδέσεων κοντινής απόστασης (από μερικά μέτρα μέχρι εκατοντάδες μέτρων), υψηλών ταχυτήτων (gigabits ανά δευτερόλεπτο και πάνω) μέσα στα μεγάλα συστήματα.

Οι πιο πρόσφατες στατιστικές από την επιτροπή επικοινωνιών Federal [14] δείχνουν την άμεση χρήση των οπτικών ινών σχεδόν παντού. Οι οπτικές ίνες επεκτείνονται ευρέως σήμερα σε όλα τα είδη δικτύων τηλεπικοινωνιών. Αν και η ίνα παρέχεται σε πολλές επιχειρήσεις σήμερα, ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις, δεν έχει φθάσει ακόμα στα μεμονωμένα σπίτια, εξαιτίας του τεράστιου κόστους υποδομής και του αμφισβητούμενου ποσοστού κέρδους στους προμηθευτές υπηρεσίας. Πριν δώσουμε περισσότερα στοιχεία, παρουσιάζουμε την ορολογία. Κάθε διαδρομή σε ένα δίκτυο περιλαμβάνει πολλά καλώδια ινών. Κάθε καλώδιο περιέχει πολλές ίνες. Παραδείγματος χάριν, μια διαδρομή 10 μιλίων που χρησιμοποιεί 3 καλώδια ινών έχει 10 μίλια διαδρομών και 30 μίλια θηκών (καλώδιο). Εάν κάθε καλώδιο έχει 20 ίνες, η ίδια διαδρομή έχει 600 μίλια ινών. Από το τέλος του 1998, οι μεταφορείς τοπικών ανταλλαγών στις Ηνωμένες Πολιτείες είχαν επεκτείνει περισσότερα από 355.000 μίλια θηκών της ίνας, που περιέχει περισσότερα από 16 εκατομμύριο μίλια ινών. Περισσότερα από 160.000 μίλια διαδρομών της ίνας είχαν επεκταθεί από τους μεταφορείς εσωτερικών ανταλλαγών στις Ηνωμένες Πολιτείες, που περιέχουν περισσότερα από 3,6 εκατομμύριο μίλια οπτικής ίνας [14].

Η τεχνολογία μεταφοράς ινών έχει εξελιχθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων λίγων δεκαετιών για να προσφέρει όλο και υψηλότερους ρυθμούς δυαδικών ψηφίων (bit rates) σε ίνα για όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις. Το σχήμα 2.1 δείχνει την αύξηση του εύρους ζώνης συχνοτήτων διαφορετικών τύπων δικτύων κατά τη διάρκεια του χρόνου [5]. Αυτή η τεράστια αύξηση του εύρους ζώνης συχνοτήτων οφείλεται κυρίως στην επέκταση των επικοινωνιακών συστημάτων οπτικής ίνας.



Σχήμα 2.1 Η αύξηση του εύρους ζώνης συχνοτήτων κατά τη διάρκεια του χρόνου σε διαφορετικούς τύπους δικτύων.

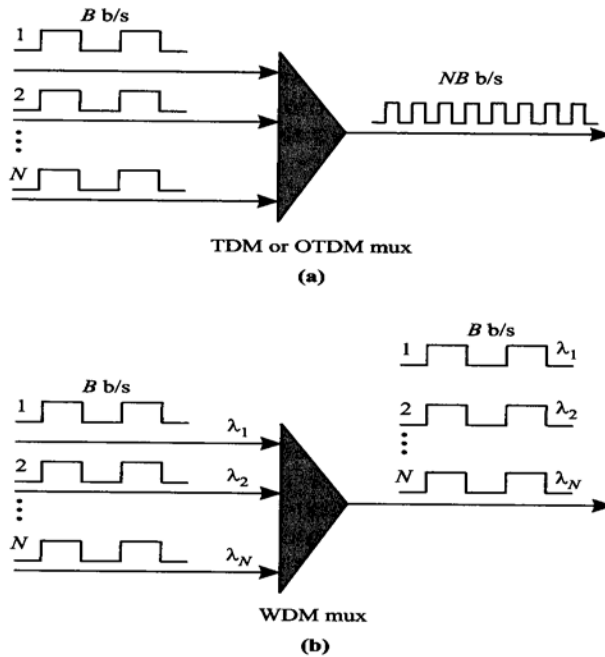
Από το σχήμα 2.1 προκύπτει ότι το εύρος ζώνης συχνοτήτων στα σπίτια μας περιορίζεται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων της τηλεφωνικής γραμμής μας, η οποία είναι φτιαγμένη από καλώδιο χαλκού συνεστραμμένου ζεύγους. Αυτές οι γραμμές είναι ικανές να μεταφέρουν δεδομένα με μερικά μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο (Mbps) χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία βρόχων (DSL), αλλά οι γραμμές φωνής είναι περιορισμένες σε κεντρικό σημείο σε 4 kHz εύρους ζώνης συχνοτήτων. Η άλλη εναλλακτική λύση είναι το δίκτυο καλωδίων, το οποίο είναι πάλι ικανό να παρέχει μερικά μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο (Mbps) σε κάθε συνδρομητή μιας κοινής βάσης που χρησιμοποιεί την τεχνολογία διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή (modem) καλωδίων.

Όταν μιλάμε για τα οπτικά δίκτυα, μιλάμε πραγματικά για δύο γενιές των οπτικών δικτύων. Στην πρώτη γενιά, η οπτική ίνα χρησιμοποιήθηκε ουσιαστικά για την μεταφορά και απλά για να παρέχει δυναμικό. Η οπτική ίνα παρείχε τα χαμηλότερα ποσοστά σφάλματος δυαδικών ψηφίων και το υψηλότερο δυναμικό από τα καλώδια χαλκού [2]. Όλη η μεταγωγή και άλλες ευφυείς λειτουργίες των δικτύων αντιμετωπίστηκαν από την ηλεκτρονική. Παραδείγματα της πρώτης γενιάς των οπτικών δικτύων είναι το SONET (σύγχρονο οπτικό δίκτυο) και το ουσιαστικά παρόμοιο δίκτυο SDH (σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία), τα οποία διαμορφώνουν τον πυρήνα της υποδομής τηλεπικοινωνιών στη Βόρεια Αμερική, στην Ευρώπη και την Ασία, αντίστοιχα, καθώς επίσης και ποικίλα επιχειρηματικά δίκτυα όπως ESCON (επιχειρηματική τμηματική σύνδεση). Σύμφωνα με την ιεραρχία που ορίζεται από το SONET μπορούν να μεταδοθούν ρυθμοί μέχρι και 2,5 Gbps και μάλιστα αν απαιτείται και ακόμα μεγαλύτεροι ρυθμοί, μέχρι περίπου 13 Gbps [1].

Σήμερα βλέπουμε την επέκταση των οπτικών δικτύων δεύτερης γενιάς, όπου τμήματα από τη δρομολόγηση, την αλλαγή, και τη νοημοσύνη μεταφέρονται στο οπτικό στρώμα. Πριν αναλύσουμε τη νέα γενιά των δικτύων, θα αναφέρουμε τις τεχνικές πολυπλεξίας που παρέχουν το δυναμικό που απαιτείται για αυτά τα δίκτυα.

2.1 Τεχνικές πολυπλεξίας

Η ανάγκη για πολυπλεξία δημιουργήθηκε από το γεγονός ότι στις περισσότερες εφαρμογές, είναι πολύ πιο οικονομικό να διαβιβαστούν δεδομένα με υψηλότερους ρυθμούς σε μονή ίνα από το να διαβιβαστούν με χαμηλότερους ρυθμούς σε πολλαπλές ίνες. Υπάρχουν βασικά δύο τρόποι για να αυξήσουν το δυναμικό μεταφοράς ίνας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Διαφορετικές τεχνικές πολυπλεξίας για να αυξηθεί το δυναμικό μεταφοράς μιας οπτικής ίνας (α) Ηλεκτρονική ή οπτική χρονική διαίρεση πολυπλεξίας και (β) διαίρεση μήκους κύματος πολυπλεξίας. Και οι δύο τεχνικές πολυπλεξίας παίρνουν στα n στοιχεία ρεύματος, καθένα από B b/s, και τα πολυπλέκει σε μια ενιαία ίνα με ένα συνολικό ποσοστό του nB b/s.

Ο πρώτος τρόπος πρόκειται να αυξήσει το ποσοστό δυαδικών ψηφίων. Αυτό απαιτεί υψηλής ταχύτητας ηλεκτρονικά συστήματα. Πολλά ρεύματα δεδομένων χαμηλής ταχύτητας πολυπλέκονται σε ένα ρεύμα υψηλής ταχύτητας με τη βοήθεια της χρονικής διαίρεσης της πολυπλεξίας, (time division multiplexing) (TDM). Ο πολυπλέκτης παρεμβάλλει τα ρεύματα χαμηλότερης ταχύτητας για να αποκτήσει το ρεύμα υψηλότερης ταχύτητας. Παραδείγματος χάριν, θα μπορούσε να επιλέξει μια οκτάδα (byte) των δεδομένων από το πρώτο ρεύμα, την επόμενη οκτάδα από το δεύτερο ρεύμα, κ.ο.κ. Σαν παράδειγμα, 64.155 ρεύματα Mb/s μπορούν να πολυπλεκτούν σε ένα ενιαίο ρεύμα 10 Gb/s. Σήμερα, το υψηλότερο ποσοστό μεταφορών στα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα είναι γύρω στα 10 Gb/s. Η TDM τεχνολογία των 40Gb/s θα είναι διαθέσιμη σύντομα. Για να ωθήσουν την τεχνολογία TDM πέρα από αυτά τα ποσοστά, οι ερευνητές χρησιμοποιούν μεθόδους για να πολυπλέξουν και να αποπολυπλέξουν λειτουργίες οπτικά. Αυτή η προσέγγιση καλείται οπτική χρονική διαίρεση πολυπλεξίας (optical time division multiplexing) (OTDM). Εργαστηριακά πειράματα έχουν δείξει την πολυπλεξία/αποπολυπλεξία αρκετών 10 Gb/s ρευμάτων σε/από ένα 250 Gb/s ρεύμα, αν και η εμπορική εφαρμογή OTDM είναι ακόμα αρκετά έτη μακριά. Εντούτοις, τα πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας υψηλής ταχύτητας ρεύματα από μόνα τους δεν είναι επαρκείς να πραγματοποιήσουν τα πρακτικά δίκτυα.

Όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός των δυαδικών ψηφίων (bits), τόσο δυσκολότερη είναι η αποκατάσταση γύρω από αυτές τις βλάβες. Εντούτοις, παρόμοιες δυσχέρειες έχουν αντιμετωπιστεί στο παρελθόν, και πάντα είχαν βρεθεί τρόποι να τις υπερνικήσουν. Έτσι μπορούμε να αναμένουμε αύξηση στους ρυθμούς μεταφοράς δυαδικών ψηφίων, αν και ίσως όχι στο ρυθμό των προηγούμενων δύο δεκαετιών.

Ένας άλλος τρόπος να αυξηθεί το δυναμικό είναι η τεχνική που λέγεται διαίρεση μήκους κύματος πολυπλεξίας (wavelength division multiplexing) (WDM). Η τεχνική WDM είναι ουσιαστικά όπως η πολυπλεξία ενός τμήματος συχνότητας FDM (Frequency division multiplexing), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από έναν αιώνα. Για κάποιους λόγους, ο όρος FDM χρησιμοποιείται ευρέως στη ραδιοεπικοινωνία, αλλά ο WDM

χρησιμοποιείται στα πλαίσια της οπτικής επικοινωνίας, ίσως επειδή ο FDM μελετήθηκε πρώτα από τους μηχανικούς επικοινωνιών και ο WDM από τους φυσικούς. Η ιδέα είναι να διαβιβαστούν τα δεδομένα ταυτόχρονα σε πολλαπλάσια μήκη κύματος μεταφοράς (ή, ισοδύναμα, σε συχνότητες ή σε χρώματα) πάνω σε μια ίνα. Στην πρώτη διαταγή, αυτά τα μήκη κύματος δεν παρεμβαίνουν το ένα με το άλλο δεδομένου ότι κρατιούνται χωριστά. (Υπάρχουν μερικά ανεπιθύμητα δεύτερης διαταγής αποτελέσματα όπου τα μήκη κύματος παρεμβαίνουν το ένα με το άλλο). Έτσι ο WDM παρέχει τις εικονικές ίνες, δηλαδή κάνει μια ενιαία ίνα να μοιάζει όπως τις πολλαπλές «εικονικές» ίνες, με κάθε εικονική ίνα να κουβαλάει ένα ενιαίο ρεύμα δεδομένων. Τα συστήματα WDM επεκτείνονται ευρέως σήμερα στα μεγάλης απόστασης και υποθαλάσσια δίκτυα καθώς επίσης και στα δίκτυα μετρό.

Και οι δύο τεχνικές WDM και TDM παρέχουν τρόπους να αυξηθεί το δυναμικό μεταφοράς και είναι συμπληρωματικά το ένα στο άλλο. Επομένως τα δίκτυα χρησιμοποιούν σήμερα έναν συνδυασμό του TDM και WDM. Πολύ σημαντική ερώτηση είναι ποιος συνδυασμός του TDM και WDM θα χρησιμοποιηθεί στα συστήματα.. Η απάντηση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου και των παραμέτρων της ίνας που χρησιμοποιείται στη σύνδεση και τις υπηρεσίες που ο μεταφορέας επιθυμεί να παρέχει χρησιμοποιώντας μια σύνδεση. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό του WDM και του TDM, τα συστήματα με δυναμικό μεταφοράς γύρω στο 1 Tb/s σε μια ενιαία ίνα γίνονται εμπορικά διαθέσιμα

3. Λάθη δικτύων και ο αντίκτυπός τους

Η ανοχή στα λάθη και η ικανότητα της επιβίωσης των οπτικών δικτύων υψηλού εύρους ζώνης βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος καθώς είναι σημαντική για την κίνηση μεγάλης ποσότητας δεδομένων από το ένα μέρος της σφαίρας σε άλλο. Η αποτυχία οποιουδήποτε μέρους αλλά και η προκύπτουσα ανικανότητα ώστε να κινηθούν τα δεδομένα γρήγορα μπορεί να έχει έναν τεράστιο οικονομικό αντίκτυπο. Για αυτόν τον λόγο, τα ζητήματα της επιβιωσιμότητας στα οπτικά δίκτυα με υψηλό εύρος ζώνης αποτελούν μια σημαντική περιοχή έρευνας τα τελευταία έτη.

Στα οπτικά δίκτυα, οι αποκοπές στις ίνες θεωρούνται ένα από τα πιο κοινά λάθη. Δεδομένου ότι σε ένα WDM δίκτυο, ένα οπτικό καλώδιο ιών φέρνει μια εξαιρετικά υψηλή ένταση του ήχου της κίνησης, η διάσπαση της υπηρεσίας είναι πολύ ακριβή. Η αποτυχία εξοπλισμού σε έναν κόμβο μετατροπής θέτει εκτός λειτουργίας όλες τις συνδέσεις που περνούν μέσω εκείνου του κόμβου και ο δυσμενής αντίκτυπος ενός τέτοιου γεγονότος στο δίκτυο είναι ακόμα μεγαλύτερος και από αυτόν μιας αποκοπής καλωδίων.

Τα λάθη δικτύων και ο αντίκτυπός τους μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. Ένα πρώτο κριτήριο διακρίνει τα λάθη μεταξύ των οντοτήτων των δικτύων, δηλαδή μεταξύ των αποτυχιών συνδέσεων και κόμβων. Ο δεύτερος διακρίνει μεταξύ των σκληρών (hard) και μαλακών (soft) αποτυχιών. Οι σκληρές αποτυχίες εμφανίζονται όταν χάνεται συνολικά το σήμα το οποίο χαρακτηριστικά περιλαμβάνει τις καταστροφικές αποτυχίες. Οι μαλακές αποτυχίες εμφανίζονται όταν υποβιβάζεται το σήμα (π.χ., όταν δεν συναντώνται τα κριτήρια απόδοσης με το την ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας). Αυτές οι μεμονωμένες αποτυχίες μπορούν να εμφανιστούν ως ενιαίες αποτυχίες και πολλαπλάσιες αποτυχίες: Μια ενιαία αποτυχία σημαίνει ότι, μόλις ανιχνευθεί η αποτυχία, καμία άλλη αποτυχία δεν εμφανίζεται ενώ το δίκτυο προσπαθεί να ανακτήσει τις υπηρεσίες του. Πολλαπλάσιες αποτυχίες σημαίνει ότι διάφορες αποτυχίες εμφανίζονται ταυτόχρονα - ενώ το δίκτυο προσπαθεί να ανακτήσει. Αν και αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται συχνά στην τυποποίηση και τα τεχνικά έγγραφα, κανένας ρητός καθορισμός δεν θα μπορούσε να βρεθεί. Όταν τα λάθη εμφανίζονται στο δίκτυο, τα αποτελέσματα είναι:

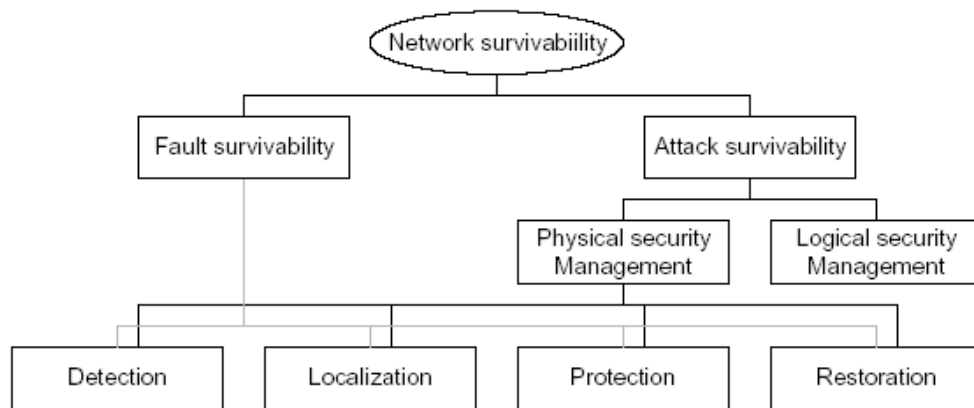
A) Απώλεια υπαρχόντων συνδέσεων στο μέρος του δικτύου όπου προέκυψε το λάθος

B) Μπλοκάρισμα των προσπαθειών εγκατάστασης σύνδεσης λόγω έλλειψης των πόρων του δικτύου δικτύων.

Γ) Υψηλό ποσοστό προσπάθειας επανασύνδεσης από τους χρήστες που έχουν χάσει την παροχή της υπηρεσίας.

Δ) Έλλειψη της καλής θέλησης ς από τους χρήστες δικτύων.

Ανάλογα με τη φύση της συμφωνίας του επιπέδου παροχής υπηρεσίας, ο χειριστής του δικτύου προσφέρει ανάλογη αποζημίωση στους χρήστες για τα παραπάνω αποτελέσματα. Αλλά η αντίληψη για τις αποτυχίες δικτύων και τον οικονομικό ή/ και κοινωνικό αντίκτυπό της δεν αποτελεί ένα αντικειμενικό μέτρο αξιολόγησης της τεχνολογίας δικτύων, αλλά εξαρτάται περισσότερο από τη μεμονωμένη κατηγορία υπηρεσιών και χρηστών υπηρεσιών. Ο στόχος ενός επιβιώσιμου δικτύου είναι να είσαι σε θέση να αντιμετωπίσει τις αποτυχίες και να ανακτήσει τις υπηρεσίες που έχουν επηρεασθεί .Η Εικόνα 3.1 δείχνει την ικανότητα επιβίωσης ενός δικτύου σε αποτυχίες και επιθέσεις. [29] [30]



Εικόνα 3.1 Επιβιωσιμότητα Δικτύου

4. Βασικές αρχές επιβιωσιμότητας των Δικτύων

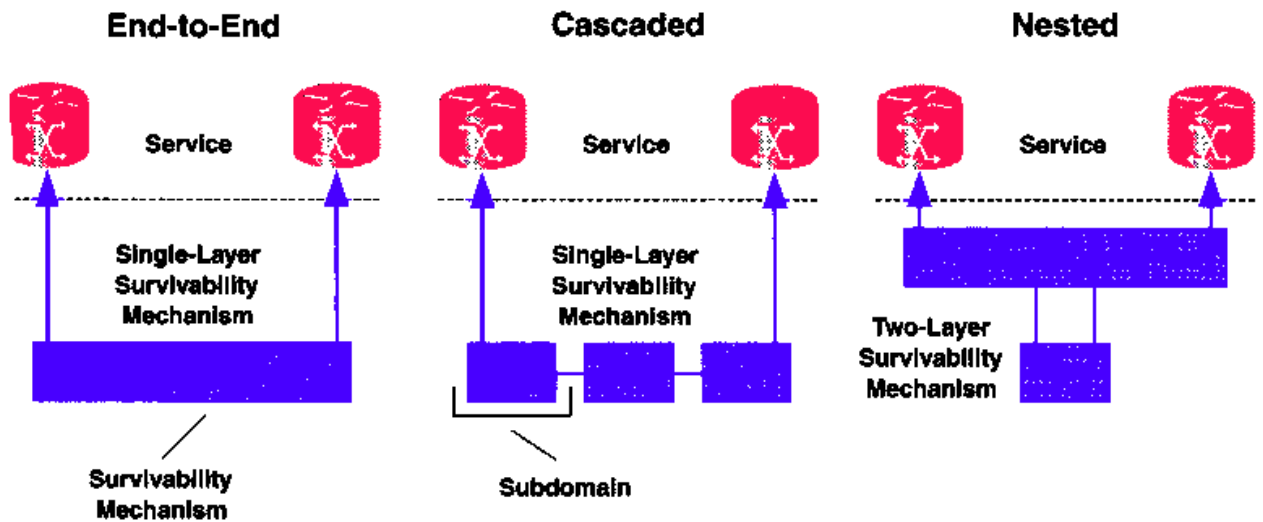
Το βασικό ζήτημα για τους σημερινούς χειριστές δικτύων είναι η εφαρμογή ενός δικτύου το οποίο είναι ιδιαίτερα ελαστικό στα λάθη. Δεδομένου ότι η τεχνολογία έχει εξελιχθεί ,η ποσότητα της κίνησης που μεταφέρεται στα σημερινά μεγάλα δίκτυα έχει αυξηθεί επίσης εντυπωσιακά. Ακόμα και μια μικρή διακοπή της επικοινωνίας των δικτύων που διαρκεί μόνο μερικά δευτερόλεπτα μπορεί να προκαλέσει αρκετά GB των στοιχείων να χαθούν εάν ο συγκεκριμένος εξοπλισμός των δικτύων έχει ταχύτητες 2,5 Gbps ή υψηλότερες.

Με την εφαρμογή διάφορων τεχνικών αποκατάστασης και προστασίας που έχουν αναπτυχθεί, αλλά και με σχεδιασμό του δικτύου ώστε να έχει αρκετά πλεονάζουσα χωρητικότητα ,ένα οπτικό δίκτυο μπορεί να διαθέτει την ικανότητα της επιβίωσης ώστε να εκπληρώσει τις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών χρησιμοποιώντας το δίκτυο ως κεντρική πηγή μεταφοράς.[21] [38]

Η ικανότητα της επιβιωσιμότητας των δικτύων καθορίζεται στο [21] ως εξής:

«ικανότητα επιβιωσιμότητας αναφέρεται στη δυνατότητα ενός δικτύου να διατηρηθεί ένα αποδεκτό επίπεδο υπηρεσίας κατά τη διάρκεια ενός λάθους του δικτύου ή του εξοπλισμού. Η ικανότητα επιβίωσης στα πολλαπλά επίπεδα αναφέρεται στη πιθανή τοποθέτηση σχεδίων επιβιωσιμότητας μεταξύ των υποστρωμάτων των δικτύων, και τον τρόπο με τους οποίους αυτά τα σχέδια αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο».

Κατά σχεδιασμό ενός δικτύου, οι χειριστές αναπτύσσουν επίσης την έννοια της ικανότητας της επιβιωσιμότητας. Οι συμπεριλαμβανόμενες στρατηγικές επιβιωσιμότητας πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τόσο τα τρέχοντα όσο και τα μελλοντικά μεγέθη δικτύων. Αυτό το σημείο είναι πολύ κρίσιμο επειδή η προβαλλόμενη ανάπτυξη και διάδοση των οπτικών δικτύων είναι πολύ μεγάλη. Μια προηγμένη έννοια της επιβιωσιμότητας επιτρέπει τον χειριστή των δικτύων να παραδώσει μια ευρεία ποικιλία των προσφερόμενων υπηρεσιών με ορισμένη και δεσμευμένη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Αφ' ετέρου, η έννοια της επιβιωσιμότητας πρέπει να εγγυηθεί τις υποχρεώσεις της QoS που προσδιορίζονται στις Συμφωνίες Επιπέδων Υπηρεσίας (SLAs). Ένα άλλο σημαντικό σημείο είναι ότι μερικά στοιχεία συμπεριφοράς δικτύων μπορούν να είναι κάτω από τον εξωτερικό διοικητικό έλεγχο, και η προσφερόμενη υπηρεσία μπορεί να διαπεράσει πολλαπλά πεδία δικτυακών διαχειριστών. Διακρίνουμε τρεις βασικούς τύπους της επιβιωσιμότητας Εικόνα 4.1



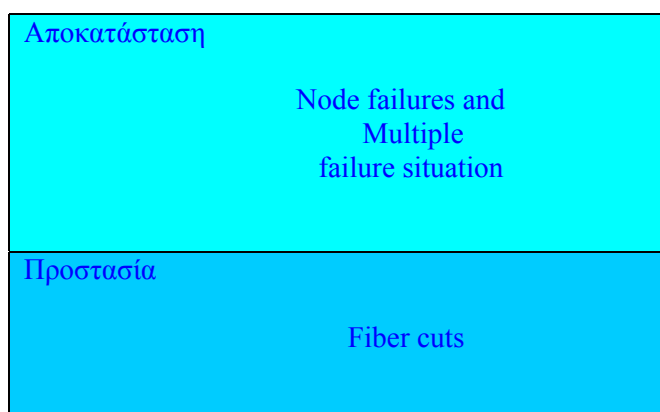
Εικόνα 4.1 Δυνατότητες εφαρμογής της Επιβιωσιμότητας

Όσον αφορά την **άκρη-προς άκρη** επιβιωσιμότητα (end-to-end), όπου υπάρχει μόνο ένας ενιαίος μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να παραδώσει την άκρη-προς άκρη επιβιωσιμότητα. Στη **σε σειρά** (cascaded), επιβιωσιμότητα όπου υπάρχουν πολλαπλοί μηχανισμοί επιβιωσιμότητας. Ένας μηχανισμός χρησιμοποιείται μετά από τον άλλο, που χειρίζεται τις βλάβες σε ένα ορισμένο υποπεδίο [37].

Η τρίτη και πιο κοινή έννοια είναι φωλιασμένη (nested) ικανότητα επιβίωσης. Οι πολλαπλάσιοι μηχανισμοί ικανότητας επιβίωσης χρησιμοποιούνται για ένα ενιαίο υποπεδίο. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να έχουν τη σε σειρά ή επίσης την άκρη-προς άκρη λειτουργία. επιβιωσιμότητας. Γενικά, η φωλιασμένη ικανότητα επιβίωσης χρησιμοποιεί δύο στρώματα της επιβιωσιμότητα, προστασία και αποκατάσταση.

Αυτή η έννοια εμφανίζεται στην Εικόνα 4.2

ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ



Εικόνα 4.2 Η φωλιασμένη επιβιωσιμότητα χρησιμοποιεί την προστασία και την αποκατάσταση

4.1 Στρατηγική επιβίωσης

Ο όρος **στρατηγική επιβίωσης** αναφέρεται στην πολιτική που υιοθετείται από το χειριστή δικτύων και το σύνολο λειτουργιών που πρέπει να ενσωματωθούν στα στοιχεία του δικτύου για να αντισταθούν σε ένα επιλεγμένο σύνολο αποτυχιών του δικτύου. Ο όρος **ικανότητα επιβίωσης** ή **αποκατάσταση** ή **μηχανισμός αποκατάστασης** αναφέρεται στην ιδιαίτερη τεχνολογία και τη λειτουργία που υιοθετούνται στο δίκτυο για να αποκαταστήσουν την ακεραιότητα των υπαρχουσών υπηρεσιών, μόλις αντιμετωπιστεί μια αποτυχία.

Η στρατηγική ικανότητας επιβίωσης έχει διάφορες πτυχές [13]. Γενικά, οι αντικειμενικοί, λειτουργικοί στόχοι και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη στρατηγική ικανότητα επιβίωσης είναι ανεξάρτητοι από την τεχνολογία των δικτύων (π.χ. WDM/SDH/ATM/IP).

4.2 Οι στόχοι

Ο βασικός στόχος οποιασδήποτε στρατηγικής επιβίωσης είναι να αντισταθούν, με έναν οικονομικώς αποδοτικό τρόπο, οι αποτυχίες στα συστήματα, και να μετατραπεί η συνδετικότητα χρηστών χωρίς την ενεργό συμμετοχή του τελικού συστήματος. Ο βασικός στόχος είναι ότι ο χρήστης δεν πρέπει να ενοχληθεί με τον επανασηματισμό της τοπολογίας δικτύων, είτε αυτό είναι οφειλόμενο στη συμφόρηση μέσα στο δίκτυο ή στην αποτυχία των στοιχείων που μεταφέρονται.

Η **ταχύτητα αποκατάστασης**, δηλ. η ταχύτητα των μηχανισμών αποκατάστασης που υιοθετούνται από το δίκτυο για να ανακτήσουν τις επηρεασθείσες υπηρεσίες, είναι το πιο σχετικό μέτρο απόδοσης από την άποψη του τελικού χρήστη. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην ταχύτητα αποκατάστασης είναι:

1. **Ανίχνευση/ανακοίνωση συναγερμών**: αυτός είναι ο παρερχόμενος χρόνος μεταξύ του πραγματικού περιστατικού της αποτυχίας και της ανακοίνωσης του συναγερμού στην οντότητα η οποία θα πάρει την απόφαση σχετικά με πώς να αντιδράσει στον συναγερμό. Αυτή η "οντότητα" μπορεί είτε να συγκεντρωθεί είτε να διανεμηθεί.

2. **Συναγερμός συσχετισμών/προκλήσεων της αποκατάστασης**: η οντότητα που συλλέγει τις ανακοινώσεις συναγερμών πρέπει να αποφασίσει με ποιο τρόπο το δίκτυο θα αντιδράσει στην αποτυχία. Αυτή η φάση μπορεί να περιλάβει έναν χρόνο αδράνειας, κατά τη διάρκεια

του οποίου όλες οι ανακοινώσεις συναγερωμένων από τα διαφορετικά μέρη του δικτύου (ή των στοιχείων δικτύων) που πρέπει να συσχετιστούν μπορούν να παραληφθούν. Βασισμένος στην έκβαση αυτής της διαδικασίας απόφασης ο μηχανισμός αποκατάστασης θα προκληθεί. Είναι επίσης πιθανό ότι μια περίπτωση της διαδικασίας αποκατάστασης προωθείται για κάθε οντότητα που πρέπει να αποκατασταθεί.

3. **Εκτέλεση του μηχανισμού αποκατάστασης:** αυτό μπορεί να είναι είτε η ανάκτηση ενός εκ των προτέρων φορτωμένου σεναρίου, ο υπολογισμός μιας εναλλακτικής διαδρομής που βασίζεται στα διαθέσιμα στοιχεία, είτε η εκτέλεση μιας διανεμημένης διαδικασίας που βασίζεται στην ανταλλαγή των μηνυμάτων πρωτοκόλλου.

4. **Επικύρωση διαδρομών:** σε μερικές περιπτώσεις, η διαδρομή αποκατάστασης θα επικυρωθεί πρώτα προτού να ενεργοποιηθεί.

5. **Επανασχηματισμός των στοιχείων δικτύων:** όταν όλα υποβάλλονται σε επεξεργασία, αποφασίζονται και επικυρώνονται, το τελικό βήμα στη διαδικασία αποκατάστασης είναι το πραγματικό "**μεταγωγή-πέρα από**" των διακεκομμένων ροών κυκλοφορίας. Ο χρόνος που απαιτείται εξαρτάται από τον αριθμό των μεμονωμένων ενεργειών που χρειάζονται να αναληφθούν και το σχέδιο των στοιχείων του δικτύου.

Η στρατηγική επιβίωσης πρέπει να σχεδιαστεί για να παραδώσει καθορισμένα επίπεδα επιβίωσης προς απάντηση σε ένα σύνολο **προσδοκώμενων σεναρίων αποτυχίας**. Αυτά μπορούν να περιλάβουν τις μαλακές (υποβίβαση σήματος) και σκληρές (απώλεια σήματος) αποτυχίες ενιαίας ή πολλαπλάσιας συνύπαρξης.

Το **κόστος** μιας ιδιαίτερης στρατηγικής επιβίωσης μπορεί να εκφραστεί από την άποψη των στοιχείων που απαιτούνται για να ανακτήσουν την επηρεασθείσα κυκλοφορία. Αυτά τα στοιχεία, αποκαλούνται **στοιχεία αποκατάστασης ή προστασίας**, περιλαμβάνουν: **δυναμικό αποκατάστασης** (δυναμικό που μπορεί να έχει διατηρηθεί στο δίκτυο για σκοπούς αποκατάστασης), επεξεργασία, μνήμη και διοικητικά γενικά έξοδα.

Η **ευρωστία αποκατάστασης** μπορεί να καθοριστεί ως δυνατότητα να αντιδράσει με έναν προβλέψιμο τρόπο σε απρόβλεπτα γεγονότα. Τα περισσότερα σχέδια αποκατάστασης σχεδιάζονται με μια ορισμένη ποικιλία σεναρίων αποτυχίας. Όταν συμβαίνουν αποτυχίες που δεν κυμαίνονται σ' αυτή την ποικιλία, ή όταν εμφανίζονται άλλες ανωμαλίες, όπως η απώλεια στοιχείων, οι μηχανισμοί αποκατάστασης λειτουργούν "εκτός προδιαγραφής". Μια ελάχιστη απαίτηση για την ευρωστία είναι ότι δεν πρέπει να καταστήσουν τα πράγματα ακόμα χειρότερα παίρνοντας λανθασμένες αποφάσεις. Ένα καλό μέτρο ευρωστίας είναι ότι οι μηχανισμοί κατορθώνουν ακόμα να ελαχιστοποιήσουν τον αντίκτυπο των αποτυχιών κάτω από τέτοιες συνθήκες.

Η **επιδεξιότητα** μιας στρατηγικής επιβίωσης αναφέρεται στη δυνατότητα να λειτουργήσει έτσι ώστε η συμπεριφορά της και τα αποτελέσματά της να μπορούν να ρυθμιστούν ολοκληρωτικά.

4.3 Οι παράγοντες που επηρεάζουν

Ο καθορισμός και η προτεραιότητα στους λειτουργικούς στόχους δεν είναι μια ακριβής επιστήμη - δεν υπάρχει καμία απλή συνταγή για να επινοηθεί μια "βέλτιστη" στρατηγική επιβίωσης δικτύων. Διάφοροι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Ο αρχικός παράγοντας είναι ο τύπος υπηρεσιών του δικτύου και οι χρήστες του. Οι χρήστες των δικτύων διαφέρουν σύμφωνα με τον οικονομικό, την ασφάλεια και τους κοινωνικούς αντίκτυπους μιας διακοπής στην παροχή ηλεκτρισμού στις δραστηριότητές τους. Μια διακοπή στην παροχή ηλεκτρισμού μπορεί να προκαλέσει μια σημαντική απώλεια εισοδήματος στους επαγγελματίες χρήστες αλλά δεν θα έχει κανέναν οικονομικό αντίκτυπο στους περιστασιακούς χρήστες. Οι παράμετροι που καθορίζουν τον ανεκτό συνολικό χρόνο διακοπών παροχής ηλεκτρισμού δεν είναι (ακόμα) συμπεριλαμβανόμενες μέσα στις συμβάσεις κυκλοφορίας για τις υπηρεσίες δικτύων

Άλλοι παράγοντες που μπορούν να καθοδηγήσουν την επιλογή ενός μηχανισμού επιβίωσης περιλαμβάνουν την τοπολογία των δικτύων, τις ποικιλίες στο τρέχων φορτίο και την αύξηση, την τεχνολογία δικτύων και την τυποποίηση της θέσης- status των διαθέσιμων μηχανισμών επιβίωσης.

Ο καθορισμός μιας κατάλληλης στρατηγικής επιβίωσης περιλαμβάνει μια ανταλλαγή μεταξύ της απώλειας εισοδήματος και του κόστους της στρατηγικής. Η ποικιλία των περιπτώσεων αποτυχίας εξαρτάται από την τεχνολογία δικτύων που χρησιμοποιείται. Οι χειριστές πρέπει σαφώς να προσδιορίσουν τους λειτουργικούς στόχους του δικτύου τους, λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες που επηρεάζουν και τις ανταλλαγές, πριν επιλέξουν μια στρατηγική επιβίωσης.

Στις βασισμένες στην ποιότητα υπηρεσίες, θα ήταν λογικό να περιληφθεί η ανοχή στις διακοπές παροχής ηλεκτρισμού στον κατάλογο των παραμέτρων. Οι διαφορετικές τεχνικές επιβίωσης θα μπορούσαν έπειτα να εφαρμοστούν για διαφορετικές κλάσεις υπηρεσίας. Εντούτοις, δεν υπάρχει προς το παρόν καμία δραστηριότητα τυποποίησης σε αυτό το θέμα.

4.4 Προστασία

Η προστασία ως χαμηλότερος μηχανισμός στρώματος παρέχει ένα πρώτο επίπεδο υπεράσπισης ενάντια στις κοινές βλάβες, όπως οι αποκοπές ινών. Η προστασία έχει τοπολογία - και τεχνολογία-καθορισμένη και προσφέρει τη γρήγορη αποκατάσταση, αλλά μπορεί να είναι ανίκανη να προστατεύσει ενάντια στις αποτυχίες κόμβων ή τις πολλαπλές βλάβες. Η προστασία χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά στα δίκτυα δακτυλίων. Η προστασία μεταγωγής της νοημοσύνης διανέμεται επάνω σε κάθε στοιχείο του δικτύου. Οι τοπικές ατέλειες χρησιμοποιούνται όπως ωθήσεις. Ένας γρήγορος τρόπος ανίχνευσης μπορεί να επιτευχθεί επειδή μια φυσική βλάβη του μέσου μπορεί να ανιχνευθεί μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερόλεπτου ms. Ένα σταθερό ποσό της χωρητικότητας χρησιμοποιείται αποκλειστικά για σκοπούς προστασίας ώστε να καταστήσει μια γρήγορη μεταφορά της κίνησης από αποτυχημένη σε όσο γίνεται πιο καλά εγκαταστημένη. Ανάλογα με πώς η αποκλειστική και προκαθορισμένη χωρητικότητα χρησιμοποιείται, μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη μηχανισμών: τους αποκλειστικούς και τους διαμοιραζόμενους μηχανισμούς προστασίας.

Όταν η αποκλειστική προστασία (dedicated protection) εφαρμόζεται, 50% της χωρητικότητας του δικτύου διατηρείται για τους σκοπούς προστασίας. Είναι προφανές ότι η αποκλειστική προστασία παραδίδει το υψηλότερο επίπεδο προστασίας αλλά οδηγεί στην ανεπαρκή χρησιμοποίηση δικτύων.

Κατά τη διαμοιραζόμενη προστασία, υπάρχει μια ορισμένη χωρητικότητα που αφιερώνεται για τους σκοπούς προστασίας και μοιράζεται στα στοιχεία που προστατεύονται [18].

4.5 Αποκατάσταση

Η αποκατάσταση μπορεί να φανεί ως μηχανισμός, που παρέχει την προστασία ενάντια στις αποτυχίες δικτύων σε ένα δεύτερο βήμα. Χαρακτηριστικά, η αποκατάσταση μπορεί να χειριστεί όχι μόνο τις αποτυχίες συνδέσεων αλλά και κόμβους ή τις πολλαπλές ταυτόχρονες αποτυχίες, σε αντιδιαστολή με την προστασία. Η αποκατάσταση εφαρμόζεται χαρακτηριστικά στις τοπολογίες με πολυγωνικές αρχιτεκτονικές. Η αποκατάσταση μπορεί να εφαρμοστεί σε μια συγκεντρωμένη ή διανεμημένη προσπέλαση. Και στις δύο περιπτώσεις, μια αποτυχία δικτύων πρέπει πρώτα να ανιχνευθεί τοπικά, κατόπιν πρέπει να διαδοθεί στο στοιχείο ελέγχου που ελέγχει τη διαδικασία αποκατάστασης. Γενικά η διανεμημένη αποκατάσταση μπορεί να αποκαταστήσει τις αποτυχημένες υπηρεσίες γρηγορότερα από τη συγκεντρωμένη προστασία. Μαζί με τη χρήση προκαθορισμένων εναλλακτικών μονοπατιών, αποδεκτοί άκρη-προς-άκρη χρόνοι αποκατάστασης μπορούν να επιτευχθούν, ώστε η διανεμημένη αποκατάσταση να αποτελέσει την επιλογή για την εφαρμογή των οπτικών δικτύων. [32]

5. Μηχανισμοί αποκατάστασης δικτύων

Σχέδια για μηχανισμούς αποκατάστασης σε SDH δίκτυα έχουν τυποποιηθεί ήδη στο ITU-T [27] και το ETSI [26]. Σχέδια για ATM δίκτυα που τυποποιούνται στο ITU-T SG13 έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό σχεδίων προστασίας για οπτικά δίκτυα.

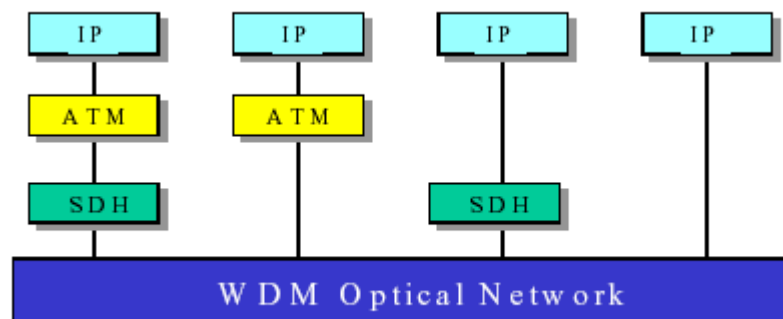
Γενικά, τα σχέδια αποκατάστασης ταξινομούνται σε συγκεντρωμένα και σε κατανεμημένα. Στα συγκεντρωμένα σχέδια, οι κεντρικές λειτουργίες δικτύων υπολογίζουν τις εναλλακτικές δρομολογήσεις για την κίνηση που επηρεάζεται από τα λάθη δικτύων ενώ στα κατανεμημένα σχέδια, οι λειτουργίες αποκατάστασης γίνονται από τα μεμονωμένα στοιχεία δικτύων. Σε αυτήν την περίπτωση, η φάση αποκατάστασης κυριαρχείται από δραστηριότητες ελέγχου.

Ένας δεύτερος τρόπος ταξινόμησης των μηχανισμών αποκατάστασης γίνεται με βάση την :

- Επανα-δρομολόγηση η οποία ορίζεται ως καθιέρωση των κατάλληλων πόρων για την ανάκτηση της κίνησης που έχει επηρεαστεί από τις διοικητικές λειτουργίες
- Αυτοθεραπεία (self-healing) που καθορίζεται ως καθιέρωση των κατάλληλων πόρων για την ανάκτηση της κίνησης που επηρεάστηκε από το ίδιο το δίκτυο, χωρίς τη συμμετοχή των διοικητικών λειτουργιών
- Μεταγωγής της προστασίας που ορίζεται ως η καθιέρωση των προκαθορισμένων πόρων αντικατάστασης από τα μέσα που παρέχονται από τον ίδιο τον εξοπλισμό, χωρίς τη συμμετοχή των λειτουργιών ελέγχου ή διαχείρισης δικτύων. [25]

5.1 Μηχανισμοί Αποκατάστασης Πολλαπλών στρωμάτων

Διαφορετικές τεχνολογίες δικτύων (ATM, SDH, WDM) είναι λογικό να έχουν και διαφορετική λειτουργία. Στα σύγχρονα ευρυζωνικά δίκτυα μεταφοράς αυτές οι τεχνολογίες είναι συγχρόνως παρούσες όλες μαζί. Αυτό κυρίως οφείλεται στην εξέλιξη των υπηρεσιών και των τεχνολογιών αλλά και στο ότι οι χειριστές δικτύων χρειάζονται να εκμεταλλευτούν τις προηγούμενες επενδύσεις. Αυτές οι τεχνολογίες δικτύων αλληλεπιδρούν και συνεργάζονται με τη βοήθεια των τυποποιημένων λειτουργιών προσαρμογής. Ουσιαστικά, ένα ευρυζωνικό δίκτυο μεταφοράς μπορεί να εμφανιστεί ως μια στοίβα στρωμάτων (Εικόνα 5.1). Κάθε στρώμα είναι σε γενικές γραμμές ένα ενιαίο δίκτυο τεχνολογίας που παρέχει τη λειτουργία μεταφοράς στο ανώτερο στρώμα. Το δίκτυο μεταφοράς γίνεται επομένως, ένα πολυστρωματικό δίκτυο. Το στρώμα που παρέχει τη λειτουργία μεταφοράς καλείται στρώμα κεντρικών υπολογιστών (ή χαμηλότερο) και το στρώμα που χρησιμοποιεί το στρώμα κεντρικών υπολογιστών καλείται στρώμα χρηστών (ή υψηλότερο) (παραδείγματος χάριν το στρώμα του ATM είναι χρήστης για το στρώμα SDH που είναι ένα στρώμα χρηστών για το WDM στρώμα). Η Εικόνα 5.1 εμφανίζει μερικές πολυστρωματικές διαμορφώσεις δικτύων που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν υπηρεσίες που βασίζονται σε IP.



Εικόνα 5.1 Πολυστρωματικές διαμορφώσεις δικτύων

Οι μεμονωμένοι μηχανισμοί που ανιχνεύουν και που ανακτούν το δίκτυο από τις αποτυχίες, μπορούν να επεκταθούν σε κάθε στρώμα δικτύων. Η γενική στρατηγική της επιβιωσιμότητας πρέπει να εναρμονίσει τις δραστηριότητες των παραπάνω μηχανισμών με

έναν οικονομικώς αποδοτικό τρόπο. Στη συνέχεια κάνουμε μια μικρή αναφορά στην ικανότητα επιβίωσης των παραπάνω στρώματων.

α. Η ικανότητα επιβίωσης στο IP επίπεδο είναι ένα έμφυτο χαρακτηριστικό γνώρισμα των πρωτοκόλλων IP καθώς κάθε πακέτο καθοδηγείται χωριστά μέσω του δικτύου. Οι αποτυχημένες συνδέσεις μπορούν να αποφευχθούν από τις αποφάσεις δρομολόγησης που γίνονται από πακέτο προς πακέτο. Συχνά χρησιμοποιούνται βρόχοι που μπορούν να εισαχθούν στις διαδρομές κατά τη διάρκεια μιας παροδικής περιόδου μετά από την αποτυχία, έως ότου να ενημερωθούν με συνέπεια όλοι οι πίνακες δρομολόγησης [28].

β. Οι μηχανισμοί της ικανότητας επιβίωσης στο στρώμα του ATM είναι ουσιαστικοί προκειμένου να ανακτηθούν από το ATM οι συγκεκριμένες αποτυχίες, όπως η υποβάθμιση απόδοσης του VPCs ή VCCs. Όπως έχουμε αναφέρει η αποκατάσταση υπηρεσιών απαιτεί γρήγορες, οικονομικά αποδοτικές και εύχρηστες λύσεις. Για ορισμένους τύπους αποτυχίας, όπως η υποβάθμιση QoS, η ικανότητα επιβίωσης στο στρώμα του ATM μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση. Στο στρώμα του ATM οι διαδρομές που ακολουθούν οι καθορισμένες συνδέσεις είναι ανεξάρτητες από το εύρος ζώνης συχνοτήτων των ανατιθέμενων συνδέσεων. Το ATM έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εγκαταστήσει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές αποκατάστασης χωρίς να δεσμεύει το εύρος ζώνης τους, γεγονός που μειώνει σημαντικά το χρόνο αποκατάστασης. Συγκρινόμενο με το SDH, το ATM στρώμα προσφέρει τα πλεονεκτήματα της γρηγορότερης ανίχνευσης βλαβών / υποβάθμισης, της πιθανής προστασίας για τις αποτυχίες κόμβων, του λιγότερου απαραίτητου πλεονασμού της χωρητικότητας, και της ευελιξίας της παροχής προστασίας που βασίζεται στις επιθυμητές στρατηγικές μάρκετινγκ. Καθώς οι υπηρεσίες για μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες, σε μεγάλο εύρος ζώνης για διασύνδεση τοπικών δικτύων εισάγονται βαθμιαία στο δίκτυο, η μεταφορά δακτυλίων SDH αρχίζει να εμφανίζει την ανικανότητά της να χειριστεί αυτό το είδος της κυκλοφορίας αποτελεσματικά. Προκειμένου να υπερνικηθεί αυτή η ανεπαρκής χρήση του εύρους ζώνης συχνοτήτων για τις ευρυζωνικές υπηρεσίες, τα διοικητικά σχέδια εύρους ζώνης συχνοτήτων κυκλοφορίας εργασίας μπορούν να βασιστούν στα στρώματα ATM VC και VP.

γ) Οι αξιόπιστες τεχνικές ικανότητας επιβιωσιμότητας στα δίκτυα SDH έχουν φθάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο ωριμότητας. Στηρίζονται κυρίως στα αυτόματα σχέδια μεταγωγής της προστασίας και επάνω στις τοπολογίες. Τα SDH δίκτυα βασισμένα σε τοπολογία δακτυλίου έχουν επεκταθεί. Ο περιορισμός της τοπολογίας δικτύων σε έναν δακτύλιο απλοποιεί τη διαχείριση και το κόστος αποκατάστασης. Οι αξιόπιστες τεχνικές αποκατάστασης για τα δίκτυα SDH αναφέρονται λεπτομερέστερα σε επόμενα κεφάλαια της παρούσας μελέτης [31].

δ) Η διαχείριση βλαβών των WDM οπτικών δικτύων είναι σύνθετη και αυτό οφείλεται στην τεράστια ποσότητα πληροφοριών που μπορεί να χαθεί σε ένα δευτερόλεπτο. Οι προτεινόμενες στρατηγικές μετατροπής προστασίας είναι βασισμένες στο αποκαλούμενο οπτικό στρώμα. Στο οπτικό στρώμα, το ανώτερο στρώμα του που είναι το οπτικό στρώμα μονοπατιών, είναι διαιρεμένο σε οπτικά τμήματα, τα οποία είναι διαιρεμένα σε τμήματα ινών. Η μετατροπή προστασίας μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε από αυτά τα υποστρώματα, αλλά η πολυπλοκότητα αυξάνει καθώς κινείται προς τα πάνω στην στοιβα των υποστρώματων. Υπάρχει γενική συμφωνία ότι η μεταγωγή πρέπει να πραγματοποιηθεί όταν ανιχνεύεται η αποτυχία και αυτή η διαδικασία πρέπει να αφορά μόνο το οπτικό στρώμα. [29] [23][24].

6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

6.1 Χαρακτηριστικά της Προστασίας Μετάδοσης

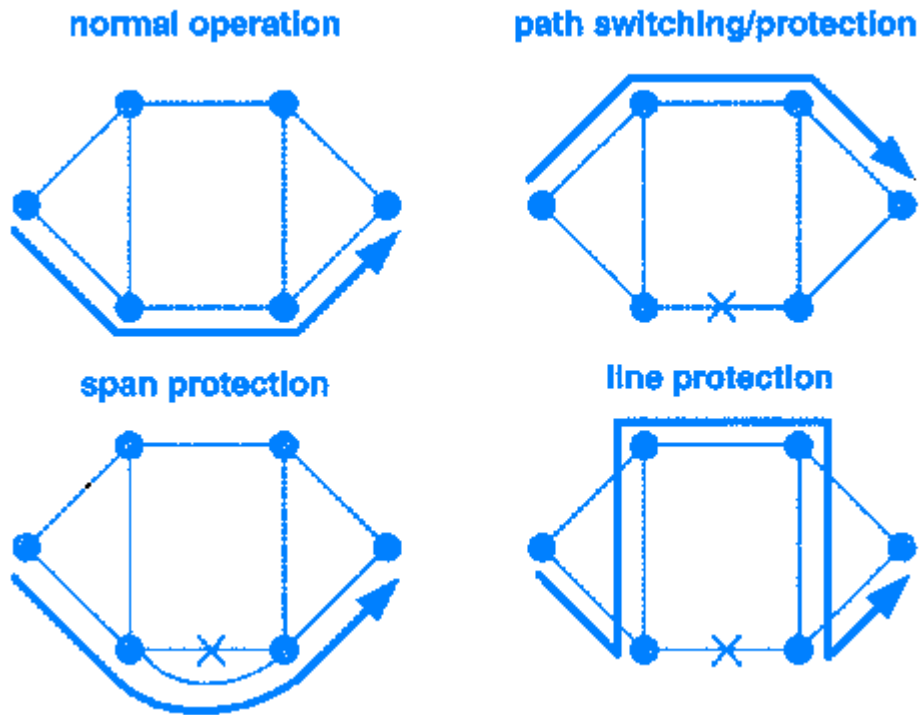
Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους προστασίας μπορεί να διακριθεί με την εξέταση των ακόλουθων χαρακτηριστικών.

Υπάρχουν δύο τρόποι διαχείρισης της κυκλοφορίας όταν επιστρέφει πάλι ένα αποτυχημένο μονοπάτι που χρησιμοποιείται. Η μη αναστρέψιμη προστασία δεν μεταστρέφει πίσω στο προηγούμενο χρησιμοποιούμενο μονοπάτι αλλά χρησιμοποιεί το αποκατεστημένο μονοπάτι ως μονοπάτι προστασίας. Η μεταστρεφόμενη προστασία, που χρησιμοποιείται συνήθως με I:N προστασία, μεταστρέφει πίσω στο προηγούμενο χρησιμοποιημένο μονοπάτι.

Δεύτερο κριτήριο αποτελεί το ποιος ελέγχει τη διαδικασία προστασίας και πώς το μονοπάτι προστασίας που καθοδηγείται μέσω του δικτύου, μπορεί να διακριθεί. Οι τρεις δυνατότητες απεικονίζονται στην Εικόνα 6.1.

Σημαντική είναι και η μετάδοση μονοπατιών, που αναφέρεται επίσης στην προστασία μονοπατιών, όπου η αποκατάσταση της κίνησης σε περίπτωση λάθους αντιμετωπίζεται από την πηγή και τον προορισμό σε περίπτωση αποτυχίας, κάπου κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ των κόμβων. Ένα άκρη-προς-άκρη μονοπάτι αποκατάστασης χρησιμοποιείται, το οποίο είναι εντελώς αποσυνδεδεμένο με το αρχικό μονοπάτι.

Στη μετάδοση γραμμών, η αποκατάσταση κυκλοφορίας αντιμετωπίζεται από τους κόμβους που είναι όμοροι στην περιοχή του λάθους. Η μετάδοση γραμμών μπορεί να εφαρμοστεί ως προστασία ζεύξης ή προστασία γραμμών. Μια αποκοπή ινών μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να αποκατασταθεί χρησιμοποιώντας την προστασία ζεύξης. Με αυτή την πρακτική, η κυκλοφορία μεταδίδεται επάνω σε μια άλλη ίνα μεταξύ των ίδιων κόμβων. Εάν αυτό δεν είναι πιθανό (επειδή καμία πρόσθετη ίνα δεν είναι διαθέσιμη), η προστασία γραμμής πρέπει να χρησιμοποιηθεί, όπου οι δύο κόμβοι δίπλα στην αποτυχημένη ίνα ψάχνουν ένα μονοπάτι γύρω από την αποτυχημένη ίνα. Εικόνα 6.1.[2]

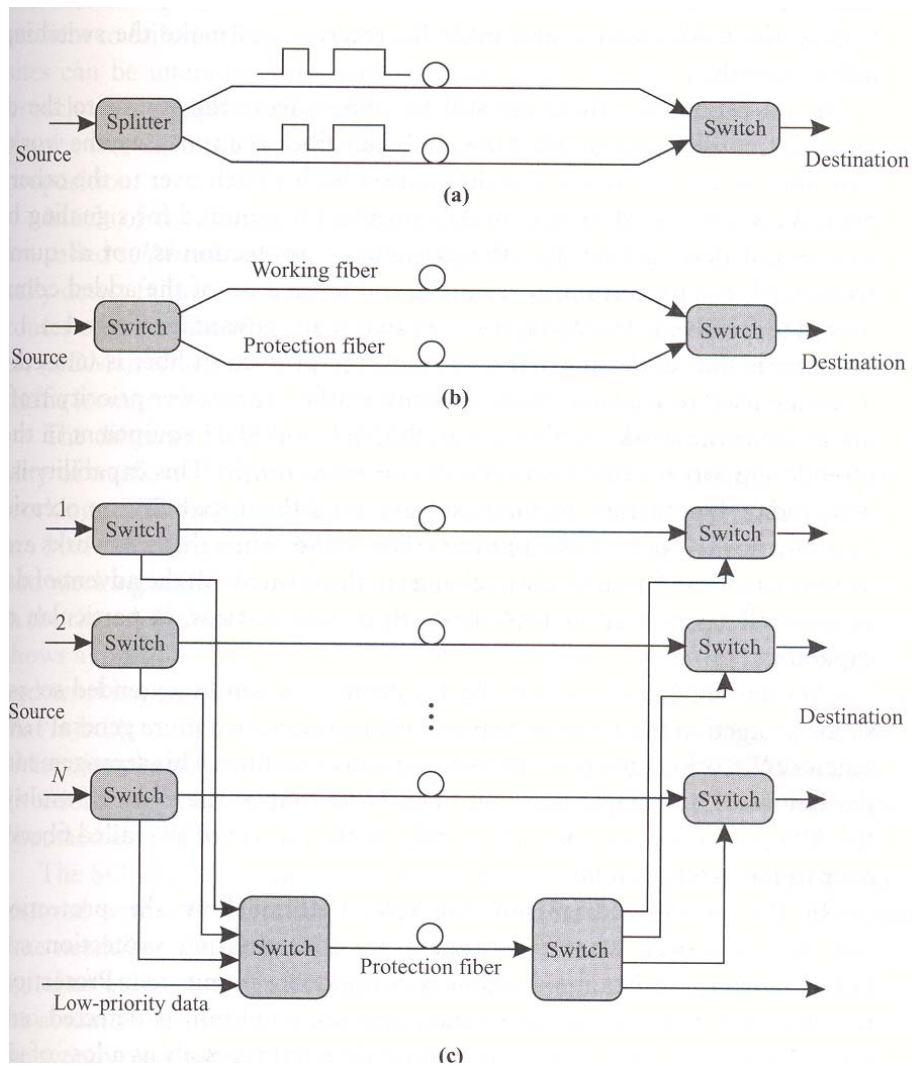


Εικόνα 6.1 Σύγκριση μετάδοσης γραμμών και γραμμής μετάδοσης μετά από αποκοπή οπτικής ίνας

6.2 Τύποι προστασίας

Δύο θεμελιώδεις τύποι μηχανισμών προστασίας χρησιμοποιούνται στις από σημείο σε σημείο συνδέσεις:

1 + 1 προστασία και 1: 1 ή, γενικότερα, 1 :N προστασία, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 Και οι δύο λειτουργούν στη γραμμή ή το πολλαπλό στρώμα τμημάτων.



Σχήμα 6.1 Διαφορετικές τεχνικές ειδών προστασίας σε από σημείο σε σημείο συνδέσεις (a) 1+1 προστασία όπου το σήμα μεταφέρεται ταυτόχρονα και στα δύο μονοπάτια (b) 1:1 προστασία όπου το σήμα μεταφέρεται σ' ένα ενεργό μονοπάτι κάτω από κανονικές συνθήκες αλλά μεταδίδεται σ' ένα προστατευόμενο μονοπάτι μετά από μια αποτυχία (c) 1:N προστασία η οποία είναι η γενικότερη μορφή της 1:1 προστασίας όπου N ενεργά μονοπάτια μοιράζονται ένα ενιαίο μονοπάτι προστασίας.

Τύπος 1+1

Σε 1 + 1 προστασία, η κυκλοφορία διαβιβάζεται ταυτόχρονα σε δύο χωριστές ίνες (συνήθως σε χωριστές διαδρομές) από την πηγή στον προορισμό. Υποθέτοντας ότι έχουμε ομοιοκατευθυνόμενη μεταγωγή προστασίας, ο προορισμός επιλέγει απλά μια από τις δύο ίνες για τη λήψη. Εάν η ίνα που επιλέγει κοπεί, ο προορισμός απλά μεταστρέφεται σε άλλη ίνα και εκεί συνεχίζει να λαμβάνει τα δεδομένα. Αυτή η μορφή προστασίας είναι πολύ γρήγορη και δεν απαιτείται κανένα πρωτόκολλο για σήμα μεταξύ των δύο άκρων. Δεδομένου ότι οι συνδέσεις είναι συνήθως πλήρως ντούμπλεξ, υπάρχει στην πραγματικότητα ένα ζευγάρι ινών μεταξύ των δύο κόμβων, του κόμβου A, για παράδειγμα, και του κόμβου B για την ενεργή κυκλοφορία. Η μια ίνα φέρνει την κυκλοφορία από το A στο B, και η άλλη φέρνει την κυκλοφορία από το B στο A. Επιπλέον υπάρχει ένα άλλο ζευγάρι ινών για την

προστασία της κυκλοφορίας. Ο δέκτης του A κόμβου και ο δέκτης του B κόμβου μπορούν να παίρνουν τις αποφάσεις μεταγωγής ανεξάρτητα.

Τύπος 1:1

Σε 1: 1 προστασία, υπάρχουν επίσης δύο ίνες από την πηγή στον προορισμό. Εντούτοις, η κυκλοφορία διαβιβάζεται μόνο από τη μια ίνα κάθε φορά, για παράδειγμα, την ίνα που είναι ενεργή. Εάν αυτή η ίνα κοπεί, και οι δύο η πηγή και ο προορισμός μεταστρέφονται στην άλλη ίνα προστασίας. Ένα APS πρωτόκολλο [20] απαιτείται για σήμα μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Έτσι η 1: 1 προστασία δεν είναι τόσο γρήγορη στην αποκατάσταση της κυκλοφορίας όσο η ομοιοκατευθυνόμενη 1 + 1 προστασία λόγω της προστιθέμενης επικοινωνίας που περιλαμβάνεται. Εντούτοις, προσφέρει δύο βασικά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι κατά την κανονική λειτουργία, η ίνα προστασίας είναι αχρησιμοποίητη. Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαβιβάσει την κυκλοφορία χαμηλής προτεραιότητας. Αυτή η κυκλοφορία χαμηλής προτεραιότητας πρέπει να απορριφθεί εάν η ενεργή ίνα κοπεί. Ο εξοπλισμός SONET και SDH παρέχουν την υποστήριξη για αυτήν την χαμηλής προτεραιότητας ή πρόσθετη κυκλοφορία. Αυτή η δυνατότητα δεν χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα, αλλά οι παρέχοντες κυκλοφορίας στο παρελθόν την χρησιμοποιούσαν στην περίπτωση μεταφοράς στοιχείων «χαμηλής προτεραιότητας» ή ακόμα και κατά την μεταφορά φωνής, όταν τα δίκτυά τους προσωρινά ξεπερνούν το δυναμικό τους. Αυτό είναι πιθανό να αλλάξει στο μέλλον με την εμφάνιση των υπηρεσιών δεδομένων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτήν την δυνατότητα.

Τύπος 1:N

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η 1: 1 προστασία μπορεί να επεκταθεί ώστε να μοιραστεί μια ενιαία ίνα προστασίας μεταξύ πολλών ενεργών ινών. Σε ένα γενικότερο 1:N σχέδιο προστασίας, οι N ενεργείς ίνες μοιράζονται μια ενιαία ίνα προστασίας. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να χειριστεί την αποτυχία οποιασδήποτε ενιαίας ενεργής ίνας. Επίσης σε περίπτωση πολλαπλών αποτυχιών, το APS πρωτόκολλο πρέπει να εξασφαλίσει ότι η κυκλοφορία μεταστρέφεται μόνο από μια από τις αποτυχημένες ίνες στην ίνα προστασίας.

Μιλήσαμε για το πώς γίνεται η προστασία, αλλά δεν αναφέραμε ποιες είναι οι ωθήσεις για να ξεκινήσει η μεταγωγή της προστασίας [27]. Σε SONET/SDH, το εισερχόμενο σήμα ελέγχεται συνεχώς. Η μεταγωγή προστασίας ξεκινάει εάν ένα σήμα αποτύχει ή μια συνθήκη υποβιβασμού σήματος ανιχνευθεί στη γραμμή. Μια αποτυχία σήματος αντιπροσωπεύει μια σκληρή αποτυχία και τυπικά ανιχνεύεται ως απώλεια σήματος ή ως απώλεια του πλαισίου SONET/SDH. Πέρα από τα 60 χιλιοστά του δευτερολέπτου(ms) που επιτρέπονται για την αποκατάσταση, η ανίχνευση της αποτυχίας και η έναρξη της μετατροπής προστασίας πρέπει να εκτελεστούν μέσα σε 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms).[2]

6.3 Αυτοθεραπευόμενοι δακτύλιοι

Τα δίκτυα δακτυλίων έχουν γίνει πολύ δημοφιλή στις μεταφορές καθώς επίσης και στα επιχειρησιακά δίκτυα [19]. Ένας δακτύλιος είναι η απλούστερη τοπολογία 2-συνδεόμενων, δηλαδή παρέχει δύο χωριστά μονοπάτια μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού κόμβων που δεν έχουν καθόλου κοινούς κόμβους ή συνδέσεις εκτός από τους κόμβους πηγής και προορισμού. Αυτό επιτρέπει σε ένα δίκτυο δακτυλίων να είναι ανθεκτικό στις αποτυχίες. Οι δακτύλιοι είναι επίσης αποδοτικοί όσον αφορά την προοπτική ίνας –πολλαπλές περιοχές μπορούν να διασυνδεθούν με ένα ενιαίο φυσικό δακτύλιο. Σε αντίθεση, η προσέγγιση μέσω της κεντρικής συσκευής hub θα απαιτούσε να τοποθετηθούν ίνες μεταξύ κάθε περιοχής και ενός κόμβου κεντρικών συσκευών, και θα απαιτούσε δύο χωριστές διαδρομές μεταξύ κάθε περιοχής και της κεντρικής συσκευής, η οποία είναι πολύ πιο ακριβή πρόταση.

Ένα μεγάλο μέρος για την υποδομή μεταφοράς χρησιμοποιεί σήμερα τους δακτυλίους SONET/SDH. Αυτοί οι δακτύλιοι καλούνται αυτοθεραπευόμενοι δεδομένου ότι ενσωματώνουν τους μηχανισμούς προστασίας οι οποίοι αυτόματα ανιχνεύουν τις αποτυχίες και γρήγορα κατευθύνουν την κυκλοφορία μακριά από τις αποτυχημένες συνδέσεις και τους

κόμβους επάνω σε άλλες διαδρομές. Οι δακτύλιοι εφαρμόζονται χρησιμοποιώντας τους πολυπλέκτες ADMs (Add/Drop Multiplexers). Αυτή η ADMs μέθοδος επιλεκτικά αφαιρεί και προσθέτει κυκλοφορία από/προς το δακτύλιο καθώς επίσης προστατεύει την κυκλοφορία στις αποτυχίες.

Οι διαφορετικοί τύποι αρχιτεκτονικής δακτυλίων διαφέρουν σε δύο πτυχές: στην κατευθυντικότητα της κυκλοφορίας και στους μηχανισμούς προστασίας που χρησιμοποιούνται. Ένας ομοιοκατευθυνόμενος δακτύλιος μεταφέρει την κυκλοφορία μόνο σε μια κατεύθυνση του δακτυλίου (έστω, δεξιόστροφα), όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2. Η κυκλοφορία από τον κόμβο Α στον κόμβο Β μεταφέρεται δεξιόστροφα κατά μήκος του δακτυλίου και η κυκλοφορία από το Β στο Α μεταφέρεται επίσης δεξιόστροφα, σε ένα διαφορετικό σύνολο συνδέσεων στο δακτύλιο. Ένας αμφίδρομος δακτύλιος μεταφέρει την κυκλοφορία και στις δύο κατευθύνσεις. Η εικόνα 6.6 δείχνει ένα τεσσάρων-ινών αμφίδρομο δακτύλιο. Η κυκλοφορία από το Α στο Β μεταφέρεται σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού (δεξιόστροφα), και η κυκλοφορία από το Β στο Α μεταφέρεται αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού κατά μήκος του δακτυλίου. Και στους δύο ομοιοκατευθυνόμενους και αμφίδρομους δακτυλίους SONET/SDH, όλες οι συνδέσεις είναι αμφίδρομες και χρησιμοποιούν το ίδιο ποσό εύρους ζώνης συχνοτήτων και στις δύο κατευθύνσεις. Οι δύο κατευθύνσεις μιας σύνδεσης δρομολογούνται διαφορετικά βασισμένες στον τύπο του δακτυλίου.

Τα πρότυπα SONET/SDH υπαγορεύουν ότι στους δακτυλίους SONET/SDH, η υπηρεσία πρέπει να αποκατασταθεί μέσα σε 60 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) μετά από μια αποτυχία. Αυτό περιλαμβάνει διάφορα συστατικά: το χρόνο που χρειάζεται για να ανιχνευθεί η αποτυχία, για τον οποίο δεσμεύονται 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms), το χρόνο που χρειάζεται για να δώσει σήμα σε άλλους κόμβους στο δίκτυο (εάν απαιτείται), συμπεριλαμβανομένων των καθυστερήσεων διάδοσης, τον πραγματικό χρόνο μετατροπής και το χρόνο που απαιτείται για το συγχρονισμό πλαισίων μετά από τη μεταγωγή που έχει συμβεί.

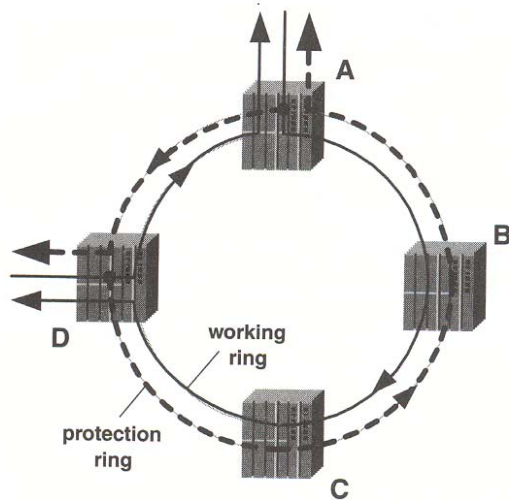
Τρεις αρχιτεκτονικές δακτυλίων έχουν επεκταθεί ευρέως: δύο-ινών ομοιοκατευθυνόμενοι τύπου μονοπάτι-μεταστρεφόμενοι δακτύλιοι (UPSR), τεσσάρων-ινών αμφίδρομοι τύπου γραμμή-μεταστρεφόμενοι δακτύλιοι (BLSR/4), και δύο-ινών αμφίδρομοι τύπου γραμμή-μεταστρεφόμενοι δακτύλιοι (BLSR/2). Σε SDH, η 1 + 1 προστασία μονοπατιών έχει καθοριστεί για να λειτουργήσει σε μια γενικότερη τοπολογία πλέγματος και καλείται προστασία σύνδεσης υποδικτύων (SNCP).

Οι τοπολογίες δακτυλίων είναι πολύ δημοφιλείς επειδή ένας δακτύλιος είναι ο απλούστερος τρόπος να διασυνδεθεί κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο με δύο άλλους κόμβους για να παρέχει τον πλεονασμό. Διάφοροι μηχανισμοί για την προστασία της μετάδοσης έχουν αναπτυχθεί για την τεχνολογία SONET/SDH. Αυτοί οι μηχανισμοί κατέστησαν πιθανή την επέκταση του διαθέσιμου χρόνου διαμοιρασμού της πολυπλεξίας (TDM) σε δίκτυα δακτυλίων με χρόνους αποκατάστασης κάτω από 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms). Παρακάτω αναφερόμαστε στις πιο κοινές αρχιτεκτονικές δακτυλίων προστασίας SONET/SDH. Εντούτοις, αυτές οι παρακάτω αρχιτεκτονικές δεν είναι απλώς για SONET/SDH, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για τα δίκτυα δακτυλιδίων DWDM. [34][35] [38]

6.4 Προστασία σε Δίκτυα με τοπολογία Δακτυλίου

6.4.1 Δακτύλιοι διπλής-ίνας μονής κατεύθυνσης (UPSR)

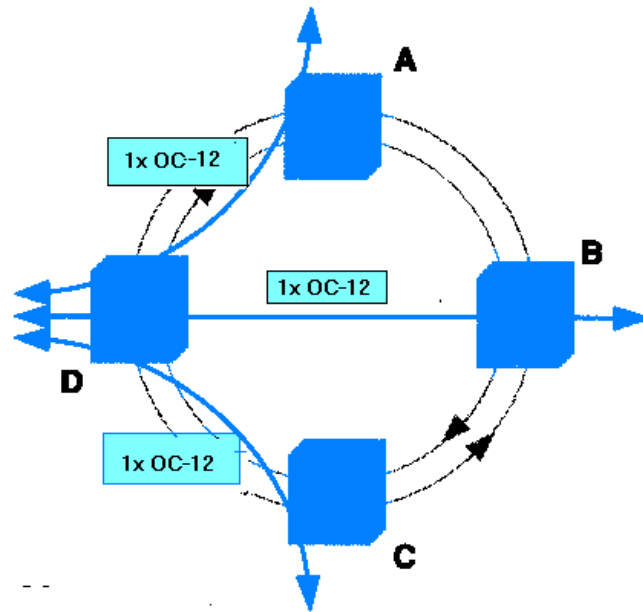
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2, οι δακτύλιοι με μονοπάτια μονής κατεύθυνσης (UPSRs)είναι δακτύλιοι διπλών-ινών. Ο ένας δακτύλιος λειτουργεί για την μετάδοση (working ring) ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιείται για τους σκοπούς προστασίας.



Εικόνα 6.2 Δακτύλιοι διπλής-ίνας μονής κατεύθυνσης (UPSR)

Η κυκλοφορία μεταξύ δύο κόμβων ανταλλάσσεται με τον τρόπο της μιας κατεύθυνσης . Στην παραπάνω Εικόνα 6.2 η κυκλοφορία από τον κόμβο D στο A στέλνεται από το αριστερό ανώτερο μέρος του ενεργού δακτυλίου ενώ η κυκλοφορία επιστροφής από τον κόμβο A στο D στέλνεται στο άλλο μέρος του ίδιου δακτυλιδιού. Τα UPSRs διευκολύνουν τα 1 + 1 μονοπάτια προστασίας . Επομένως, η κυκλοφορία στέλνεται επίσης ταυτόχρονα από το n δακτύλιο προστασίας στην άλλη κατεύθυνση. Ο κόμβος που λαμβάνει συγκρίνει και τα δύο σήματα και παίρνει το καλύτερο. Η απλότητα και ένας πολύ μικρός χρόνος αποκατάστασης πολύ χαμηλότερος από 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου ms είναι τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής UPSR. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής UPSR είναι ότι μια αποτυχία κόμβων και μια αποτυχία της ίνας μετάδοσης και της ίνας προστασίας δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν. Ένα άλλο μεγάλο μειονέκτημα είναι η ανεπάρκεια εύρους ζώνης συχνοτήτων. Η χωρητικότητα των δακτυλίων περιορίζεται με την ταχύτητα του δακτυλίου. Αυτό σημαίνει ότι το ποσό όλης της κίνησης που τροφοδοτείται στον δακτύλιο πρέπει να είναι χαμηλότερο ή ίσο με την ταχύτητα των δακτυλίων.

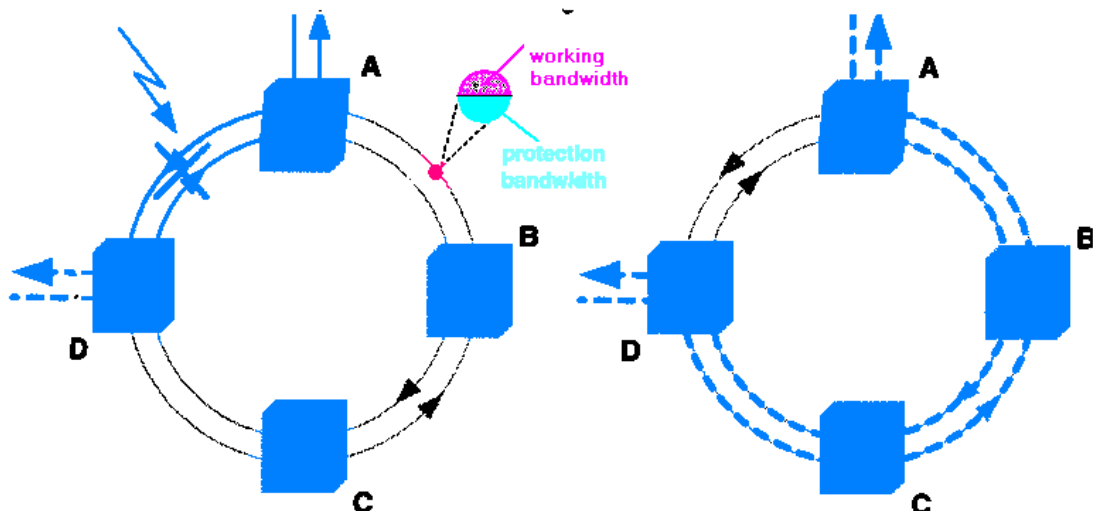
Τα UPSRs χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά μέσα στη μητροπολιτική περιοχή ως δακτύλιοι πρόσβασης για να αθροίσουν τις πολυάριθμες θέσεις σε ένα κεντρικό γραφείο. Η Εικόνα 6.3 εμφανίζει ένα παράδειγμα για το ένα τέτοιο πρότυπο κυκλοφορίας. Το κεντρικό γραφείο αντιπροσωπεύεται από τον κόμβο D. Οι θέσεις A και C συνδέονται καθεμία με έναν σωλήνα Oc-12 στην κεντρική περιοχή και η θέση B με δύο Oc- 12 σωλήνες. Δεν θα μπορούσαν να προστεθούν άλλες θέσεις επειδή το συνολικό δυναμικό μονάδας του UPSR συμφωνεί ήδη με τη χρήση.



Εικόνα 6.3 Συνολική χωρητικότητα τεσσάρων κόμβων UPSR

6.4.2 Δακτύλιοι διπλής ίνας αμφίδρομης κατεύθυνσης (2-ίνα BLSRs)

Σύμφωνα με την Εικόνα 6.4, οι δακτύλιοι αμφίδρομης μετάδοσης (BLSRs) είναι επίσης διπλοί δακτύλιοι ινών. Αντίθετα από UPSRs, και οι δυο δακτύλιοι ενεργούν ως δακτύλιοι μετάδοσης και προστασίας. Το εύρος ζώνης συχνοτήτων κάθε δακτυλίου είναι χωρισμένο σε δύο μέρη: Κάποιος χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της κίνησης, και η άλλη χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της κίνησης της προστασίας.

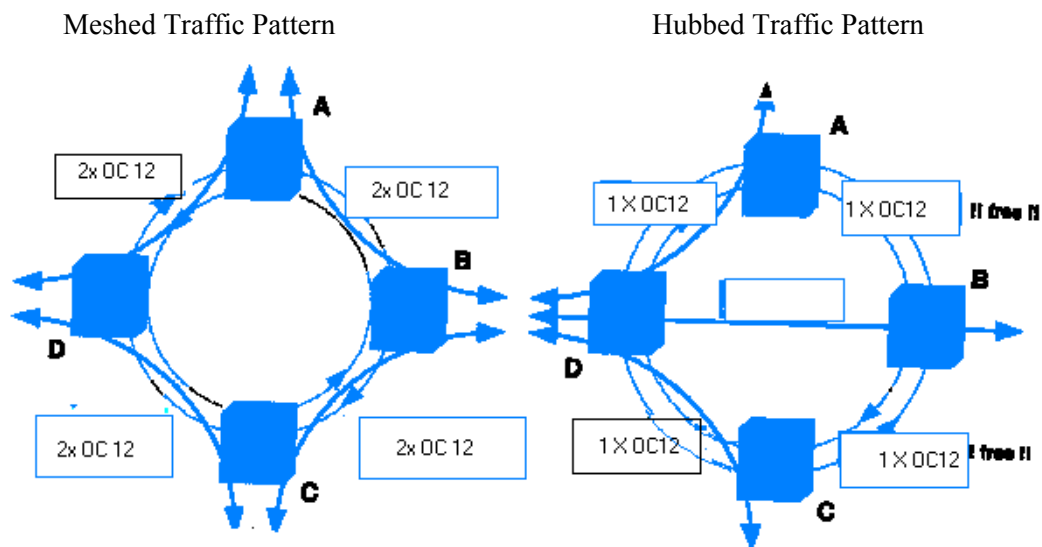


Εικόνα 6.4 2-ίνα BLSRs 1:1 προστασία γραμμής

Η κυκλοφορία μεταξύ δύο κόμβων ανταλλάσσεται με έναν αμφίδρομο τρόπο, χρησιμοποιώντας και τους δύο δακτυλίους ταυτόχρονα. Κοιτάζοντας την Εικόνα 6.4, η κυκλοφορία από τον κόμβο D στον κόμβο A στέλνεται από το εσωτερικό δακτύλιο, και η

κυκλοφορία επιστροφής από το A στο D διαβιβάζεται από το εξωτερικό δακτύλιο. Στην 2-ίνα BLSRs χρησιμοποιείται 1:1 προστασία γραμμών. Σε περίπτωση αποτυχίας, η κυκλοφορία μεταστρέφεται στην άλλη ίνα στην κατεύθυνση αντίθετη από το λάθος. Η αποτυχία μπορεί να είναι μια αποτυχία κόμβων ή μια αποκοπή της μιας ή και των δύο ινών μιας ζεύξης. Υπάρχουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα της 2-ίνας BLSRs, που συγκρίνονται με UPSRs. Πρώτον, σε περίπτωση κίνησης με τη χρήση συστημάτων ψηφιακής διασύνδεσης DCSS που συνδέονται με πολυγωνική αρχιτεκτονική (meshed traffic) ή σε τοπολογία δακτυλίου, το εύρος ζώνης συχνοτήτων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε μερικές ζεύξεις, αυξάνοντας το συνολικό εύρος ζώνης συχνοτήτων. Θεωρώντας πάλι την αρχιτεκτονική δακτυλίων με τέσσερις κόμβους, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.5, η συνολική χωρητικότητα της 2-ίνας BLSR μπορεί να είναι μεγαλύτερη μέχρι και δύο φορές της ταχύτητας δακτυλίων για ένα πρότυπο με πολυγωνική αρχιτεκτονική σύνδεσης. Σε περίπτωση που το πρότυπο κίνησης γίνεται μέσω κέντρων (hubs) όπως με το UPSR, η χωρητικότητα είναι αρκετά η ίδια με ένα UPSR με τέσσερις κόμβους. Η διαφορά είναι κάποιο ελεύθερο εύρος ζώνης συχνοτήτων στις ζεύξεις A-B και B-C.

Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι το εύρος ζώνης συχνοτήτων προστασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φέρει την κυκλοφορία χαμηλής-προτεραιότητας κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, επειδή διευκολύνεται η 1:1 προστασία. Το αντίστοιχο SDH του SONET BLSR με τις παρόμοιες λειτουργίες καλείται Τμήμα Πολυπλεξίας για διαμοιραζόμενους δακτυλίους προστασίας (Multiplex Shared Protection (MS-SPRing) [39].

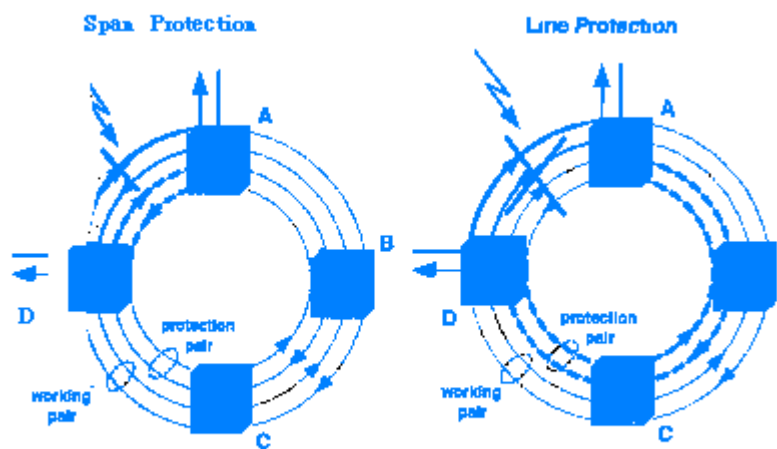


Εικόνα 6.5 Συνολική χωρητικότητα δακτυλίου τεσσάρων κόμβων διπλής ίνας με δακτυλίους αμφίδρομης μετάδοσης γραμμής

6.4.3 Δακτύλιοι τετραπλής-ίνα αμφίδρομης κατεύθυνσης (4-ίνα BLSR)

Βλέποντας την Εικόνα 6.6 παρατηρούμε ότι χρησιμοποιούνται 4-ινες BLSRs για την διασύνδεση κόμβων σε έναν δακτύλιο. Δύο δακτύλιοι χρησιμοποιούνται για να μεταδώσουν την κίνηση και δύο δακτύλιοι χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της προστασίας στην αντίθετη κατεύθυνση.

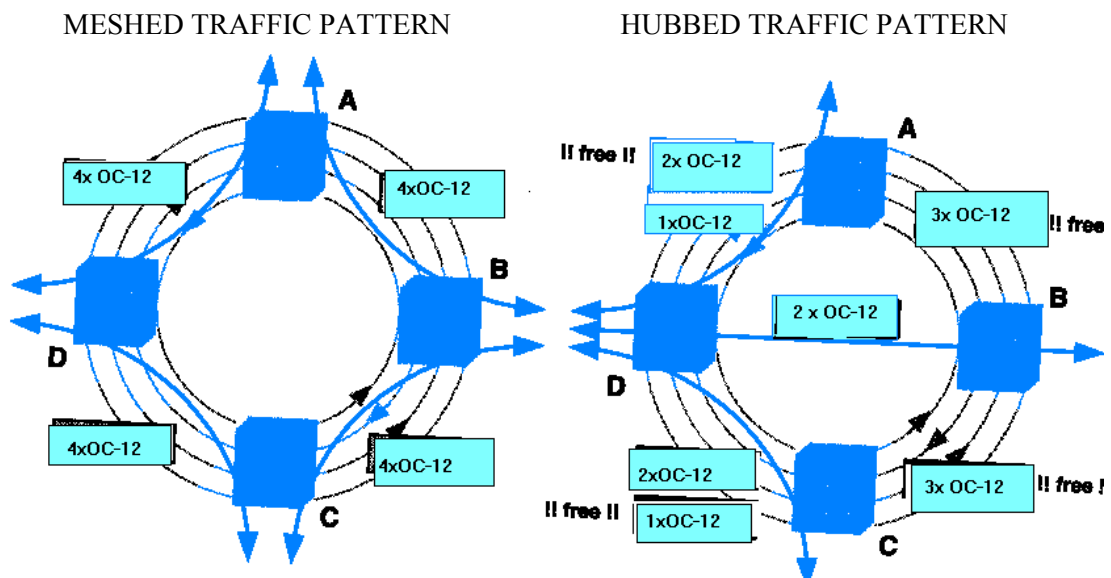
Επίσης στην 4-ίνα BLSRs, η κίνηση μεταξύ δύο κόμβων ανταλλάσσεται με έναν αμφίδρομο τρόπο, χρησιμοποιώντας δύο δακτυλίους. Με βάση την Εικόνα 6.6 οι τέσσερις δακτύλιοι είναι χωρισμένοι για την μετάδοση και την προστασία σε ζευγάρια οι δύο από τους δακτυλίους μετάδοσης χρησιμοποιούνται για να ανταλλάξουν την κίνηση μεταξύ των κόμβων D και A.



Εικόνα 6.6 4-ίνα με δακτυλίους αμφίδρομης γραμμής μετάδοσης χρησιμοποιώντας 1:1 προστασία και προστασία γραμμής

Στην περίπτωση όπου μια ίνα αποτυγχάνει, η προστασία 1:1 χρησιμοποιείται. Η κυκλοφορία μεταστρέφεται απλά επάνω στη συνδεδεμένη ίνα προστασίας στην ίδια ζεύξη. Εάν και οι δυο αποτύχουν, δηλαδή της μετάδοσης μαζί με τις σχετιζόμενες για την προστασία τότε 1:1 προστασία γραμμής πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, η κίνηση μεταστρέφεται επάνω σε μια ίνα προστασίας με κατεύθυνση αντίθετη από το λάθος, όπως γίνεται στην 2-ίνα BLSRs.

Θεωρώντας πάλι την αρχιτεκτονική των δακτυλίων με τέσσερις κόμβους με 4OC-12 τον καθένα όπως φαίνεται στην εικόνα 6.7 η συνολική χωρητικότητα των 4-ινών BLSR μπορεί να είναι μέχρι τέσσερις φορές μεγαλύτερη της ταχύτητας για κίνηση με τη χρήση πρότυπου κυκλοφορίας πολυγωνικών αρχιτεκτονικών. Σε περίπτωση που το πρότυπο κίνησης γίνεται μέσω κέντρων (hubs) όπως με το UPSR, η χωρητικότητα των δακτυλίων είναι αρκετά χαμηλότερη όπως ήταν επίσης με την 2-ίνα BLSR. Εντούτοις, στην 4-ίνα BLSR, υπάρχει ελεύθερο εύρος ζώνης συχνοτήτων και σε στις τέσσερις ζεύξεις.



Εικόνα 6.7 Συνολική χωρητικότητα για 4-κόμβους 4^{th} -ίνιας BLSR

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που εισάγονται από 2- BLSRs, υπάρχει το πλεονέκτημα την υποστήριξη προστασίας μονοπατιών κατά χρησιμοποίηση της αρχιτεκτονικής 4-ίνων BLSR. Λόγω της αποδοτικότητας εύρους ζώνης συχνοτήτων και της ουσιαστικής λειτουργίας προστασίας η 4-ίνα BLSRs προτιμάται η αρχιτεκτονική για δακτυλίους μεγάλης απόστασης με σπονδυλική δομή [39].

7. Ικανότητα επιβίωσης στα WDM Δίκτυα

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει τεράστια έρευνα για τον σχεδιασμό των δικτύων μεταφοράς WDM (Wavelength Division Multiplexing). Δεδομένου ότι αυτά τα δίκτυα είναι επιρρεπή σε αποτυχίες και φέρουν μεγάλο ποσό κυκλοφορίας, η διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου διαθέσιμων υπηρεσιών είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Θα ερευνήσουμε ζητήματα σχεδιασμού και απόδοσης επιβίωσης στα WDM δίκτυα [18]. Ο σχεδιασμός των επιβιώσιμων δικτύων απαιτεί επιπλέον δυναμικό (μήκη κύματος και ίνες). Κατά συνέπεια, οποιοσδήποτε αλγόριθμος σχεδιασμού πρέπει να ελαχιστοποιήσει τα απαιτούμενα επιπλέον στοιχεία. Τα διάφορα πιθανά σχέδια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση αποτυχίας εξερευνούνται. Ένα σχέδιο αποκατάστασης χαρακτηρίζεται από τη λειτουργία του μήκους κύματος των συνδέσεων, της μεθόδου του ελεγκτή δικτύου, της τεχνικής που υιοθετείται για το μοίρασμα των στοιχείων, και της υπόθεσης για το μοντέλο αποτυχίας. Θα εστιάσουμε την προσοχή μας περισσότερο στο ενιαίο μοντέλο αποτυχίας συνδέσεων. Αυτό το μοντέλο υποθέτει ότι σε οποιαδήποτε στιγμή του χρόνου το πολύ μια σύνδεση έχει αποτύχει. Οι βασικές ιδέες και οι προσπελάσεις που χρησιμοποιούνται για τις αποτυχίες συνδέσεων μπορούν να επεκταθούν στις αποτυχίες κόμβων και επίσης στις

πολλαπλές αποτυχίες δικτύων (σύνδεση/κόμβος). Η απόδοση ενός σχεδίου αποκατάστασης [12] εξαρτάται από το πότε τα επιπλέον στοιχεία υπολογίζονται και διατηρούνται για τις αποτυχημένες συνδέσεις, είτε κατά την διάρκεια της σύνδεσης, ή μετά από την αποτυχία. Το πρόβλημα σχεδιασμού επιβιωσιμότητας δικτύων μπορεί να διατυπωθεί ως γραμμικό πρόβλημα προγραμματισμού ακέραιων αριθμών ILP (Integer Linear Programming). Οι γρηγορότερες ευρετικές λύσεις που παράγουν τις κοντινές βέλτιστες λύσεις προτιμώνται. Διάφορες σημαντικές μέθοδοι σχεδιασμού με το συγκεντρωμένο και διασκορπισμένο έλεγχο εξηγούνται. Αυτοθεραπευόμενοι δακτύλιοι SHRs (Self Healing Rings) σε SONET συστήματα έχουν πλεονεκτήματα όπως ο απλός έλεγχος και η γρηγορότερη αποκατάσταση αποτυχίας. Η έννοια SHR μπορεί να υιοθετηθεί στα WDM δίκτυα δακτυλίων. Τα WDM-SHRs έχουν προσθέσει τα πλεονεκτήματα της πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος και της πολυπλεξίας με διαίρεση χώρου.[15]

7.1 Αποτυχίες αποκατάστασης

Τα δίκτυα μεταφοράς με ένα οπτικό στρώμα μεταξύ του υψηλότερου στρώματος και του χαμηλότερου φυσικού μεσαίου στρώματος είναι ικανά να αντιμετωπίσουν τις νέες προκλήσεις που τίθενται από την αυξανόμενη ζήτηση για το εύρος ζώνης συχνοτήτων. Το οπτικό στρώμα είναι ένα διαφανές πρωτόκολλο και μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικά είδη υπηρεσιών και πρωτοκόλλων στα υψηλότερα στρώματα. Εξαιτίας των τεχνολογικών περιορισμών, ο αριθμός των μηκών κύματος που μπορεί να υποστηριχθεί σε μια ίνα είναι περιορισμένος σε μερικές εκατοντάδες μόνο. Αυτό απαιτεί τη χρήση των δικτύων πολλαπλών ινών όπου οι πολλαπλές ίνες είναι υιοθετημένες σε μια σύνδεση για να ικανοποιήσουν την ζήτηση κυκλοφορίας.

Τα WDM δίκτυα είναι επιρρεπή σε αποτυχίες των συστατικών όπως οι συνδέσεις, οι κόμβοι, και τα WXC (Wavelength Selective Crossconnects). Δεδομένου ότι αυτά τα δίκτυα φέρνουν υψηλές κυκλοφορίες, οι αποτυχίες μπορούν να έχουν σοβαρές συνέπειες. Επομένως, είναι επιτακτικό αυτά τα δίκτυα να έχουν την δυνατότητα ανοχής βλαβών. Η **ανοχή βλαβών** αναφέρεται στη δυνατότητα του δικτύου να μετατραπεί και να επανεγκαθιδρυθεί την επικοινωνία επάνω στην αποτυχία. Ένας σχετικός όρος, **αποκατάσταση**, αναφέρεται στη διαδικασία επαναδρομολόγησης -μετακίνησης της κυκλοφορίας από μια συστατική αποτυχία. Ένα δίκτυο με τη δυνατότητα αποκατάστασης είναι γνωστό ως **επιβιώσιμο δίκτυο** ή **δίκτυο αποκατάστασης**. Απαιτεί επιπλέον δυναμικό ή επιπλέον στοιχεία. Η αποκατάσταση μπορεί να παρασχεθεί στο οπτικό στρώμα μονοπατιών ή στο υψηλότερο στρώμα υπηρεσίας, κάθε ένα από τα οποία έχει τις αξίες του. Η αποκατάσταση στο οπτικό στρώμα έχει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως ο κοντύτερος χρόνος αποκατάστασης, η αποδοτική χρησιμοποίηση στοιχείου και η διαφάνεια πρωτοκόλλου, συγκρινόμενο με αυτήν στα στρώματα υπηρεσίας.

Τα πιθανά συστατικά που μπορούν να αποτύχουν στα WDM δίκτυα είναι συνδέσεις, ίνες, κόμβοι, κανάλια μήκους κύματος. Μια αποκοπή ίνας προκαλεί μια αποτυχία σύνδεσης. Όταν μια σύνδεση αποτύχει, όλες οι ίνες που την αποτελούν θα αποτύχουν. Μια αποτυχία κόμβων μπορεί να προκληθεί εξαιτίας της αποτυχίας του WXC. Μια ίνα μπορεί να αποτύχει εξαιτίας της αποτυχίας των τελικών συστατικών της (πολυπλέκτες μήκους κύματος / αποπολυπλέκτες) στο WXC. Ένα κανάλι μήκους κύματος μπορεί να αποτύχει εξαιτίας της αποτυχίας του συνδεδεμένου οπτικού διακόπτη στο WXC. Όταν ένα συστατικό αποτύχει, όλα τα μονοπάτια που χρησιμοποιούν αυτήν την περίοδο το συστατικό θα αποτύχουν. Το μονοπάτι που μεταφέρει κυκλοφορία κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας είναι γνωστό ως **αρχικό μονοπάτι**, **ενεργό μονοπάτι**, ή **μονοπάτι υπηρεσίας**. Όταν ένα αρχικό μονοπάτι αποτύχει, η κυκλοφορία μεταφέρεται σ' ένα νέο μονοπάτι γνωστό ως **εφεδρικό μονοπάτι** ή **μονοπάτι αποκατάστασης**. Η αποτυχία ανίχνευσης, ο εντοπισμός και η ανάλυση της ριζικής αιτίας είναι δύσκολα προβλήματα στα WDM οπτικά δίκτυα. Οι κόμβοι δίπλα στην αποτυχημένη σύνδεση μπορούν να ανιχνεύσουν την αποτυχία ελέγχοντας τα επίπεδα ισχύος των σημάτων στις συνδέσεις.

Τα σχέδια αποκατάστασης διαφέρουν στην υπόθεσή τους για τη λειτουργικότητα των συνδέσμων, της ζήτησης κυκλοφορίας, της απόδοσης μετρικών, και του ελέγχου δικτύων. Τα δίκτυα με WIXCs δεν επιβάλλουν κανένα περιορισμό συνοχής μήκους κύματος. Κατά συνέπεια, η χρησιμοποίηση καναλιών μήκους κύματος είναι υψηλότερη στα δίκτυα με WIXCs συγκρινόμενα με τα δίκτυα με WSXCs.

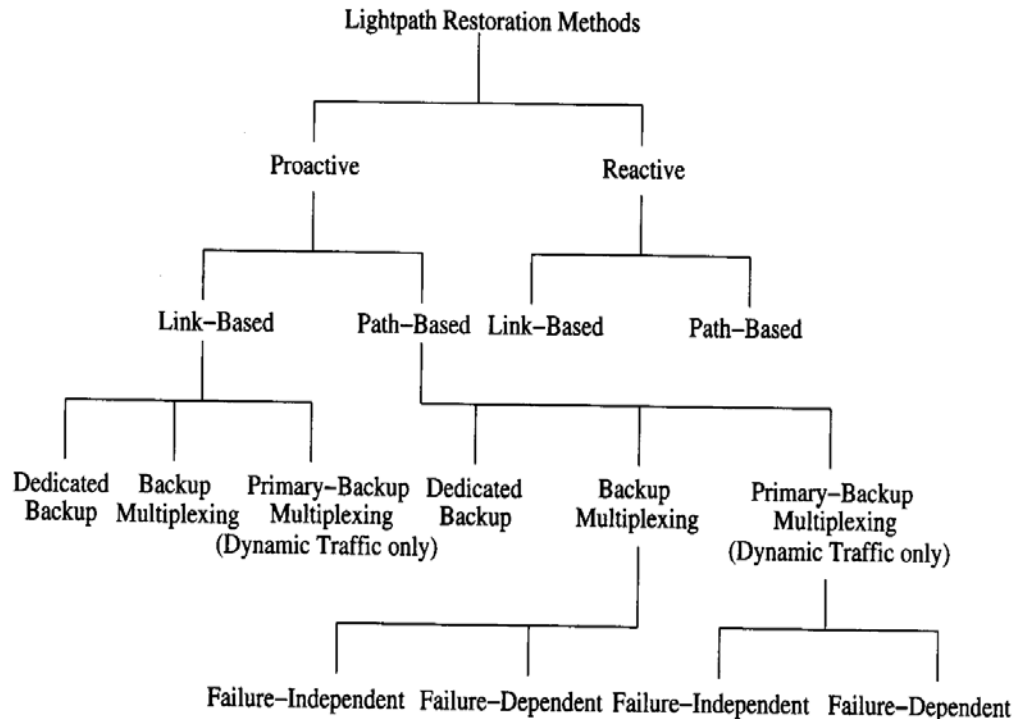
Η ζήτηση κυκλοφορίας μπορεί να είναι είτε στατική είτε δυναμική. Σε μια στατική ζήτηση κυκλοφορίας, ένα σύνολο ζητήσεων (ή αιτημάτων σύνδεσης) δίνεται εκ των προτέρων. Ο στόχος είναι να ανατεθούν τα μονοπάτια με την δυνατότητα αποκατάστασης σε όλες τις ζητήσεις ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα επιπλέον στοιχεία που απαιτούνται. Τα στοιχεία μπορεί να είναι μήκη κύματος ή ίνες. Αυτό το πρόβλημα είναι σχετικό για την φάση προγραμματισμού του δυναμικού να καθορίσει το δυναμικό που απαιτείται στο εγγύς μέλλον βασιζόμενος στις τρέχουσες και τις αναμενόμενες ζητήσεις. Εναλλακτικά, ο στόχος μπορεί να είναι να ικανοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερες ζητήσεις για ένα σταθερό ποσό δεδομένων στο δίκτυο. Αυτό το πρόβλημα είναι έγκυρο σε μια κατάσταση όπου υπάρχουν νέες ζητήσεις με στόχο να δρομολογηθούν όσο το δυνατόν περισσότερες ζητήσεις χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο δυναμικό του δικτύου. Σε ένα δυναμικό περιβάλλον κυκλοφορίας, οι ζητήσεις φθάνουν σε ένα δίκτυο μια-μια με τυχαίο τρόπο. Μόλις γίνει μια ζήτηση, κρατιέται για έναν πεπερασμένο τυχαίο χρόνο προτού ολοκληρωθεί. Εδώ, ο στόχος είναι να αυξηθεί η αναλογία αποδοχής (ή, ισοδύναμα, για να μειωθεί η **πιθανότητα φραξίματος**) των ζητήσεων.

Η διαδικασία ανάθεσης των στοιχείων του δικτύου στην ζήτηση κυκλοφορίας είναι γνωστή ως **διαθεσιμότητα ενός δικτύου**. Δεδομένου ενός συνόλου ζητήσεων, το πρόβλημα της διαθεσιμότητας είναι να δεσμευθούν τα στοιχεία (μήκη κύματος, ίνες) στο αρχικό δίκτυο και το δίκτυο αποκατάστασης ώστε να ελαχιστοποιηθεί το δυναμικό που απαιτείται. Το δυναμικό μετριέται από τον αριθμό των μηκών κύματος για ένα δίκτυο ενιαίας ίνας και του αριθμού ινών για ένα δίκτυο πολλαπλών ινών.

Ένα σχέδιο αποκατάστασης μπορεί να εκτελέσει είτε κατανεμημένο είτε συγκεντρωμένο έλεγχο. Για τα μεγάλα δίκτυα, ο κατανεμημένος έλεγχος προτιμάται του συγκεντρωμένου ελέγχου. Ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο ελέγχου απαιτεί διάφορα μηνύματα ελέγχου για να ανταλλάχθούν μεταξύ των κόμβων. Υπάρχει μια πιθανότητα διατήρησης των συγκρούσεων μεταξύ δύο ταυτόχρονων προσπαθειών για την εύρεση των μονοπατιών.

7.2 Σχέδια αποκατάστασης

Οι μέθοδοι αποκατάστασης μπορούν να ταξινομηθούν όπως διευκρινίζεται στο σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1 Ταξινόμηση των μεθόδων αποκατάστασης

Είναι ευρέως ταξινομημένοι στις ενεργές και δυναμικές μεθόδους [15]. Η ενεργή μέθοδος είναι ο απλούστερος τρόπος αποκατάστασης αποτυχιών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή όταν ένα υπάρχον μονοπάτι αποτυγχάνει, ξεκινάει μια αναζήτηση για να βρει ένα νέο μονοπάτι το οποίο δε χρησιμοποιεί τα συστατικά που έχουν αποτύχει. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα χαμηλά έξοδα. Εντούτοις, δεν εγγυάται την επιτυχή αποκατάσταση, δεδομένου ότι η προσπάθεια να βρεθεί ένα νέο μονοπάτι μπορεί να αποτύχει εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων κατά την διάρκεια αποκατάστασης της αποτυχίας. Επίσης, σε περίπτωση κατανομής εφαρμογής, η διαμάχη μεταξύ των ταυτόχρονων προσπαθειών αποκατάστασης για τα διαφορετικά αποτυχημένα μονοπάτια μπορεί να απαιτήσει αρκετές δοκιμές για να πετύχει, με συνέπεια την αύξηση της κυκλοφορίας και του χρόνου αποκατάστασης. Για να υπερνικήσουν τις ανεπάρκειες των ενεργών μεθόδων, οι δυναμικές μέθοδοι μπορούν να υιοθετηθούν. Σε μια δυναμική μέθοδο, τα εφεδρικά μονοπάτια προσδιορίζονται και τα δεδομένα διατηρούνται κατά μήκος των εφεδρικών μονοπατιών κατά την διάρκεια που χρησιμοποιείται το ίδιο το αρχικό μονοπάτι. Με αυτό τον τρόπο, η μέθοδος παρέχει **εγγύηση αποκατάστασης 100%**. Αυτός ο τρόπος μέτρησης αναφέρεται στην εγγύηση με την οποία ένα αποτυχημένο μονοπάτι βρίσκει εύκολα το εφεδρικό μονοπάτι που είναι διαθέσιμο σε μια αποτυχία [17]. Το εφεδρικό μονοπάτι αναλαμβάνει το ρόλο του αρχικού μονοπατιού όταν αυτό αποτυγχάνει. Δεδομένου ότι το εφεδρικό μονοπάτι καθιερώνεται στην πραγματικότητα προτού να εμφανιστεί μια αποτυχία, κάποιος μπορεί να το χρησιμοποιήσει αμέσως σε περίπτωση αποτυχίας στο αρχικό, χωρίς την κλήση της χρονοβόρας διαδικασίας επανασύνδεσης. Ως εκ τούτου, ο χρόνος αποκατάστασης μιας δυναμικής μεθόδου είναι πολύ λιγότερος, και οδηγεί στη γρήγορη αποκατάσταση.

Μια δυναμική ή ενεργή μέθοδος αποκατάστασης είναι είτε **βασισμένη σε σύνδεση** είτε **βασισμένη σε μονοπάτι**. Η βασισμένη σε σύνδεση μέθοδος υιοθετεί την **τοπική δρομολόγηση** ενώ η βασισμένη σε μονοπάτι μέθοδος υιοθετεί την **άκρη σε άκρη δρομολόγηση**. Η βασισμένη σε σύνδεση μέθοδος επαναδρομολογεί την κυκλοφορία γύρω από το αποτυχημένο συστατικό. Όταν μια σύνδεση αποτυγχάνει, ένα νέο μονοπάτι επιλέγεται

μεταξύ των ακραίων κόμβων της αποτυχημένης σύνδεσης. Αυτό το μονοπάτι μαζί με το ενεργό τμήμα του αρχικού μονοπατιού θα χρησιμοποιηθεί ως εφεδρικό μονοπάτι. Αυτή η μέθοδος δεν είναι ελκυστική, για διάφορους λόγους. Η επιλογή των εφεδρικών μονοπατιών είναι περιορισμένη και επίσης τα εφεδρικά μονοπάτια είναι συνήθως μακρύτερα. Επίσης, σε περίπτωση δικτύων μήκους κύματος, το εφεδρικό μονοπάτι πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιήσει το ίδιο μήκος κύματος με αυτό του αρχικού μονοπατιού καθώς το ενεργό τμήμα του διατηρείται. Επιπλέον, ο χειρισμός αποτυχημένων κόμβων μ' αυτή τη μέθοδο είναι πολύ δύσκολος. Στη βασισμένη σε μονοπάτι μέθοδο αποκατάστασης, ένα εφεδρικό μονοπάτι επιλέγεται μεταξύ των ακραίων κόμβων του αποτυχημένου αρχικού μονοπατιού. Αυτή η μέθοδος εμφανίζει καλύτερη χρησιμοποίηση δεδομένων από τις βασισμένες σε σύνδεση μεθόδους αποκατάστασης. Το εφεδρικό μονοπάτι μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε μήκος κύματος, ανεξάρτητα από αυτό που χρησιμοποιείται από το αντίστοιχο αρχικό μονοπάτι

Μια δυναμική μέθοδος αποκατάστασης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα αποκλειστικό εφεδρικό μονοπάτι για αρχικό μονοπάτι. Τα κανάλια μήκους κύματος δεν μοιράζονται μεταξύ οποιωνδήποτε δύο εφεδρικών καναλιών. Αυτό είναι γνωστό ως **αποκλειστική εφεδρική επιφύλαξη**. Η αφοσιωμένη εφεδρική μέθοδος επιφύλαξης έχει το πλεονέκτημα του μικρότερου χρόνου αποκατάστασης, καθώς τα WXCs διαμορφώνονται για το εφεδρικό μονοπάτι κατά την διάρκεια της χρησιμοποίησης του ίδιου του αρχικού μονοπατιού. Εντούτοις, αυτή η μέθοδος διατηρεί υπερβολικά δεδομένα.

7.3 Ικανότητα επιβίωσης στα WDM δίκτυα δακτυλίων

Οι αυτοθεραπευόμενοι δακτύλιοι SONET SHRs (Self Healing Rings) είναι πολύ επιτυχημένοι, και αυτό κυρίως οφείλεται στον απλό έλεγχό τους για την αποκατάσταση βλαβών και τη γρηγορότερη αποκατάσταση [3]. Για τους ίδιους λόγους, τα δίκτυα δακτυλίων είναι μια ελπιδοφόρος αρχιτεκτονική για την εφαρμογή της WDM τεχνολογίας. Όπως οι SONET SHRs, οι WDM δακτύλιοι μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες όπως οι **ομοιοκατευθυνόμενοι δακτύλιοι δύο-ινών (UR-2)**, οι **αμφίδρομοι δακτύλιοι τεσσάρων-ινών (BR-4)**, και οι **αμφίδρομοι δακτύλιοι δύο-ινών (BR-2)**.

Σε ένα UR-2 σύστημα, υπάρχουν δύο ομοιοκατευθυνόμενοι δακτύλιοι με αντίθετες κατευθύνσεις [16]. Κάτω από κανονικές συνθήκες, η κυκλοφορία μηνυμάτων ρέει σε ένα δακτύλιο ο οποίος καλείται **ενεργός δακτύλιος**. Όταν συμβεί μια αποτυχία, ο άλλος δακτύλιος, αποκαλούμενος **δακτύλιος προστασίας**, χρησιμοποιείται για να απαναδρομολογήσει την επηρεασθείσα κυκλοφορία. Ο μηχανισμός προστασίας σε UR-2 είναι είτε **μεταγωγική προστασία γραμμής** είτε **μεταγωγική προστασία μονοπατιού**. Μια μεταγωγική προστασία γραμμής UR-2 βασικά χρησιμοποιεί μια μέθοδο πισωγυρίσματος. Όταν μια σύνδεση μεταξύ των κόμβων i και $i + 1$ αποτυγχάνει, ο i κόμβος γυρίζει την κυκλοφορία από τον ενεργό δακτύλιο στο δακτύλιο προστασίας και ο $i + 1$ κόμβος γυρίζει την κυκλοφορία από το δακτύλιο προστασίας στον ενεργό δακτύλιο. Ο πρόσφατα διαμορφωμένος δακτύλιος μεταφέρει την κυκλοφορία σε μια κατεύθυνση. Σε μια μεταγωγική προστασία μονοπατιού UR-2, τα αρχικά μονοπάτια χρησιμοποιούν τα δεδομένα στον ενεργό δακτύλιο και τα εφεδρικά μονοπάτια χρησιμοποιούν τα δεδομένα στο δακτύλιο προστασίας. Τα μηνύματα διαβιβάζονται ταυτόχρονα και στα αρχικά και στα εφεδρικά μονοπάτια. Ο κόμβος προορισμού μιας σύνδεσης λαμβάνει τα καλά σήματα και από τα εφεδρικά μονοπάτια δακτυλίων εργασίας και προστασίας κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, και χρησιμοποιείται η σύνδεση από τον ενεργό δακτύλιο. Όταν μια σύνδεση που χρησιμοποιείται από το αρχικό μονοπάτι αποτυγχάνει, ο κόμβος προορισμού λαμβάνει το κακό σήμα από τον ενεργό δακτύλιο και το καλό σήμα από τον δακτύλιο προστασίας. Η αποκατάσταση είναι γρηγορότερη στη μεταγωγική προστασία μονοπατιών σε σύγκριση με

τη μεταγωγή προστασίας γραμμών, αλλά απαιτεί τα περισσότερα δεδομένα. Επίσης, και οι δύο μηχανισμοί μεταγωγής προστασίας συνδέσεων και μονοπατιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χειριστούν τις ενιαίες αποτυχίες κόμβων. Όταν ο κόμβος i αποτυγχάνει, μια μεταγωγίμη προστασία γραμμών UR-2 εκτελεί πισωγύρισμα στον κόμβο $i-1$ και στον κόμβο $i+1$. Στη μεταγωγίμη προστασία μονοπατιού UR-2, όλα τα μονοπάτια εκτός από εκείνα για τα οποία ο κόμβος i είναι μια πηγή ή προορισμός είναι προστατευμένα.

Σε ένα BR-4 σύστημα, υπάρχουν δύο ζευγάρια δακτυλίων όπου κάθε ζευγάρι αποτελείται από δύο ομοιοκατευθυνόμενους δακτυλίους με αντίθετες κατευθύνσεις. Το ένα ζευγάρι των δακτυλίων φέρνει την κυκλοφορία μηνυμάτων σε κανονικές συνθήκες. Κατά συνέπεια, αντίθετα από το UR-2, η κυκλοφορία μηνυμάτων ρέει και στις δύο κατευθύνσεις στο BR-4. Όταν συμβεί μια αποτυχία, η επηρεασθείσα κυκλοφορία επαναδρομολογείται στο άλλο ζευγάρι των δακτυλίων. Αυτό ολοκληρώνεται από έναν μηχανισμό πισωγύριματος. Σε ένα BR-2 σύστημα, υπάρχουν δύο ομοιοκατευθυνόμενοι δακτύλιοι με αντίθετες κατευθύνσεις. Σε κάθε δακτύλιο, το μισό από το δυναμικό χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία μηνυμάτων κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας και το υπόλοιπο δυναμικό χρησιμοποιείται για να επαναδρομολογήσει την επηρεασθείσα όταν αποτύχει ένα συστατικό [36].

8. Επιβιωσιμότητα Πολλαπλών επιπέδων

Οι μηχανισμοί της επιβιωσιμότητας έχουν ως στόχο τον χειρισμό λαθών γραμμών, κόμβων, ιδιωτικών καναλιών (wavelength) σε ένα δίκτυο. Η παρακάτω ανάλυση αφορά το χειρισμό λαθών από ένα δίκτυο πολλαπλών στρωμάτων με μηχανισμούς επιβιωσιμότητας σε κάθε στρώμα και τον χειρισμό διαφορετικών τύπων λαθών σε διαφορετικά επίπεδα

Σχεδιάζοντας την ικανότητα επιβίωσης ενός δικτύου η πιο σημαντική παράμετρος είναι ο τύπος του λάθους και η επίδραση που θα έχει αυτό το λάθος στην κίνηση και στα άλλα επίπεδα του δικτύου. Η πρόβλεψη των λαθών επηρεάζει μόνο κάποιες υπηρεσίες σε κάθε επίπεδο γι αυτό και ο έλεγχος της ικανότητας της επιβιωσιμότητας ενός δικτύου δεν είναι εύκολος. [4]

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μεταξύ της ενιαίας και πολύ- αποκατάστασης στρώματος οι οποίοι αφορούν

- το σύνολο λαθών για τα οποία το δίκτυο έχει ανοχή
- ο προϋπολογισμός για την ικανότητα επιβίωσης δικτύων,
- τα σχέδια αποκατάστασης
- η τοπολογία δικτύων.

Μερικοί από τους λόγους που μπορούν να οδηγήσουν τους χειριστές να επεκτείνουν τους μηχανισμούς αποκατάστασης στο δίκτυο του είναι:

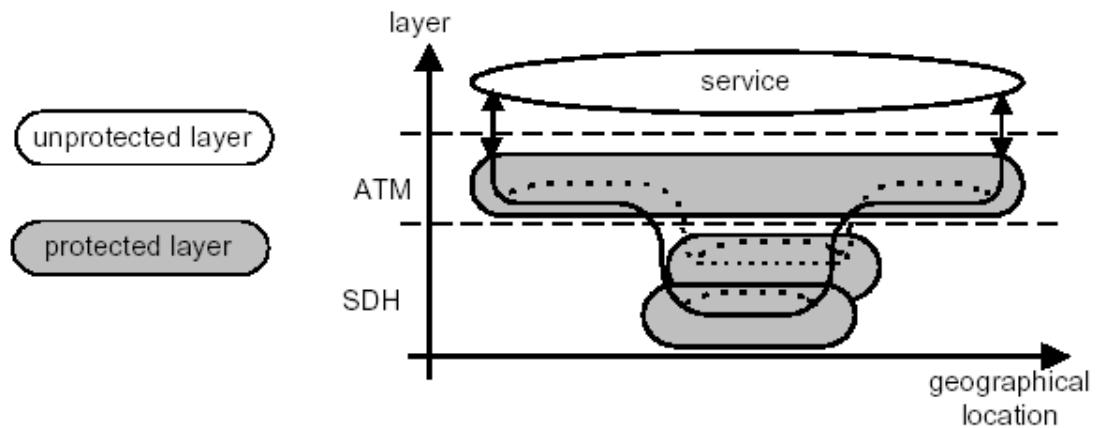
- τα σχέδια αποκατάστασης που εφαρμόζονται στα χαμηλότερα στρώματα (π.χ. στο SDH ή τα οπτικά στρώματα) συχνά επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη αποκατάσταση των αποτυχιών όπως οι αποκοπές καλωδίων, αλλά δεν είναι ικανά να λύσουν τις αποτυχίες που εμφανίζονται σε ένα υψηλότερο στρώμα. Παραδείγματος χάριν, ένα σχέδιο αποκατάστασης SDH μπορεί να μην αποκαταστήσει τις συνδέσεις του ATM. Αυτό επιβάλλει μηχανισμούς αποκατάστασης στα ανώτερα επίπεδα

- η κίνηση διακόπτεται στα διάφορα στρώματα των δικτύων (π.χ. στο στρώμα του ATM για να παρέχει τις υπηρεσίες του στην υψηλή κατάταξη SDH ή τα χαμηλά στρώματα μονοπατιών κατάταξης για να παρέχει τις μισθωμένες υπηρεσίες γραμμών). Η διαφοροποίηση των απαιτήσεων αξιοπιστίας υπηρεσιών (π.χ. για τις διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών) μπορεί να οδηγήσει στην επέκταση των σχεδίων αποκατάστασης πιο κοντά στο στρώμα όπου η κίνηση διακόπτεται στο δίκτυο μεταφοράς.

- Η φυσική εξέλιξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών συμβάλλει στην προσθήκη νέων επιβιώσιμων στρωμάτων (παραδείγματος χάριν, οπτική ικανότητα επιβίωσης στρώματος).

Σε ένα δίκτυο με πολλαπλά σχέδια αποκατάστασης, είναι ακόμα πιθανό να αντιμετωπιστεί το ζήτημα ανθεκτικότητας δικτύων ανεξάρτητα σε κάθε στρώμα. Εντούτοις, αυτή η προσπέλαση μπορεί να οδηγήσει στις ανεπαρκείς λύσεις από την άποψη του κόστους

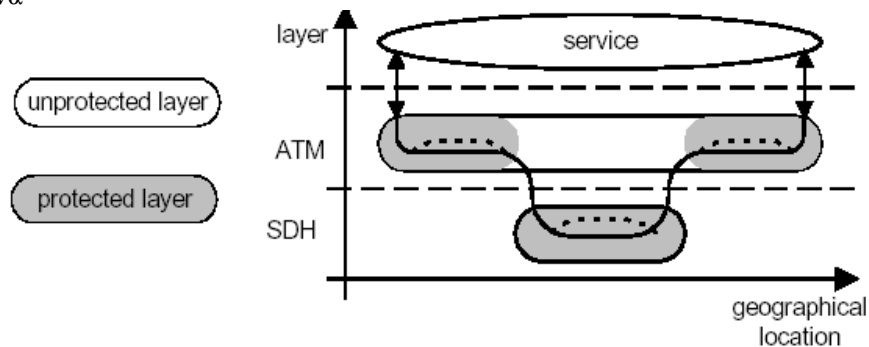
δικτύων ή των αποδόσεων αποκατάστασης δικτύων. Παραδείγματος χάριν, εάν ο προγραμματισμός των πόρων προστασίας του στρώματος SDH δεν λαμβάνει υπόψη το σχέδιο των πόρων προστασίας στο στρώμα του ATM, επιπλέον πόροι προστασίας θα μπορούσαν να δεσμευθούν για να προστατεύσουν την κίνηση που προστατεύθηκε ήδη στο στρώμα του ATM (Εικόνα 8.1). Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην δέσμευση διπλής χωρητικότητας για την προστασία της κίνησης γεγονός που αυξάνει το κόστος δικτύων άδικα.



Εικόνα 8.1

Μια πιθανή λύση θα μπορούσε να είναι ο επιμερισμός του δικτύου σε διαφορετικά επιβιώσιμα υποδίκτυα, στα οποία ένα λάθος στο εσωτερικό των υποδικτύων επιλύεται μέσα στο ίδιο το υποδίκτυο (Εικόνα 8.2) . [33, 34]

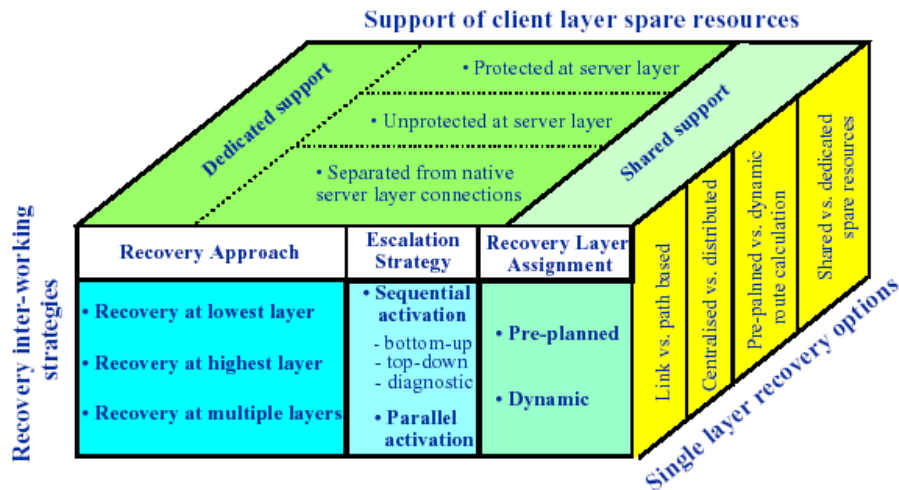
Εικόνα



Εικόνα 8.2

8.1 Τα αποτελέσματα της πολυστρωματικής επιβίωσης

Το ζήτημα της πολυστρωματικής επιβίωσης αφορά τα ζητήματα λειτουργικότητας για τη διαχείριση βλαβών για το οπτικό στρώμα.



Σχήμα 8.3 Πλαίσιο για την επιβιωσιμότητα πολλαπλών επιπέδων

Η επιτροπή έχει αναπτύξει ένα πλαίσιο για την πολυστρωματική αποκατάσταση, που καλύπτει όλες τις διαφορετικές δυνατότητες με τις οποίες οι χειριστές δικτύων έρχονται αντιμέτωποι, καθορίζοντας επίσης διάφορες εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να ακολουθηθούν για κάθε δυνατότητα. Το σχήμα 8.3 παρουσιάζει αυτό το πλαίσιο για την πολυστρωματική επιβίωση. Το σχήμα δείχνει ότι η ικανότητα επιβίωσης στα πολυστρωματικά δίκτυα μπορεί να εμφανιστεί ως τρισδιάστατο πρόβλημα, όπου οι διαστάσεις είναι:

Ο καθορισμός ευθυνών του στρώματος όσον αφορά τις αποτυχίες (**προσπέλαση αποκατάστασης**) και τη στρατηγική για να συντονίσουν την αλληλεπίδραση των μηχανισμών αποκατάστασης σε κάθε στρώμα (**στρατηγική κλιμάκωσης**),

Η στρατηγική για να σχεδιαστούν τα εφεδρικά διαθέσιμα στοιχεία ώστε να υποστηρίξουν τα εφεδρικά στοιχεία που απαιτούνται από το στρώμα του πελάτη στο στρώμα του εξυπηρετητή.

Αυτοί οι άξονες αποτελούν τις διαφορετικές δυνατότητες στο πολυστρωματικό πλαίσιο επιβίωσης. Οι διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις για κάθε μια από τις δυνατότητες έχουν προσδιοριστεί στα [6], [8], [9], [10], [11].

Ο προσδιορισμός μιας κατάλληλης πολυστρωματικής στρατηγικής αποκατάστασης περιλαμβάνει την αξιολόγηση των συνδυασμών μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων για κάθε διάσταση από την άποψη του κόστους επένδυσης και της απόδοσης αποκατάστασης.

Οι πολυστρωματικές στρατηγικές αποκατάστασης μπορούν να διαφέρουν σε κάθε περίπτωση. Οι διαφορετικές στρατηγικές μπορούν να καθοριστούν για τους διαφορετικούς τύπους αποτυχίας. Γενικά, το σύνολο των αποτυχιών είναι διαιρεμένο σε ένα σύνολο προσδοκώμενων αποτυχιών (δηλ. οι περισσότερες πιθανές αποτυχίες όπως οι αποκοπές καλωδίων) που καλύπτονται από τη στρατηγική επιβίωσης, και απροσδόκητες αποτυχίες, οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη π.χ. για λόγους προϋπολογισμών. Το εφεδρικό διαθέσιμο δυναμικό σχεδιάζεται και επεκτείνεται για τις προσδοκώμενες αποτυχίες και δεν θα είναι σε θέση γενικά να παρέχει την πλήρη αποκατάσταση στις απροσδόκητες αποτυχίες.

Οι συγκρίσεις των πιθανών εναλλακτικών προσπελάσεων φαίνονται στο (σχήμα 8.3). Επίσης χρειάζεται να λάβουν υπόψη το ιδιαίτερο μοντέλο δικτύων και κυκλοφορίας, και τις ενιαίου στρώματος δυνατότητες αποκατάστασης που είναι διαθέσιμες.

Τα σχέδια επιβίωσης που εγκαθίστανται προς το παρόν στο δίκτυο μπορούν να περιορίσουν τις πιθανές προσπελάσεις αποκατάστασης που είναι διαθέσιμες στους χειριστές. Μια οριστική σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών λύσεων πρέπει να επικυρωθεί από τα αποτελέσματα από μια διαδικασία αξιολόγησης δικτύων, όπου οι προσπελάσεις μετριοούνται με έναν ποσοτικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, συστήνεται ότι πρέπει να αξιολογηθούν από την

άποψη της απόδοσης επένδυσης, κόστους και αποκατάστασης. Αυτό μπορεί να είναι γίνει χρησιμοποιώντας εργαλεία σχεδίου και προσομοίωσης δικτύων με τη βοήθεια του υπολογιστή.

Αν και η αποκατάσταση στα πολλαπλά στρώματα φαίνεται σύνθετη, μπορεί να εκμεταλλευτεί αποτελεσματικότερα τα στοιχεία προστασίας που είναι διαθέσιμα στο δίκτυο. Η αποκατάσταση στα πολλαπλά στρώματα (και η συνδεδεμένη στρατηγική κλιμάκωσης) είναι έτσι κατάλληλη ως "δευτερή γραμμή υπεράσπισης" ενάντια στις απροσδόκητες, καταστροφικές αποτυχίες.

Η επιτροπή κάνει την ακόλουθη παρατήρηση σχετικά με τις εναλλακτικές λύσεις για την πολυστρωματική επιβίωση:

Η αποκατάσταση στο χαμηλότερο στρώμα φαίνεται να είναι η καταλληλότερη προσπέλαση για μια γρήγορη και αποτελεσματική αποκατάσταση των πιο ενοχλητικών αποτυχιών όπως τις αποκοπές καλωδίων. Στην πραγματικότητα, αυτό αποδεικνύεται από το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την οπτική αποκατάσταση, η οποία γίνεται ελκυστική καθώς ο ρυθμός απόδοσης των δικτύων αυξάνει [7]. Αφ' ετέρου, η αποκατάσταση στο υψηλότερο στρώμα μπορεί να ταιριάζει καλύτερα όταν οι απαιτήσεις αξιοπιστίας διαφοροποιούνται αρκετά και πρέπει να προσαρμοστούν σε κάθε χρήστη. Στην πραγματικότητα, όταν χρησιμοποιούνται τα στρώματα δικτύων χρηστών και κεντρικών υπολογιστών από τις διαφορετικές επιχειρήσεις, ο χειριστής στρώματος χρηστών μπορεί να προτιμά να χρησιμοποιήσει τα δικά του σχέδια επιβίωσης πάνω στα μη προστατευόμενα μονοπάτια κεντρικών υπολογιστών, αντί να στηριχθεί στην υψηλότερη "διαθεσιμότητα" των προστατευμένων μονοπατιών των κεντρικών υπολογιστών.

Η αποκατάσταση στο υψηλότερο στρώμα συστήνεται:

- Αν οι πολλαπλοί βαθμοί αξιοπιστίας πρόκειται να παρασχεθούν στις υπηρεσίες.
- Αν η αλληλεπίδραση αποκατάστασης δεν εφαρμόζεται (πολιτική χειριστών /περιορισμοί εξοπλισμού)
- Αν η εμπειρία του χειριστή ή/και η ωριμότητα παραγωγής (τυποποίηση, σχέδια αποκατάστασης, εξοπλισμός) είναι υψηλότερη στο στρώμα χρηστών.

Η αποκατάσταση στο υψηλότερο στρώμα δεν συστήνεται:

- Αν το σενάριο αποτυχίας είναι πάρα πολύ σύνθετο για την αποδοτική διανομή των στοιχείων προστασίας.
- Αν το σενάριο αποτυχίας είναι πάρα πολύ σύνθετο για το σχεδιασμό των στοιχείων προστασίας.
- Αν είναι αδύνατο να μοιραστούν τα στοιχεία προστασίας μεταξύ του χρήστη και των ζητήσεων των κεντρικών υπολογιστών.

Η αποκατάσταση στο υψηλότερο στρώμα δεν είναι εφαρμόσιμη εάν το στρώμα κεντρικών υπολογιστών δε μπορεί να εξασφαλίσει ότι τα φυσικά εργαζόμενα στοιχεία του χρήστη είναι ξεχωριστά από τα δικά του εφεδρικά στοιχεία συμπεριφοράς.

Η χαμηλότερη στρατηγική αποκατάστασης στρώματος συστήνεται:

- Αν ο αριθμός των οντοτήτων που ανακτούν είναι περιορισμένος/μειωμένος.
- Αν η εμπειρία των χειριστών και/ή ωριμότητα παραγωγής (τυποποίηση, σχέδια αποκατάστασης, εξοπλισμός) είναι υψηλότερη στο στρώμα κεντρικών υπολογιστών.
- Αν ο εξοπλισμός στρώματος χρηστών είναι ακριβότερος από αυτόν στο στρώμα κεντρικών υπολογιστών.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χαμηλότερη προσπέλαση αποκατάστασης στρώματος παίρνει περισσότερη αξία από τον εξοπλισμό στρώματος χρηστών και αποφεύγει το ακριβό δυναμικό στρώματος χρηστών για την εργασία προστασίας ενάντια στις χαμηλότερες αποτυχίες στρώματος.

Όταν η πολιτική δρομολόγησης και/ή οι ζητήσεις των χρηστών οδηγούν σε έναν υψηλό αριθμό διελεύσεων χρηστών, η επιλεκτική προστασία ή (η καλύτερη) κοινή διαθεσιμότητα επιτρέπει μια οικονομικώς αποδοτική εφαρμογή της χαμηλότερης προσπέλασης αποκατάστασης στρώματος.

Η χαμηλότερη αποκατάσταση στρώματος χρειάζεται το συντονισμό των σχεδίων

αποκατάστασης: οι χρόνοι καθυστέρησης είναι χρήσιμοι για την αλληλεπίδραση των σχεδίων προστασίας και αυτοί οι χρόνοι πρέπει να είναι σε μια μεμονωμένη βάση σύνδεσης. Η κατάσταση αποτυχίας πρέπει να ελέγχεται συνεχώς για όλη τη διάρκεια του χρόνου καθυστέρησης πριν συμβεί μεταγωγή. Ένα άλλο σχέδιο αλληλεπίδρασης που λέγεται **το σημείο αποκατάστασης** είναι βασισμένο στη μεταφορά ενός ρητού μηνύματος OAM μεταξύ του κεντρικού υπολογιστή και του στρώματος χρηστών. Το σημείο αποκατάστασης επιταχύνει την απόδοση, αλλά ακόμα είναι μια πειραματική έννοια. Ο χρόνος καθυστέρησης βασισμένος στο χρόνο των μηχανισμών αλληλεπίδρασης φαίνεται να είναι ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ της απόδοσης αποκατάστασης και της πολυπλοκότητας εφαρμογής. Στην περίπτωση της διαδοχικής αλληλεπίδρασης, η αποκατάσταση πρέπει να αρχίσει στο στρώμα με το γρηγορότερο σχέδιο αποκατάστασης και, εάν είναι εξίσου γρήγοροι, πρέπει να αρχίσει στο χαμηλότερο στρώμα.

Σχετικά με τις συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές δικτύων στρώματος:

- Η ευελιξία στο VC-4 στρώμα (για τις συνδέσεις που υποστηρίζουν τις ATM ζητήσεις) προσφέρει το όφελος της μέγιστης χρησιμοποίησης ινών.
- Η ξεχωριστή υποστήριξη του ATM στρώματος χρησιμοποιώντας STM-1 DFs προσφέρει την οικονομικώς αποδοτική εφαρμογή της υψηλότερης προσπέλασης αποκατάστασης στρώματος στα δίκτυα WDM βασισμένα στα SDH όπου η WDM τεχνολογία επεκτείνεται μόνο σε ένα μέρος του πυρήνα του δικτύου (εξελικτικό σενάριο): η επιβίωση πρέπει μόνο να μετατοπιστεί προς το οπτικό στρώμα όταν το WDM στρώμα αναπτύσσεται καλά και υιοθετείται στα σημαντικά μέρη του δικτύου.
- Το μειονέκτημα να αφηθεί η προστασία εντελώς από το στρώμα SDH είναι ότι είναι δύσκολο να γίνει καλή χρησιμοποίηση του δυναμικού που παρέχεται από τα οπτικά μονοπάτια.
- Το μειονέκτημα να μετατοπίσει την προστασία εντελώς στο WDM στρώμα (χωρίς οποιαδήποτε SDH προστασία στα μέρη του WDM) είναι ότι τα μονοπάτια SDH προστατεύονται με ένα τμηματικό τρόπο.
- Η πολυστρωματική επιβίωση προσφέρει τον υψηλότερο βαθμό αξιοπιστίας, αλλά μπορεί να απαιτήσει ένα ουσιαστικό ποσό στοιχείων (προστασίας), όταν εφαρμόζεται με τον παραδοσιακό τρόπο.
- Η επιλεκτική προστασία στο στρώμα SDH προσφέρει μεγάλη αποταμίευση κόστους, και στον SDH και στον WDM εξοπλισμό
- Περισσότερη αποταμίευση μπορεί να επιτευχθεί από την εργασία υποστήριξης και τα εφεδρικά SDH στοιχεία κατά διαφορετικό τρόπο στο WDM στρώμα (επιλεκτικότητα προστασίας).

Όσον αφορά το ρόλο του διοικητικού συστήματος:

Η αποκατάσταση μέσω των διοικητικών δραστηριοτήτων είναι καλά ταιριαστή ως δεύτερη γραμμή υπεράσπισης.

Συστήνεται τα διοικητικά συστήματα διαφορετικών στρωμάτων να ενσωματωθούν για σκοπούς συσχετισμού συναγερωμένων και για το συντονισμό των συγκεντρωμένων ενεργειών αποκατάστασης.

9. Συμπεράσματα

Σήμερα το κλειδί για την επιτυχή λειτουργία των δικτύων αποτελεί η υψηλή ανοχή στις αποτυχίες. Καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία η ποσότητα των δεδομένων που μεταφέρονται σε ένα υψηλής ταχύτητας δίκτυο έχει αυξηθεί δραματικά. Ακόμη και σε ένα μικρό δίκτυο έστω και μια διακοπή μερικών δευτερολέπτων μπορεί να προκαλέσει απώλεια δεδομένων μερικών γιγαμπαιτ (Gb). Ποικίλες τεχνικές αποκατάστασης και προστασίας έχουν αναπτυχθεί κατά την διάρκεια του χρόνου. Εφαρμόζοντας αυτές τις τεχνικές και σχεδιάζοντας το δίκτυο με αρκετή επιπλέον χωρητικότητα, ένα οπτικό δίκτυο μπορεί να

εφοδιαστεί με την κατάλληλη ικανότητα επιβίωσης στις αποτυχίες ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως ένα κεντρικό μέσο μετάδοσης . Η προστασία συνήθως υλοποιείται με ένα καταναμημένο τρόπο χωρίς να απαιτείται κεντρικός έλεγχος στο δίκτυο. Αυτό είναι απαραίτητο για να διασφαλιστεί η γρήγορη αποκατάσταση μετά από μία αποτυχία. Αρκετά σημαντικές μέθοδοι σχεδιασμού αποκατάστασης είναι οι δακτύλιοι αυτόματης επιδιόρθωσης στα SONET δίκτυα οι οποίες διαθέτουν απλό έλεγχο και γρήγορη αποκατάσταση αποτυχιών .Οι ίδιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται και στα WDM δίκτυα με επιπλέον πλεονεκτήματα την διαίρεση του μήκους κύματος και πολυπλεξίας. Η επιβίωση των δικτύων γίνεται σε πολλά στρώματα σε ένα δίκτυο. Η προστασία μπορεί να επιτευχθεί στο φυσικό επίπεδο το οποίο περιλαμβάνει τα SONET/SDH και τα οπτικά επίπεδα , στο επίπεδο σύνδεσης το οποίο περιλαμβάνει το ATM επίπεδο καθώς επίσης και στο επίπεδο δικτύου όπως το επίπεδο IP. Τέλος η σημερινή τάση στη σχεδίαση της επιβιωσιμότητας των οπτικών δικτύων είναι η αρχιτεκτονική του δικτύου η οποία θα παρέχει επαρκείς λειτουργίες επιβίωσης τόσο στο IP όσο και στο οπτικό στρώμα .

10. Βιβλιογραφία - Αναφορές

- [1] Α. Πομπόρτσος, “Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών”, 1997.
- [2] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, “Optical Networks”, A practical perspective, 2nd Edition, 2002
- [3] C.Siva Ram Murthy and Mohan Gurusamy, “WDM Optical Networks”, Concepts, Design, and Algorithms, 2002.
- [4] P. Tomsu, C. Schmutzer, “Next Generation Optical Networks”, The convergence of IP Intelligence and Optical Technologies, 2002.
- [5] A. G. Fraser. Banquet speech. In Proceedings of Workshop on High-Performance Communication Subsystems, Williamsburg, VA, Sept. 1993.
- [6] K. Struyve et al., “Design and Evaluation of Multi-layer Survivability for SDH-based ATM Networks”, In Proc. of IEEE Globecom '97 conference, Phoenix, 1997.
- [7] O. Gerstel, “Opportunities for Optical Protection and Restoration”, Proc. of OFC'98, San Jose, 1998.
- [8] ITU-T Draft Recommendation I.630 (ex I.ps), “ATM Protection Switching”, Geneva June 1998
- [9] M. Gryseels et al., “Common Pool Survivability in ATM on SDH Ring Networks”, DRCN98 Workshop, Brugge, Belgium, 1998.
- [10] M. Gryseels et al., “A Cost Evaluation of Service Protection Strategies in ATM on SDH Transport Networks”, DRCN98 Workshop, Brugge, Belgium, 1998.
- [11] A. Autenrieth et al., “Simulation and Evaluation of Multi-single Layer Broadband Networks”, DRCN98 Workshop, Brugge, Belgium, 1998
- [12] G. Mohan, C. Siva Ram Murthy, “Lightpath Restoration in WDM Optical Networks, ” IEEE Network Magazine, vol. 14, no. 6, pp. 24-32, November/December 2000.
- [13] T. Joens Y., “A Contingency Model for Survivability Strategy Determination at the ATM Layer”, NOC'98, May 1998.

Αναφορές από WEB

- [14] <http://www.fcc.gov>.
J. M. Kraushaar. Fiber Deployment Update: End of year 1998. Federal Communications Commission, Sept. 1999
Η Ιστοσελίδα της ομοσπονδιακής Επιτροπής επικοινωνιών (FCC) η οποία ασχολείται με τη ρύθμιση των διακρατικών και διεθνών επικοινωνιών και η αρμοδιότητα της καλύπτει 50 κράτη
- [15] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>
Bart Van Caenegem, Wim Van Parys, Filip De Turck and Piet M. Demeester, Dimensioning of Survivable WDM Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 7, September 1998, pp. 1146 – 1157
Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες
- [16] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>
Murari Sridharan, Murti V. Salapaka and Arun K. Somani, A practical approach to operating survivable WDM Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, no. 1, Jan 2002
Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[17]

<http://citeseer.nj.nec.com/cache/papers/cs/23319/http:zSzzSzwww.public.asu.eduSz~hallazSzpapersSzjhsn.pdf/survivability-of-lightwave-networks.pdf>

Survivability of Lightwave Networks Path Lengths in WDM Protection Scheme

Arunabha Sen, Bin Hao, Bao Hong Shen, Subir Bandyopadhyay

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα που στοχεύει να βελτιώσει τη διάδοση και την ανατροφοδότηση της επιστημονικής έρευνας

[18] <http://citeseer.nj.nec.com/cache/papers/cs/6617>

Design Protection for WDM Optical Networks (1997) Crochat

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα που στοχεύει να βελτιώσει τη διάδοση και την ανατροφοδότηση της επιστημονικής έρευνας

[19] http://citeseer.nj.nec.com/cache/papers/cs/4279/http:zSzzSzsmg.ulb.ac.bezSzPreprintsSzFullTextzSzFortz98_12.pdf/soriano98design.pdf

P.Soriano Design and Dimensioning of Survivable SDH/SONET Networks

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα που στοχεύει να βελτιώσει τη διάδοση και την ανατροφοδότηση της επιστημονικής έρευνας

[20] <http://www.etsi.org/getastandard/home.htm>

ETSI Document ETS 300 746, "Transmission and Multiplexing; SDH Network Protection schemes; Automatic Protection Switch (APS) Protocols and Operation",

February 1997

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) οργανισμός που αποστολή του είναι η δημιουργία πρότυπων στις τηλεπικοινωνίες στην Ευρώπη.

[21] <http://www.lucent.com/minds/techjournal/>

Multi-Layer Survivability , J .Meijen, E.Varma ,R.Wu, Y.Wang ,1999

Τεχνικό περιοδικό της Bell Lab που δημοσιεύει έρευνες επιστημόνων που αφορούν τεχνολογίες οπτικών δικτύων για μετάδοση δεδομένων και φωνής καθώς επίσης και υπηρεσίες λογισμικού για να αναπτύξει τις τεχνολογίες επόμενης –γενιάς .

[22] <http://www.lucent.com/minds/techjournal/>

B. Bhandari, ' Optical network design and restoration ' Bell Laboratories Technical Journal, vol. 4, no. 1, Jan- Mar 1999

Τεχνικό περιοδικό της Bell Lab που δημοσιεύει έρευνες επιστημόνων που αφορούν τεχνολογίες οπτικών δικτύων για μετάδοση δεδομένων και φωνής καθώς επίσης και υπηρεσίες λογισμικού για να αναπτύξει τις τεχνολογίες επόμενης –γενιάς .

[23] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Dongyun Zhou and Suresh Subramaniam, Survivability in optical networks, IEEE Network, vol. 14, no. 6, November/December 2000, pp. 16 - 23

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[24] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Olivier Crochat and Jean-Yves Le Boudec, Design Protection for WDM Optical Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 7, September 1998

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[25]

<http://www.itu.int/rec/choice.asp?id=T%2DREC%2DI%2E630%2D199902%2DI%21%21P DF%2DE&lang=e&type=items&eb=Y>

ITU-T Draft Recommendation I.630 (ex I.ps), "ATM Protection Switching", Geneva

June 1998 Διεθνής οργανισμός δημιουργίας προτύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες

[26] <http://www.etsi.org/getastandard/home.htm>

ETSI Document ETS 300 746, "Transmission and Multiplexing; SDH Network Protection schemes; Automatic Protection Switch (APS) Protocols and Operation",

February 1997

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) Οργανισμός που αποστολή του είναι η δημιουργία πρότυπων στις τηλεπικοινωνίες στην Ευρώπη.

[27] <http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=items&lang=e&parent=T-REC-G.805-200003-I>

ITU-T Recommendation G.841, “Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures”, November 1997.

Διεθνής οργανισμός δημιουργίας προτύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες.

[28] <http://www.alcatel.com/atr>

Vandenhouste M., Ester G., T’Joens Y., “Restoration Alternatives for Optical and SONET/SDH-based IP Networks”, Alcatel Telecom Review, 1999

Ηλεκτρονικό περιοδικό της εταιρίας Alcatel που δημοσιεύει μελέτες ειδικών για θέματα που αφορούν τις τεχνολογίες των δικτύων

[29] <http://citeseer.nj.nec.com/447354.html>

Towards Resilient Networks and Services NIG-G5/0699

ACTS Guideline NIG-G5

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα που στοχεύει να βελτιώσει τη διάδοση και την ανατροφοδότηση της επιστημονικής έρευνας

[30] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index>

A Framework for Managing Faults and Attacks in All-Optical Transport Networks

Η ieeε ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινωνίας των υπολογιστών η οποία παρέχει σε απευθείας σύνδεση πρόσβαση σε περιοδικά της κοινωνίας πληροφορίας και συναλλαγές καθώς και σε επιλεγμένα πρακτικά διασκέψεων.

[31] MISA, On line information: <http://www.misa.ch>

Multi-Domain Integrated Network Management for ATM and SDH Networks

Πρόγραμμα MISA που αφορά τη διαχείριση ολοκληρωμένων SDH και ATM δικτύων προάγει την αποδοτική χρήση των ευρυζωνικών δικτύων για τη βελτίωση της γενικής αξιοπιστίας του δικτύου και μείωση του γενικού κόστους.

[32] <http://dlib.computer.org/conferen/disceex/0490/pdf/04901157.pdf>

Survivability Architectures: Issues and Approaches

ieeε ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινωνίας των υπολογιστών η οποία παρέχει σε απευθείας σύνδεση πρόσβαση σε περιοδικά της κοινωνίας πληροφορίας και συναλλαγές καθώς και σε επιλεγμένα πρακτικά διασκέψεων.

[33] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Tsong-Ho Wu, Emerging Technologies for Fiber Network Survivability, IEEE Communications Magazine, vol. 33, no. 2, February 1995

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[34] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Ondria J. Wasem, Tsong-Ho Wu and Richard H. Cardwell,

Survivable SONET Networks-Design Methodology, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 12, no. 1, January 1994

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[35] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Wayne D. Grover, High availability path design in ring-based optical networks, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 7, no. 4, Aug 1999

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με

αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[36] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/index.html>

Ornan Gerstel, Rajiv Ramaswami and Galen H. Sasaki,

Fault Tolerant Multiwavelength Optical Rings with Limited Wavelength Conversion, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 7, September 1998

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[37] <http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/inde>

Dongyun Zhou and Suresh Subramaniam, Survivability in optical networks, IEEE Network, vol. 14, no. 6, November/December 2000

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη της κοινότητας ComSoc που περιλαμβάνει επαγγελματίες με κοινό ενδιαφέρον την προώθηση όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών Με αυτό το στόχο, η κοινωνία υποστηρίζει τις δημοσιεύσεις, τις διασκέψεις, τα εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες συναφείς δραστηριότητες

[38]

http://citeseer.nj.nec.com/cache/papers/cs/4279/http:zSzzSzsmg.ulb.ac.bezSzPreprintszSzFullTextzSzFortz98_12.pdf/soriano98design.pdf

Design and Dimensioning of Survivable SDH/SONET Networks

Patrick Soriano, Christelle Wynants, Rene Seguin 1998

Επιστημονική ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα που στοχεύει να βελτιώσει τη διάδοση και την ανατροφοδότηση της επιστημονικής έρευνας

[39] <http://optical-networks.com>

Li, Guangzhi, Robert Doverspike and Chuck Kalmanek, "Fiber Span Failure Protection in Mesh Optical Networks," Optical Networks Magazine

Ιστοσελίδα περιοδικού για τα οπτικά δίκτυα