

4. Преживливост на оптичко ниво

4.1. Терминологија и дефиниции

Обезбедувањето на отпорност на дефекти е важно барање за мрежите со големи битски брзини. Со оглед на тоа што мрежите пренесуваат се повеќе податоци, количеството на штета предизвикано од дефект станува се поголемо. Постојат повеќе методи кои обезбедуваат мрежата да продолжи да дава сигурни услуги дури и во присуство на дефекти. Овие методи на заштита подразбираат обезбедување на резервен капацитет во мрежата кој се користи за рерутирање на сообраќајот во случај на дефект. Кога се зборува за преживливост на телекомуникациски мрежи од голема важност е разбирање на следниве термини:

- **Интегритет (Integrity)** е повисоко ниво на мерка за перформансите на една мрежа која укажува на способноста да мрежата функционира правилно и покрај присуство на дефект ("да" или "не"). **Преживливоста (Survivability)** претставува синоним за интегритет.
- **Сигурност т.е. доверливост (Reliability)** е веројатност еден ентитет да ја извршува својата функција во даден период на време.
- **Расположивост (A-Availability)** е однос помеѓу времето на функционирање и вкупното време, или со други зборови, расположивоста претставува веројатност да еден ентитет (систем, мрежа, ...) се наоѓа во работна состојба во даден интервал во иднината.
- **Нерасположивоста (U-Unavailability)** претставува веројатност (период од време) да еден ентитет е во дефект. Таа всушност претставува комплемент од расположивоста ($U=1-A$).

За да се направи телекомуникациската мрежа преживлива можат да се користат две стратегии: **заштита (protection)** и **обнова т.е. реставрација (restoration)**. Методите базирани на заштита однапред доделуваат резервен капацитет за да го заштитат независно секој елемент од мрежата, додека реставрацијата го дистрибуира резервниот капацитет низ целата мрежа и го користи по потреба со цел да го реставрира прекинатиот сообраќај.

Преживливоста може да биде обезбедена од повеќе нивои во мрежата. На пример, ако се разгледува типична АТМ мрежа која работи преку SONET/SDH линкови, кои се обезбедуваат преку светлосни патеки во оптичкото ниво, можно е сите три нивои да имаат имплементирано сопствен метод за преживливост.

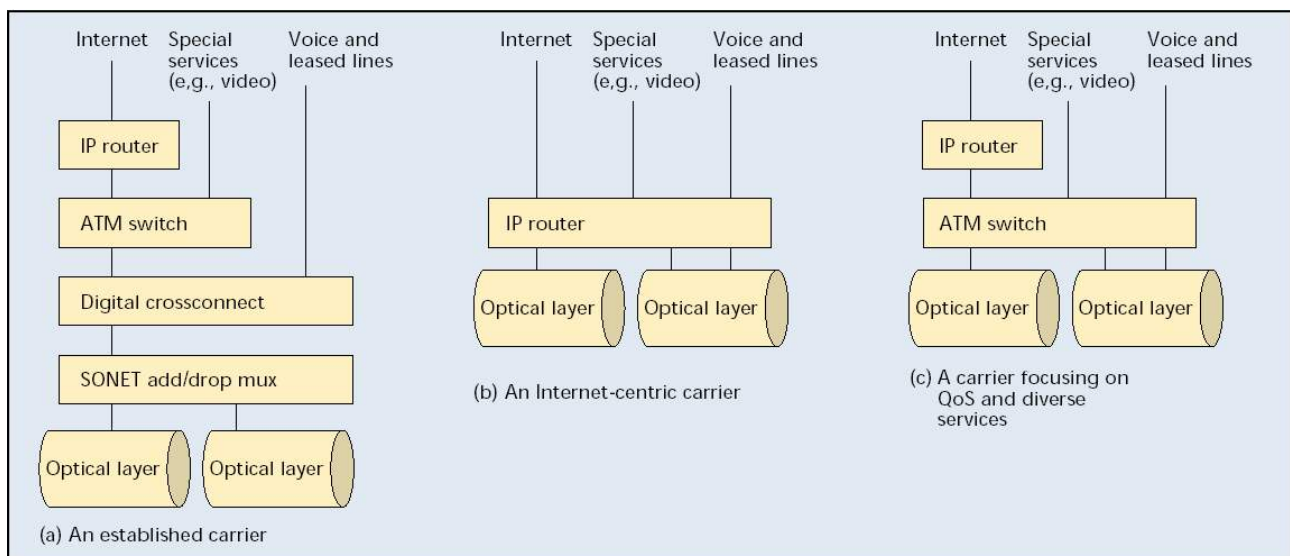
Во оваа глава ќе се разгледуваат дефекти на мрежни линкови, јазли, и оптички канали (во случај на WDM мрежи). Линковите можат да бидат во дефект поради прекин на оптичкото влакно. Јазлите може да бидат во дефект поради дефект на електричното напојување или дефект на опремата. Дефект на оптичките канали може да биде предизвикан поради неисправност на компонента придружена на оптичкиот канал, како оптички предавател или приемник. Во повеќе случаи механизмите за заштита и реставрација се дизајнирани за преживливост од еден дефект. Со ова се претпоставува дека мрежата е така добро дизајнирана што повеќекратни дефекти се многу ретки. Исто така може да се претпостави дека е многу малку веројатно да настане нов дефект додека мрежата се обидува да ги реставрира услугите прекинати поради претходно настанатиот дефект.

4.2. Преживливост на оптичкото ниво: сервисна перспектива

Од телекомуникациските мрежи се бара да обезбедат сигурни непрекинати услуги на нивните корисници. Вкупните барања за расположивост се од ред на 99,999% или повисоки, што подразбира дека мрежата не може да биде во дефект повеќе од 6 мин/година. Како резултат, мрежната преживливост (т.е. интегритет) е главен фактор кој што влијае како овие мрежи се дизајнирани и

користени. Мрежата треба да биде дизајнирана да се справи со дефекти на линк или влакно како и дефекти на опремата.

Мрежата може да се гледа како да се состои од многу нивоа кои меѓусебе соработуваат, како што е прикажано на слика 4.1. Различни оператори избираат различни начини за реализација на нивните мрежи со користење на различни нивовски архитектури. Воспоставените оператори ја користат инсталираната база на SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy) опрема, и напредните можности за сортирање и преспојување на дигиталните системи за преспојување (DCS – Digital Crossconnects). За разлика од нив, операторите кои нудат IP (Internet Protocol) базирани услуги бараат поедноставна мрежна инфраструктура со користење на IP како базично транспортно ниво без користење на SONET/SDH. Операторите кои се издвојуваат од другите по тоа што нивната мрежна инфраструктура нуди квалитет и разноврстност на услугите (QoS – Quality of Service) можат да користат асинхрон трансферен мод (ATM-Asynchronous Transfer Mode) како нивна транспортна технологија. Под сите овие нивоа е WDM (Wavelength-Division Multiplexing) нивото, т.е оптичкото ниво. Оптичкото ниво обезбедува светлосни патеки (lightpaths) на повисоките нивоа, што може да се сметаат како клиент нивоа кои ги користат услугите обезбедени од оптичкото ниво. Светлосните патеки се комутирани "цевки" кои пренесуваат прилично големи битски брзини (на пример, 2,5 Gb/s или 10Gb/s). Тие се воспоставуваат за да ја поврзат опремата од нивото на клиенти, како на пример, SONET/SDH додај/извади мултиплексери (ADM – Add/Drop multiplexers), IP упатувачи, или ATM комутатори, и откако се воспоставени, остануваат релативно статични во текот на времето.



слика 4.1 Нивовска архитектура кај различни типови на мрежни оператори

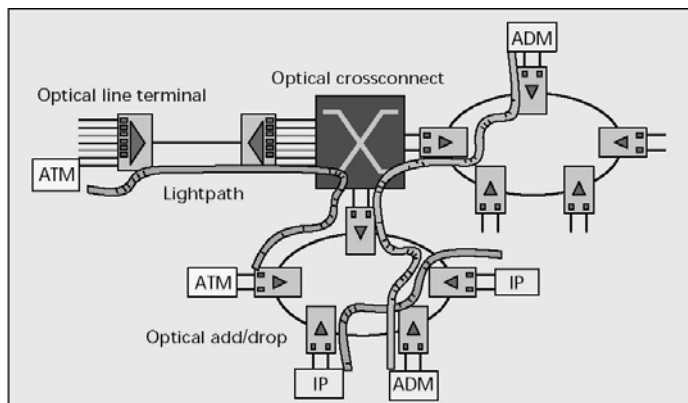
Оптичкото ниво се состои од оптички линиски терминали (OLT – Optical Line Terminals), оптички ADM (OADM), и оптички уреди за преспојување (OXC), како што е прикажано на слика 4.2. OLT мултиплексира повеќе канали во едно оптичко влакно или пар од оптички влакна. OADM додава и одзема извесен број на канали од/во здружената WDM поворка. OXC комутира и менаџира голем број на канали во локациите со голем сообраќај.

Во оваа глава ќе биде разгледувана преживливоста на оптичкото ниво од аспект на услугите, во смисла на типовите на услуги кои се потребни да се обезбедат од оптичкото ниво на повисоките нивоа.

Потоа ќе бидат споредени различните типови на преживливост на оптичкото ниво во смисол на нивната цена и ефикасност на искористување на пропусниот опсег врз база на множеството на услуги што треба да се поддржат. Пристапот е малку поинаков во однос на другите пристапи во литературата каде преживливоста на оптичкото ниво се поистоветува со преживливоста во SONET/SDH нивото. Постои разлика помеѓу преживливоста на овие две нивоа и таа ќе биде елаборирана подоцна

4.2.1. Причини за користење на преживливост на оптичкото ниво

IP, ATM, и SONET нивоата прикажани на слика 4.1 обично имаат вградена техника за заштита (protection) и обнова (restoration). Иако овие нивои се дизајнирани да работат со други нивоа, тие можат да работат директно преку оптичко влакно, и на тој начин да не зависат од другите нивои во поглед на спроведување на функциите за заштита и реставрација (т.е обнова). Како резултат на ова



слика 4.2 Оптичко мрежно ниво

секоје од овие нивои има вградено сопствени функции за заштита и реставрација. Затоа се поставува прашањето зошто е потребно оптичкото ниво да обезбедува сопствена заштита и реставрација? Причините се следниве:

- Некои од нивоите кои функционираат над оптичкото ниво можеби не може да ги обезбедат сите функции на преживливост потребни во мрежата. На пример SONET/SDH нивото е дизајнирано да обезбеди сеопфатна преживливост, па затоа нема потреба да се базира на преживливоста на оптичкото ниво. Сепак, методите на преживливост во другите нивои (ATM или IP) може да не се доволни за

да обезбедат соодветна мрежна расположивост во присуство на дефекти. Моментално постојат многу предлози за функционирање на IP нивото директно преку оптичкото ниво без користење на SONET/SDH ниво. IP има вградено управување со дефекти на рутирачкото ниво, но овој механизам не е доволно брз за да обезбеди соодветен QoS. Во овој случај, станува важно оптичкото ниво да обезбеди брза заштита за да се исполнат севкупните барања за расположивост на транспортното ниво.

- Повеќето оператори имаат огромни инвестиции во комуникациска опрема која не обезбедува механизам за заштита, но која не може да биде игнорирана. Едноставна имплементација на оптичко ниво помеѓу оваа опрема и оптичкото влакно нуди ефтина надградба на инфраструктурата преку долги оптички линкови и со зголемена преживливост.
 - Заштитата и реставрацијата може да се користи за обезбедување на дополнително ниво на еластичност во мрежата. На пример, повеќето транспортни мрежи се дизајнирани да се справат со еден дефект во исто време, но не со повеќе дефекти. Оптичката реставрација може да се користи за да обезбеди еластичност во случај на повеќе истовремени дефекти.
 - Заштитата на оптичко ниво може да биде поефикасна во справувањето со даден тип на дефекти како на пример прекин на оптичко влакно. Едно оптичко влакно пренесува повеќе бранови должини (на пример, 16-32 SONET/SDH линиски сигнали). Прекилот на оптичкото влакно резултира во 16-32 независни реставрации од страна на SONET/SDH нивото. Системот за мрежно управување ќе биде преплавен со огромен број на аларми генерирани од секој од овие независни ентитети. Доколку прекилот на оптичкото влакно се реставрира доволно брзо од страна на оптичкото ниво, оваа операциона неефикасност може да се избегне.
 - Може да се добие значителна заштеда на трошоци со користење на заштита и реставрација на оптичко ниво. Тоа ќе биде илустрирано со неколку примери во понатамошното излагање.
- Сепак, преживливоста на оптичкото ниво има и свои недостатоци¹³:
- Не може да се справи со сите типови на дефекти во мрежата. На пример, не може да се справи со дефект на ласер во IP упатувач или SONET/SDH ADM приклучен во WDM мрежата. Овој тип на дефект мора да се отстрани од IP или SONET/SDH нивото.
 - Не е во можност да ги детектира сите типови на дефекти во мрежата. Светлосните патеки обезбедени од оптичкото ниво може да се транспарентни во поглед на тоа какви податоци пренесуваат и со кој бинарен проток. Како резултат на тоа, не може да се контролира сообраќајот за да се детектираат деградации, како на пример зголемен бинарен проток на грешки, кој во повисоките нивои на заштита би предизвикал заштитно префрлување.

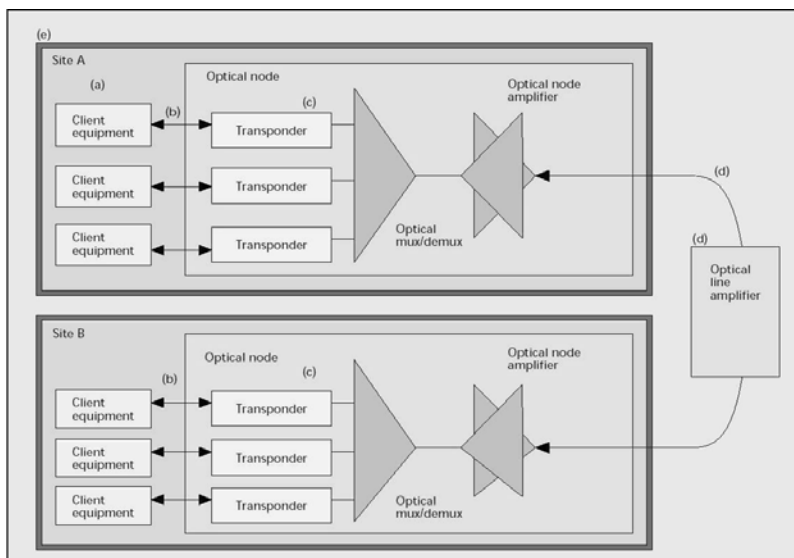
¹³ Треба да се нагласи дека не сите недостатоци се однесуваат на сите методи на заштита и реставрација.

- Оптичкото ниво го заштитува сообраќајот во единица светлосна патека. Тоа не може да обезбеди различни нивои на заштита на различни делови од сообраќајот што се пренесува со дадена светлосна патека (дел од сообраќајот може да биде со висок приоритет, а друг дел со понизок). Оваа функција мора да се изврши од повисоките нивои кои го обработуваат сообраќајот во пофина грануларност.
- Може да постојата ограничувања во поглед на буџетот на линковите што ја лимитира способноста за заштита на оптичкото ниво. На пример, должината на заштитната рута или бројот на јазли низ кои таа минува може да биде ограничен.
- Доколку целата мрежа не се дизајнира внимателно може да настанат конфликтни ситуации (race conditions) поради тоа што и оптичкото ниво и нивото на клиенти ќе се обидат истовремено да го заштитат сообраќајот.
- Конечно, технологијата и методите за заштита се во фаза на тестирање и целосната имплементација на овие нови механизми за заштита ќе се случи за неколку години.

4.2.2. Основни поими за преживливост во WDM мрежите

4.2.2.1. Ентитети кои се заштитуваат

Пред да се навлезе во детали во техниките за преживливост на WDM мрежите и споредба помеѓу нив, корисно е да се дефинираат ентитети кои се заштитуваат од оптичкото ниво и нивото на клиенти. Овие ентитети се прикажани на слика 4.3.



слика 4.3 Заштитени ресурси: а) клиент; б) оптички влакна во објектот; в) транспондер; г) опрема надвор од објектот; д) целата комуникациска станица

а) Порти т.е. линиски интерфејси на опремата; Портите на опремата од клиентот може да бидат во дефект. Во овој случај оптичкото ниво не може да го заштити нивото на клиентот (како што беше спомнато претходно).

б) Врски внатре во комуникацискиот објект (станица); Каблите внатре во станицата може да бидат откачени, главно поради човечка грешка. Ова се смета како релативно честа случка. Целосна заштита од вакви настани може да се оствари само со комбинирана заштита на ниво на клиентот и на оптичко ниво.

в) Дефект на транспондер; Транспондерот претставува интерфејсна картичка помеѓу опремата на клиентот и оптичкото ниво. Овие картички го претворуваат сигналот

од клиентот во бранова должина која е погодна за користење во внатрешноста на оптичката мрежа со користење на оптички-електрично-оптичка конверзија. Затоа дефектот на оваа картичка не може да се смета за занемарлив. Имајќи го во предвид големиот број на вакви картички во системот (една по бранова должина), потребна е специјална заштита (на пример, EPS-Equipment Protection Switching).

г) Дефект на опрема надвор од комуникациската станица; Оптичките влакна помеѓу станиците се сметаат како најмалку безбедни компоненти во целиот систем. Прекините на оптичко влакно се прилично вообичаени. Во оваа категорија на дефекти спаѓаат и дефектите настанати на оптичките засилувачи кои се инсталирани по должината на оптичкото влакно.

д) Целиот јазол; Испад на целиот јазол може да настане поради операторска грешка (на пример, погрешно исклучен осигурувач) или дефект во целата станица. Грешките на операторот не се невообичаени. Дефектите на целата станица се релативно ретки, и обично настануваат поради природни непогоди како пожар, поплава, или земјотрес. Дефектите на јазлите имаат значително влијание на мрежата и затоа треба да се мисли на заштита од нив, и покрај нивната релативно мала веројатност на настанување.

4.2.2.2. Заштита и реставрација

Се случува термините заштита и реставрација да се користат еден наместо друг. Тоа не е прецизно. Заштитата е примарен механизам кој се користи за справување со дефектот. Тој треба да биде многу брз. Типично во SONET/SDH мрежите сообраќајот не треба да биде во прекин повеќе од 50ms. Оваа вредност го вклучува времето за детекција на прекилот, времето на префрлување, времето за повторно воспоставување на синхронизација на SONET/SDH рамката, и времето на пропација во системот. Ова време е поставено поради барањето поворките со помала битска брзина (E1, E3) кои се мултиплексирани во сообраќајна поворка со поголема брзина да не смеат да ја изгубат синхронизацијата на рамката во нивните приемници.

Поради тоа што ова време е релативно кратко, заштитните рути обично треба да бидат претходно испланирани така што сообраќајот може брзо да се префрли од работната на резервната рута. Поради барањата за брзо префрлување, оваа функција обично се извршува на дистрибуиран начин од страна на мрежните елементи без централизиран ентитет за управување кој би го координирал процесот на префрлување. Со исклучок на скорешните (и сеуште практично не докажани) брзи механизми за заштита на меш мрежи, методите за заштита се имплементираат во линеарни или прстенести топологии. Сите тие користат 100% екстра пропусен опсег или повеќе.

Во мрежите на повеќето денешни оператори реставрацијата обично не е примарен механизам кој се користи за справување со дефектот. Понекогаш, откако функцијата на заштита се комплетира, реставрацијата се користи да обезбеди дополнителна еластичност од понатамошни дефекти пред да се отстрани првиот дефект. Затоа таа може да си дозволи да биде прилично спора (секунди до минути). Рутите за реставрација треба претходно да бидат испланирани или можат да се пресметуваат во моментот на дефект од страна на централизиран систем за управување, без потреба од функција за дистрибуирана контрола. Може да се користат посоефистицирани алгоритми кои го редуцираат пропусниот опсег потребен за реставрација, и поддржуваат покомплексни меш топологии.

4.2.2.3. Поднивои во оптичкото ниво

Criterion	Line protection	Path protection
Protects against	• Interoffice facilities • Site/node failures	• Interoffice facilities • Site/node failures • Equipment failures
Number of fibers	Four if single-level multiplexing is used ¹	Two
Can handle failures/degradations of a single path?	No	Yes
Supports traffic that must not be protected?	No	Yes
Equipment cost	Low	High
Bandwidth efficiency	Good for protected traffic	Lower for unprotected channels

¹ That is, a fiber is not first split into two "virtual" fibers by a first mux and then further split into constituent channels.

слика 4.4 Споредба помеѓу заштита на линија и заштита на патека

Оптичкото ниво се состои од неколку поднивои. Заштитата и реставрацијата може да се извршува во овие различни нивои. Може да имаме методи кои **заштитиуваат индивидуални светлосни патеки, или оптички канали (OCh)**. Овие методи се справуваат со прекин на оптичко влакно како и дефект на терминална опрема, како на пример ласери или приемници. Исто така може да имаме методи кои работат на ниво на здружениот сигнал, што одговара на **нивото на оптичка мултиплексна секција (OMS)**. Овие методи не прават разлика помеѓу светлосните патеки кои се мултиплексирани во заеднички линиски сигнал, и ги реставрираат сите нив истовремено со префрлување на целата група од оптички канали истовремено.

Во понатамошното излагање ќе се користи терминот заштита на ниво на патека за да се идентификуваат методите кои функционираат на ниво на индивидуални светлосни патеки, и заштита на ниво линија (line layer) за да се идентификуваат методите кои функционираат на ниво на оптичка мултиплексна секција. На слика 4.4 е прикажана споредба на својствата на заштитата на патеки и заштитата на линија, а на слика 4.5 и слика 4.6 споредба на различни методи за заштита на линија и патека. Треба да се забележи дека дефиницијата на заштита на патека и заштита на линија е за нијанса различна од дефиницијата во интернационалните стандарди. Стандардите ја третираат опремата како "црна кутија", и посветуваат поголемо внимание на екстерните интерфејси и посебно како заштитата се координира.

Scheme	Protects against	Topology	Constraints/deficiencies	Customer benefit
1+1 line	Line cuts	Point-to-point	Diverse route needed for protect fibers	Simplest to implement and operate
1:1 line	Line cuts	Point-to-point	Diverse route needed for protect fibers	• Support for low priority traffic • Lower loss (by approx. 3dB)
OULSR	Line cuts Node faults	Metropolitan ring	Optical layer impairments Further power losses exist due to line-level bridging of signals.	• Simple to implement and operate • May be done using passive elements (instead of optical switches)
OBLSR	Line cuts Node faults	Metropolitan ring	Optical layer impairments	• Protection bandwidth reuse • Support for low priority traffic
Mesh line protection	Line cuts Node faults	Any	• Limited by optical layer impairments • Based on an all-optical crossconnect • Hard to manage	• Efficient • Low cost

слика 4.5 Споредба помеѓу различните методи за заштита на ниво на линија

Како резултат на тоа, стандардите истакнуваат како за методите за заштита на линија сигнализацијата се прави еднаш за целата оптичка мултиплексна секција, но не се истакнува како оптичките сигнали се манипулираат физички. Ова е во согласност со начинот на кој се дефинирани SONET/SDH стандардите. Сепак, во SONET/SDH, манипулацијата на патеките од понизок ред во рамките на мултиплексниот сигнал не е значителен фактор кој придонесува во цената на системот, бидејќи тој се прави главно со високо интегрирани електронски кола кои денес се со ниска цена. За разлика од ова во оптичкото ниво комутацијата на индивидуални канали т.е. бранови должини е многу поскапа од манипулацијата на здружениот мултиплексен сигнал поради високата цена на опремата за мултиплексирање/демултиплексирање и комутација на бранови должини.

Scheme	Protects against	Topology	Constraints/deficiencies	Customer benefit
Client layer protection	• Client equipment faults • Intra-office facilities • Transponder faults • Interoffice facilities • Node faults	Any ¹	• Requires diverse paths in the network • Most expensive	• Most extensive protection
1:N equipment protection	• Transponder faults	Linear or ring		• Very low cost • Bandwidth-efficient
1+1 path or OUPSR	• Interoffice facilities • Node faults	Any	• Requires diverse paths in the network • Bandwidth-consuming	• Very similar to client protection • Simple to develop and operate
OBPSR	• Interoffice facilities • Node faults	Virtual ring ²		• Protection bandwidth reuse • Support for low-priority traffic
Mesh path protection	• Interoffice facilities • Node faults	Any	• Requires an OXC • Very complex to implement and operate	• High efficiency

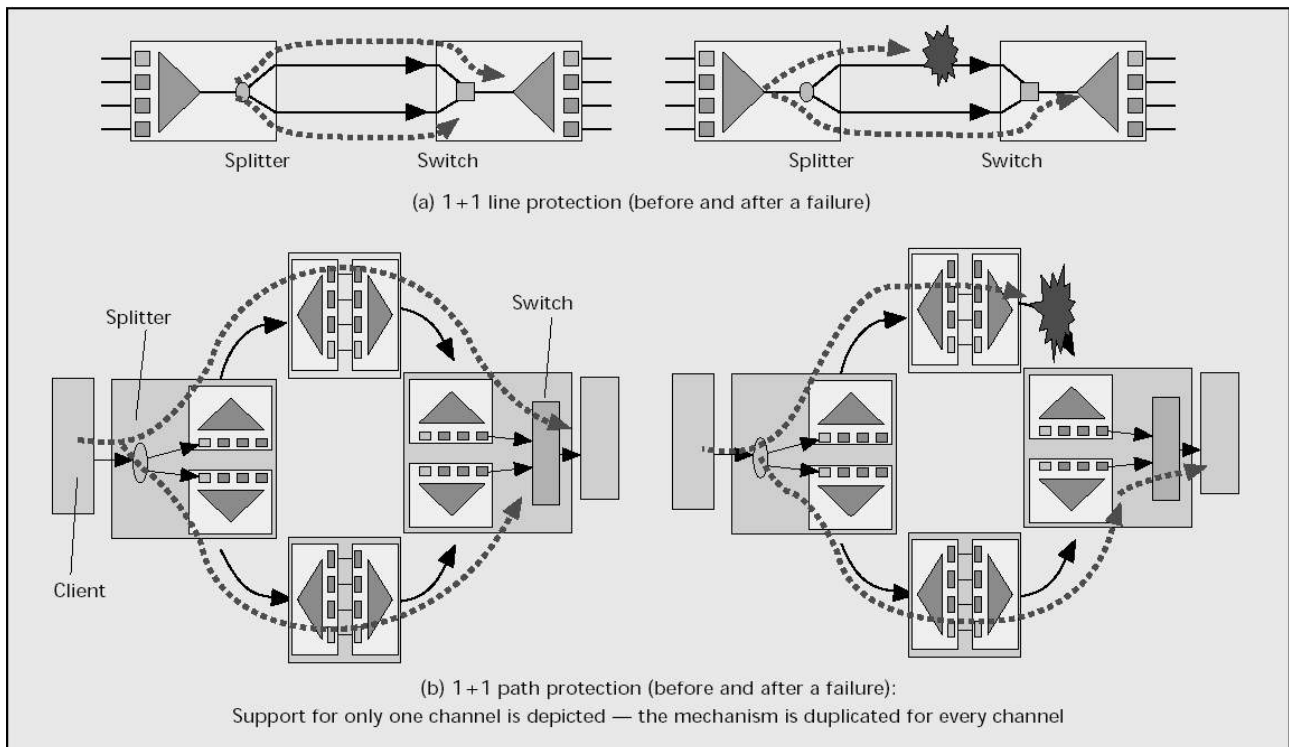
¹ The physical network topology can be any mesh, passing lightpaths between client equipment nodes. The virtual topology from the client equipment standpoint is restricted as per the client layer (e.g., rings for SONET).

² The physical topology is any mesh, while the virtual topology of the lightpaths is a ring.

слика 4.6 Споредба помеѓу различните методи за заштита на ниво на патека

Поради ова, со комутација на вкупниот мултиплексен сигнал како група на канали, методите за заштита на линија бараат помалку опрема од методите за заштита на патека.

Да ги разгледуваме, на пример, двете методи за заштита прикажани на слика 4.7. И двете може да се сметаат за 1+1 методи на заштита, т.е. двете го делат сигналот на страната на предавателот и ја избираат подобрата копија на страната на приемникот. На слика 4.7а е прикажана 1+1 заштита на линија, во која делењето на сигналот и неговата селекција се врши врз целиот WDM сигнал. На слика 4.7б е прикажана 1+1 заштита на патека, каде делењето и селекцијата се врши независно за секоја светлосна патека.



слика 4.7 Заштита на линија визави заштита на патека

Постојат важни разлики од аспект на цена и комплексност на двата пристапи. Заштитата на линија инсистира на еден дополнителен раздвојувач (splitter) и комутатор, а заштитата на патека инсистира на еден сплитер и комутатор по светлосен канал. Што е уште поважно, заштитата на патека типично инсистира на двојно повеќе транспондери и двојно повеќе мултиплексери/демултиплексери во споредба со заштитата на линија. Затоа, заштитата на патеки е скоро двојно поскапа од заштитата на линија доколку треба да се заштитат сите канали.

4.2.3. Базични методи за заштита

Базичните методи кои ќе бидат опишани во оваа глава се споредени во слика 4.4, слика 4.5 и слика 4.6. Методите за заштита на оптичко ниво можат да бидат класифицирани на сличен начин како SONET/SDH методите за заштита и можат да бидат имплементирани на ниво на клиенти, ниво на патеки и на ниво на линија.

4.2.3.1. Заштита на ниво на клиент

Едноставна опција е да се дозволи нивото на клиентот да си ја извршува својата метода за заштита и да не се користи заштита на оптичко ниво. Ова може да се користи за SONET/SDH клиент нивои. Иако ова изгледа едноставно од перспективата на оптичкото ниво, значителна заштеда може да се оствари со користење на заштита на оптичко ниво. Додека методата за заштита на клиентот може да биде наменета за точка-точка, прстен, или меш мрежни архитектури, од аспект на оптичката мрежа, сите овие се мапираат во поддршка на оптичка меш мрежа, бидејќи дури и точка-точка линк од клиентот може да се протега низ цела оптичка меш мрежа.

Треба да се забележи дека со заштита на ниво на клиент, треба да се осигура дека работните и заштитните патеки се целосно различно рутирани низ оптичкото ниво така што нема точки кои би предизвикале прекин и на двете патеки. На пример, не е добро работната и резервната патека од клиентот да се мапираат во различни бранови должини кои минуваат низ ист WDM линк. Доколку линкот е во дефект и двете патеки ќе бидат во прекин.

4.2.3.2. Методи за преживливост на нивото на оптичка патека

4.2.3.2.1 1+1 заштита на патеки

Оваа метода претставува една од наједноставните форми на заштита и исто така една од методите со најмала ефикасност во поглед на искористување на пропусниот опсег. Освен тоа, таа е многу скапа (само заштитата на ниво на клиенти е поскапа). Од сигналот на клиентот со користење на мост (раздвојувач) се генерираат две идентични копии, кои се пренесуваат од две независни светлосни патеки кои се рутираат на две различни рути низ оптичката мрежа, а на крај дестинацијата ја избира подобрата светлосна патека. Ова инсистира на две бранови должини низ мрежата, и исто така на два пара на транспондери на двата краја (види слика 4.7). Ако оваа метода се примени во прстенеста архитектура, таа се нарекува оптички еднонасочен прстен со префрлување на ниво на патеки (OUPST – Optical Unidirectional PathSwitched Ring) или OCh/DPRing (OCh Dedicated Protection Ring).

Раздвојувањето на сигналот на клиентот (bridging) се остварува со оптички спрежник, додека селекцијата се отварава преку 1x2 оптички комутатор. Координацијата на оваа метода е едноставна бидејќи приемниот крај може да одлучи да префрли на резервната патека без координација со изворот.

4.2.3.2.2 Двонасочен прстен со префрлање на ниво на патека

Оваа метода е базирана на BLSR/4 кај SONET/SDH прстенестите структури, и се базира на заеднички заштитен пропусен опсег резервиран во прстенот. Кога работната светлосна патека е во дефект, јазлите се обидуваат да го испратат сообраќајот преку резервираниот пропусен опсег во иста насока околу прстенот (за да се справи со дефект на транспондер). Ова се нарекува **заштита на ниво на спан** (делница помеѓу два ADM т.е. одговара на збир на сите мултиплексни секции помеѓу два соседни јазли). Доколку тоа не е можно јазлите го враќаат назад сообраќајот по алтернативна патека околу прстенот се до другиот крај од дефектот. Оваа заштита се нарекува **префрлување на ниво на прстен**. Методата овозможува светлосни патеки со исти бранови должини да делат ист заштитен пропусен опсег, доколку тие не се истовремено во прекин.

Оваа метода може да се имплементира со ОХС или преку мали комутатори вградени во OADM. За секој заштитен канал е потребен комутатор. Потребна е брза координација помеѓу јазлите за да се избегне погрешно поврзување¹⁴ (misconnection). Имплементацијата на алгоритмот за координација може да биде базиран на SONET/SDH APS протоколите.

4.2.3.2.3 Заштита на патеки во меш структура

Оваа метода овозможува заштита во меш структура со брзо заштитно префрлување (помало од 100ms) за секоја светлосна патека во прекин на резервната патека, со завземање на различна рута по светлосна патека. Овие резервни патеки се заеднички за повеќе работни светлосни патеки (се додека работните патеки не делат заеднички мрежни ресурси и затоа не е можно да бидат во дефект во исто време). Кога настанува дефектот, информацијата за настанот брзо се пренесува до релевантните јазли кои ја воспоставуваат резервната патека и ги комутираат податоците на таа патека. Оваа метода се имплементира во новите типови на ОХС. Поради потребата од кратко време на заштитно префрлување, оваа метода најчесто се базира на претходно дефинирани патеки во централна локација и складирана во јазлите од мрежата, така да тие можат брзо да се активираат врз база на типот на дефект.

4.2.3.2.4 Реставрација на патеки во меш структури

Оваа метода е многу слична на заштитата на патеки во меш структура. Сепак, за разлика од заштитата на патеки, оваа метода нема така строги барања во поглед на времето на префрлување, и

¹⁴ Пгрешно поврзување особено може да настане при дефект на јазол.

затоа може да биде целосно централизирана. Уредот за координација го прима настанот кој укажува на дефект. Овој уред ги пресметува алтернативните рути со користење на неговата топологиска мапа и испраќа до јазлите нови информации за воспоставување на новите рути. Самите јазли не се обврзани да одржуваат било какви информации во врска со топологијата на мрежата.

Централизираната природа на оваа метода гарантира пооптимален избор на реставрационите рути, и ја намалува комплексноста за имплементација и одржување која е карактеристична за дистрибуираните методи.

4.2.3.2.5 1:N заштита на опрема

Еден од најкомплексните компоненти, а со тоа и подложен на дефект во WDM терминалот е транспондерот. 1:N заштитата доделува резервен транспондер за префрлување во случај на дефект на транспондер кој се користел за работниот сообраќај. Заштитата овозможува реставрација на афектираниот сообраќај до замената на расипаниот транспондер.

Оваа метода може да се имплементира со користење на променлив предавател (ласер), но почесто се базира на за таа цел специјално доделена бранова должина со користење на сигнализационен протокол, на пример сличен на APS протоколот во SONET/SDH.

4.2.3.3. Методи за преживливост на нивото на оптичка мултиплексна секција

4.2.3.3.1 1+1 линеарна заштита

Оваа метода се базира на раздвојување на два дела (bridge) на целиот линиски WDM сигнал на пар различно рутирани патеки. Приемниот дел од овие патеки потоа избира кој од двата сигнали да го прими. Треба да се забележи дека за разлика од 1+1 заштитата на ниво на оптичка патека, раздвојувањето и селекцијата на сигналот се врши на здружениот линиски сигнал со користење на мост/селектор. Оваа метода е прикажана на слика 4.7.

4.2.3.3.2 1:1 линеарна заштита

Оваа метода е слична на претходната, со таа разлика што сигналот се префрла или на работната или на заштитната патека, но не на двете истовремено. Тоа го зголемува времето и барањата за координација, но овозможува пренос на сообраќај со мал приоритет на резервната патека (до моментот кога е потребно да се заштити работната патека). Таа исто така има помали губитоци на оптичка снага поради фактот што целата енергија на сигналот се насочува на една патека, а не на две.

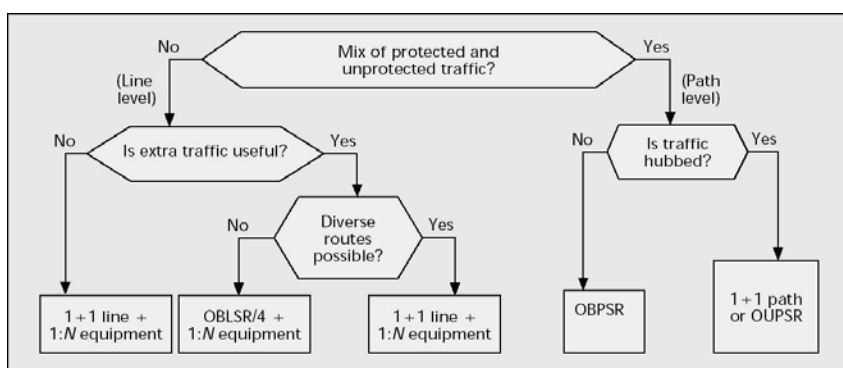
Префрлувањето во оваа метода обично се остварува со користење на 1x2 оптички комутатор. Координацијата се остварува преку брз сигнализационен протокол како на пример APS во SONET/SDH.

4.2.3.3.3 Еднонасочен прстен со префрлување на ниво на линија

Оваа метода е слична на OUPSR (види 4.2.3.2.1), освен што раздвојувањето и селекцијата на сигналот се прави врз здружениот WDM сигнал. Ова овозможува пооптимален дизајн, пониска цена, и многу различни начини на имплементација.

Една интересна имплементација на оваа метода е базирана на пасивни спрежници поврзани во прстен кој всушност на овој начин претставува дифузен медиум. Наместо користење на OADM-и, оваа метода се базира на употреба на едноставни OLT, секој спрегнат во прстенот во насока на часовникот и прстенот во спротивната насока од часовникот, така да секоја бранова должина се пренесува и прима на двете оптички влакна. За да се избегне интерференција на истиот сигнал кој доаѓа од двете насоки, прстенот вештачки се прекинува на произволен линк во нормални услови на работа, со што тој резултира во линеарна магистрала. Кога ќе настане прекин на оптичкото влакно, прекинатиот линк се поврзува, но прстенот и натаму е линеарна магистрала поради дефектот.

4.2.3.3.4 Бидирекционален прстен со префрлување на ниво на линија



слика 4.8 Базичен дијаграм за избор на метода за заштита (под претпоставка дека е потребна и заштита на опремата и заштита на линијата)

Оваа метода е слична на претходно опишаната OBPSR метода, во два аспекти. Од аспект на користениот протокол за координација и од аспект на типовите на заштита (префрлување на спан и префрлување на ниво на прстен). Како сите методи за префрлување на ниво на линија, вкупниот WDM сигнал се префрла во целост на за тоа доделено заштитно оптичко влакно (во случај на имплементација на прстен со 4 влакна), или на друг WDM опсег во рамките на едно оптичко влакно (работа на прстен со две оптички влакна; за оваа апликација потребно е да се користи двостепен оптички мултиплексер). Со оглед на тоа што целта е да се намали бројот на употребени WDM ресурси, WDM сигналот на резервната патека не се демултиплексира околу прстенот се додека не го достигне другиот крај од дефектот, каде тој се рутира назад на работната патека и продолжува кон дестинацијата како пред настанатиот прекин. Пример на OBLSR методата е прикажана во [21]. Оваа метода уште се нарекува прстен со заедничка заштита на оптичка мултиплексна секција (OMS/SPRing - OMS shared protection ring).

Со оглед на тоа што резервната рута врти околу целиот прстен во оптичка форма, можно е да бидат потребни оптички засилувачи по должината на резервната патека за да се компензираат губитоците. Обиколката на прстенот е исто така ограничена од други оптички штетни влијанија. Затоа оваа опција е најпогодна за метрополитски мрежи.

4.2.3.3.5 Протекција/реставрација на меш структури

Оваа метода се базира на сè-оптички уреди за пресподување кои го пренасочуваат WDM сигналот од линкот во дефект на алтернативна рута. Како OBLSR, оваа метода е ограничена од штетните оптички влијанија кои можат да се појават по должината на алтернативната рута и затоа инсистира на внимателен оптички дизајн.

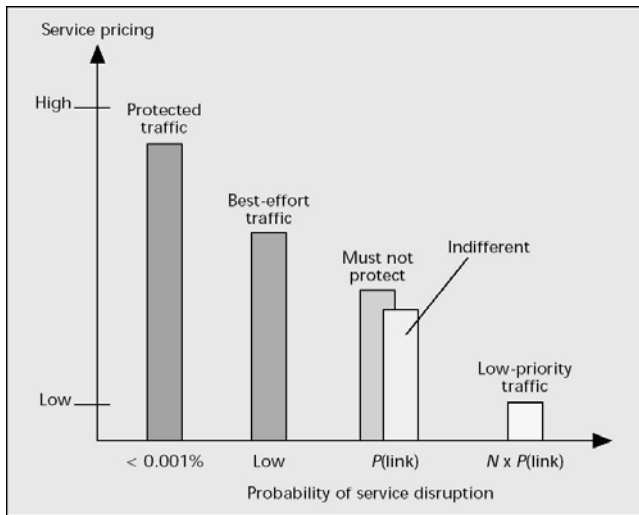
4.2.4. Размислувања за избор на метод за заштита

Оваа глава го опишува критериумот кој може да се користи од операторот за да избере метода за заштита која би се користела во мрежата. Поедноставениот блок дијаграм е прикажан на слика 4.8.

4.2.4.1. Сервисни класи

Од гледна точка на операторот, светлосните патеки може да припаднат во една од петте класи кои можат да се понудат како различен степен на услуга за интерни апликации но исто така и за надворешни корисници:

- 1) Светлосни патеки кои мора да се заштитат од оптичкото ниво (protected traffic),
- 2) Светлосни патеки кои не мора да бидат заштитени (must not protect),
- 3) Светлосни патеки кои се индиферентни на заштита (indifferent),
- 4) Светлосни патеки кои можат да се заштитат врз база на најдобар труд (best-effort),
- 5) Светлосни патеки со мал приоритет кои го користат опсегот за заштита во нормални услови и кој се присвојува во случај на заштита на други светлосни патеки (low-priority traffic).



слика 4.9 Можно вреднување на услугите во споредба со сигурноста по тип на услуга како функција од дефект на R-от линк во мрежа со вкупно N линкови

во подолг временски интервал отколку заштитата на оптичко ниво. Четвртата категорија го опфаќа степенот на услуги помеѓу целосно заштитени и незаштитени, и треба да се вреднуваат соодветно. Оваа категорија му гарантира на нивото на клиент дека ќе се обиде да изврши заштита доколку има доволно пропусен опсег и затоа обезбедува помала веројатност за прекин на услугата отколку за индиферентната класа на услуга (веројатноста за прекин на втората е еднаква на веројатноста да одреден ресурс од оптичкото ниво е во дефект по должината на светлосната патека). Овие веројатности на различните класи на услуги од аспект на заштитата на оптичкото ниво се дадени на слика 4.9. Клиент-мрежа со голема еластичност како на пример Интернет мрежата може да избере ваква услуга од оптичкото ниво. Последната категорија е добра за апликации кои можат да поднесат губиток на услугата во подолг период. Пример на нејзина употреба е дополнителен капацитет за да се зголемат перформансите на мрежата во случај на ретки ситуации на преоптоварување така што губитокот на овој капацитет не ги намалува перформансите на мрежата во повеќето ситуации.

На слика 4.10 се дадени примери на апликации кои одговараат на овие различни категории на услуги. За IP мрежа која функционира преку оптичкото ниво, потребно е дадено множество на светлосни патеки да бидат заштитени од оптичкото ниво така што во најлош случај постои минимално множество на линкови помеѓу IP упатувачите во секое време. Покрај ова минимално множество, останатите светлосни патеки можат да се базираат на било која друга категорија на услуга, со исклучок на "не мора да се заштити" (т.е. категорија 3). На пример во прстенеста структура пола од светлосните патеки може да бидат заштитени, и заштитниот пропусен опсег потребен за овие светлосни патеки може да се користи за обезбедување на светлосни патеки со мал приоритет. Според тоа, во услови на нормално функционирање, 100% од пропусниот опсег ќе биде на располагање на IP нивото, и во случај на дефект, половина од сообраќајот ќе биде отфрлен за да се заштити другата половина. Во случај на SONET/SDH мрежа, доколку постои SONET/SDH заштита, операторот можеби нема да сака да го заштити сообраќајот на оптичко ниво за да се избегнат евентуални конфликтни ситуации помеѓу двата типа на заштита (race conditions). Доколку ваквите ситуации не се проблем тогаш SONET/SDH нивото ќе биде индиферентно на тоа дали постои или не заштита на оптичко ниво.

Се јавува интересно прашање за **критериумот на расположивост** за различните класи на услуга на светлосни патеки, врз база на кој операторот ќе наплаќа различно. Ќе биде даден пример за ова врз основа на прстенеста мрежна конфигурација согласно слика 4.9. Заштитениот сообраќај дава најголема расположивост и треба да се вреднува соодветно на тоа. Сообраќајот со мал приоритет се пренесува во заштитниот пропусен опсег резервиран за заштитените светлосни патеки. Како резултат на тоа, ако било кој од N-те линкови во прстенот е во дефект, овој сообраќај ќе биде изгубен. Затоа, веројатноста за губење на овој сообраќај е висока. Нека сега го разгледуваме сообраќајот кој не мора да се заштити од оптичкото ниво. Овој сообраќај се пренесува низ светлосни патеки и се губи само ако еден од линковите по должината од патеката е во дефект (на слика 4.9 се претпоставува дека светлосната патека користи P линкови). Сообраќајот со надобар-труд (best-effort) ќе има донекаде

Во првата категорија се светлосни патеки за кои клиентот се ослобува на оптичкото ниво да ги заштити податоците, како во случај на различни податочни клиенти. Во втората категорија се светлосни патеки кои пренесуваат сообраќај кој веќе е заштитен во нивото на клиентот, како на пример во SONET/SDH клиент ниво. За ваквите светлосни патеки, операторот можеби нема да сака да ги комплицира работите со имплементација на заштита на повеќе нивои. Третата категорија вклучува клиенти кои се рамнодушни на имплементација на заштита на оптичкото ниво. Тие не инсистираат на заштита од оптичкото ниво бидејќи тие имаат сопствен механизам, но во исто време можат да ја толерираат оптичката заштита без да ја комплицираат сопственото функционирање. IP сообраќајот може да се покрие со оваа категорија на заштита бидејќи неговата заштита на 3 ниво се извршува

поголема расположивост бидејќи дури и во случај на дефект, оптичкото ниво ќе се обиде да го заштити овој сообраќај.

Service class	IP	SONET	ESCON ¹
Must protect	For basic connectivity	—	If native ESCON protection cannot be used
Must not protect	—	If concerns of race conditions exist	—
Indifferent	If protection relies on IP layer	If no such concerns exist	If ESCON protection exists
Best effort	For extra bandwidth	—	—
Low priority	For extra bandwidth	—	—

¹ ESCON refers to the Enterprise Serial Connection, a 200 Mb/s protocol used to interconnect IBM mainframes with their peripherals. It is brought in here as an example of a typical datacom protocol.

слика 4.10 Пример како можат да се употребат различните класи на услуги за различни апликации

заштити" сообраќајот инсистира да операторот превземе специјални мерки за да го поддржи, како на пример користење на поскапата заштита на ниво на патека (под претпоставка дека операторот поддржува и заштитен и незаштитен сообраќај)¹⁵.

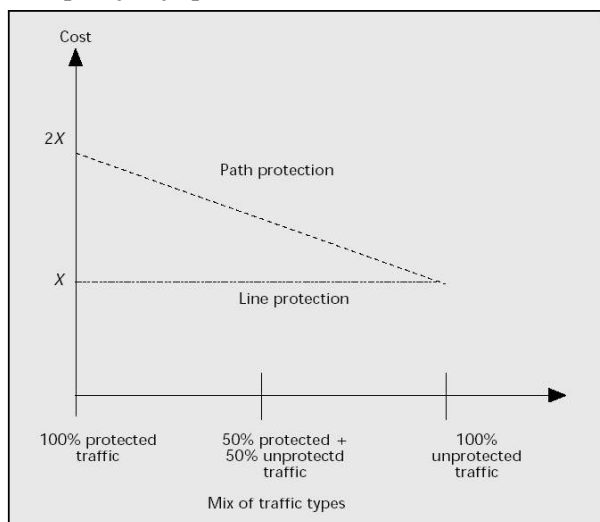
Индиферентниот сообраќај ќе биде веројатно поддржан од операторот како сообраќај со мал приоритет или како сообраќај со најдобар-труд, но ќе се вреднува полошо од "не треба да се заштити" категоријата. Ова е поради тоа што индиферентниот сообраќај може да се обезбеди преку заштитени или незаштитени светлосни патеки, што дава поголема флексибилност за операторот. На пример операторот може да користи ефтина линиска заштита, додека "не мора да се

4.2.4.2. Цена на заштита

Друг критериум од гледна точка на операторот е цената на системот од најмалку два аспекти:

- Цена на опрема,
- Ефикасност на искористување на пропусниот опсег.

И двата аспекти зависат од мешањето на услуги за понудениот сообраќај, т.е. од процентот на сообраќај кој треба да биде заштитен од оптичкото ниво.



слика 4.11 Цена на опремата за решението за фиксен број на канали и мешан заштитен и незаштитен сообраќај

На слика 4.11 е прикажана цената на опремата за методата со заштита на патеки и метода за заштита на линија како функција од мешањето на сообраќај (заштитен и незаштитен). Ако е потребно да се заштити целиот сообраќај, методата за заштита на патеки инсистира на двојно повеќе опрема од линиската заштита бидејќи има помало делење на заедничката опрема. Сепак, цената на заштитата на ниво на патека е пропорционална на бројот на канали кои треба да се заштитат, бидејќи секој канал инсистира на придружен мултиплексер/демултиплексер и терминиращка опрема. Поради ова, цената на заштитата на ниво на патека се намалува доколку е потребно да се заштитат помал број на канали. Во случај кога ниту еден канал не треба да се заштити, заштитата на ниво на патека ќе чини исто како и линиската заштита, под претпоставка дека не е вградена дополнителна заедничка опрема.

Од аспект на ефикасност на пропусниот опсег ситуацијата е поинаква (види слика 4.12). Во системот со линиска заштита, заштитниот пропусен опсег се троши за патеките кои бараат заштита како и од патеките кои не бараат заштита. Во системите со заштита на патеки, патеките кои не бараат заштита користат помалку пропусен

¹⁵ Ако операторот користи линиска заштита тогаш не може да се дефинираат незаштитени светлосни патеки, т.е. сите светлосни патеки ќе бидат заштитени.

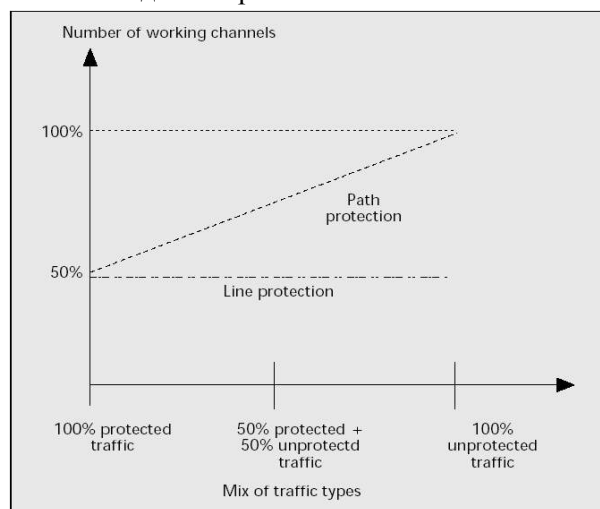
опсег, дозволувајќи да другите незащитени светлосни патеки го користат пропусниот опсег кој би се потрошил за небарана заштита.

Следи дека доколку голем дел од светлосните патеки може да се остави незащитен (дали поради тоа што тие не треба да се заштитат или тие се индиферентни на заштита), заштитата на ниво на патека ја оправдува цената поради поддршка на повеќе работен сообраќај преку иста мрежа во споредба со линиската заштита.

Од аспект на доставувачот на опрема, можноста за имплементација на дадена метода за заштита зависи од типот на опрема и нејзиното место во мрежата. Опремата која работи со индивидуални патеки мора да ги заштити истите на ниво на патека и не може да ги заштити на линиско ниво. На пример, ОХС кој комутира индивидуални бранови должини спаѓа во оваа категорија.

Опремата која ракува со пренос на повеќе канали во оптичкото влакно може да обезбеди заштита на линиско ниво. Оптичките WDM терминали и ADM-и се примери на овој тип на опрема. Исто така, ОХС кои вршат комутација на оптички влакна можат да се користат за оваа намена.

Во оваа глава беа дискутирани различни методи за заштита кои се применливи во оптичкиот домен. Прво беа изложени мотивациите за имплементација на заштита т.е реставрација на оптичко ниво. После дефинирањето на можните методи и нивната споредба, беа изнесени размислувања од аспект на оператор во изборот на вистинската метода. Треба да се истакне дека не постои еден избор кој е секогаш оптимален. Вистинското решение зависи од ограничувањата и типот на сообраќај, кој варира од оператор до оператор. Оператор кој воглавно вградувал SONET/SDH опрема но сака да премине со тек на време на IP базирана мрежа може да користи заштита на ниво на светлосни патеки за да поддржува комбинација од SONET/SDH и IP сообраќај преку единствена оптичка инфраструктура. Во спротивно операторот може да ги издвои овие две мрежи и да изгради независни инфраструктури за секоја од нив. Во тој случај, SONET/SDH сообраќајот може да се пренесува преку незащитено оптичко ниво, додека IP сообраќајот може да се пренесува преку оптичко ниво со користење на линиска заштита. За IP ориентираните оператори, линиската заштита е логичен избор поради пониската цена.

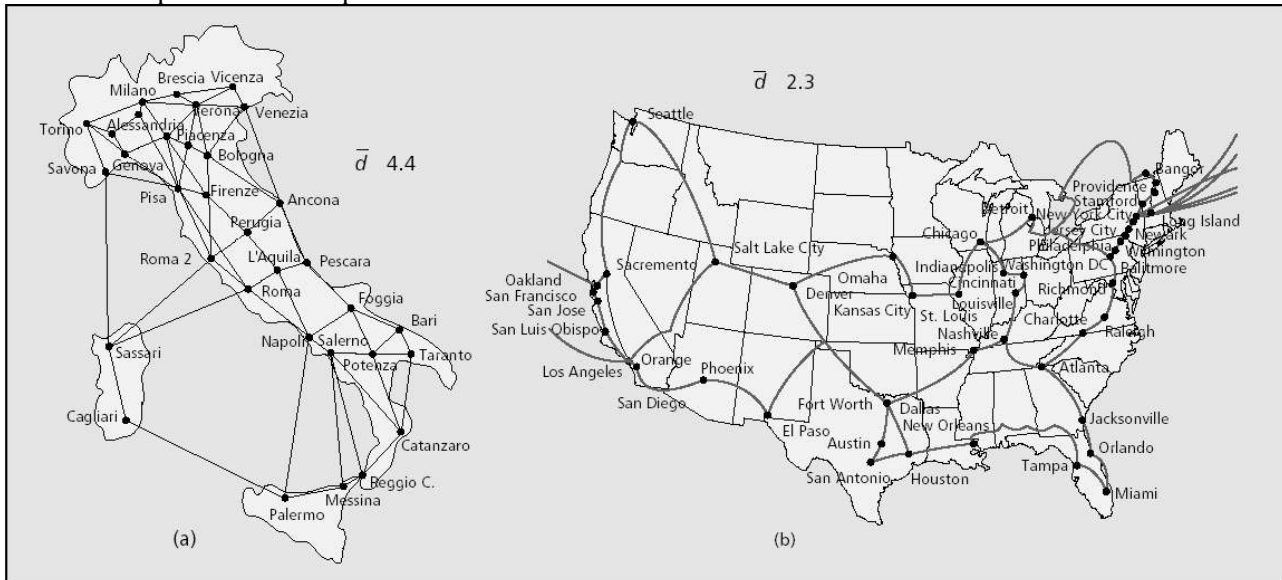


слика 4.12 Максимален број на работни канали во прстен со фиксен вкупен број на канали за мешан заштитен и незащитен сообраќај

4.3. Нови опции и согледувања за преживливите транспортни мрежи

Оваа глава е посветена на избор од неодамнешни теми за преживливи оптички мрежи и се базира на анализата во [37]. Изнесени се нови идеи за доделување на работни и резервни капацитети како и систематска споредба на барањата за капацитет на неколку методи за заштита и реставрација на меш во зависност од степенот на поврзаност на јазлите. Текстот обезбедува нови опции и согледувања кои се однесуваат на следниве прашања: Како да се еволуира од постојните прстенести мрежи во идните меш мрежи? Ако графот е многу редок, како може меш ефикасноста да биде многу подобра од ефикасноста на прстените? Како различните методи за реставрација на меш се рангираат во поглед на барањата за капацитет? Колку се зголемува ефикасноста доколку мрежата се збогати со спанови т.е се зголеми поврзаноста на мрежата. Во оваа глава исто така ќе биде опишан концептот на р-циклуси (p-cycles), кој има брзина на прстен и ефикасност на меш. Целта е ограничена на истакнување на основните идеи со разбирање дека тие можат понатаму да се адаптираат за користење во IP или DWDM нивоите со GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching)

Прстенестите преживливи мрежи доминираа во ерата на SONET/SDH. Сепак DWDM оптичките прстени исто така се имплементираат. И покрај тоа што функционирањето на прстенот е многу едноставно, после деценија од планирање, функционирање, и пораст се покажува дека мрежите со повеќе меѓусебно поврзани прстени претставуваат екстремно комплексен проблем, и дека дури и многу добро дизајнираните прстенести мрежи се изненадувачки неефикасни и нефлексибилни. За разлика од ова, постои растечко ценење на ефикасноста на капацитетот и флексибилноста на меш базираните преживливи архитектури. Многу мрежни оператори се убедени во долгорочните предности од воспоставувањето на меш базирани DWDM транспортни архитектури, но во моментот имаат транспортна мрежа базирана на прстенеста структура и можеби штотуку имаат имплементирано DWDM прстени.



слика 4.13 Илустрација на степенот на поврзаност на физичкото ниво на транспортните мрежи

Точно и општо познато тврдење за меш структурите е дека нивната ефикасност во поглед на капацитет е најдобра за високо поврзани графови (т.е. графови со голем степен на поврзаност на јазлите). Во овој поглед постои грижа кај повеќето северно-американски оператори имајќи во предвид дека нивните мрежи се ретко поврзани (мал степен на поврзаност). Европските мрежи обично имаат среден степен на поврзаност ($\bar{d}$) не поголем од 4.5, но некои глобални и северно-американски мрежи имаат $\bar{d} = 2,2$. На слика 4.13 се прикажани примери на физичката поврзаност на две различни мрежи. За мал степен на поврзаност природно е да се постави прашањето дали се исплатува имплементацијата на меш структура во однос на прстенеста структура. Мета-меш идејата е усовршување на постоечките методи за реставрација на спан (или претходно испланирана линк заштита) која специфично е наменета за зголемување на ефикасноста на искористување на капацитетот во ретко поврзани мрежи.

Во главата 4.3.2 ќе се изврши споредба на барањата за капацитет на пет најчесто разгледувани методи за заштита и реставрација на меш мрежи, плус мета-меш пристапот. Исто така ќе биде истакнато како секоја од овие методи реагира на промена на поврзаноста на графот.

Главата 4.3.3 која го опишува најновиот метод за реставрација во меш мрежи - р-циклуси, има потекло во долгорочното барање за заштитно префрлување од 50ms за да не дојде до забележителен прекин на сообраќајот. Во минатото секогаш се претпоставувало дека може да се има или ефикасноста на меш мрежата или брзината на прстенестата структура, но не и двете. Значителна работа што се однесува на р-циклусите е што тие нудат трет пристап, кој се разликува и од прстените и од меш мрежите, но без жртвување на ефикасноста на мешот и оперативната флексибилност.

4.3.1. Мета-меш мрежи

Во мета-меш (meta-mesh) концептот (види [40]) потребата за резервен капацитет во меш мрежи со мал степен на поврзаност (low node degree) кои користат реставрација на спан (т.е. линк

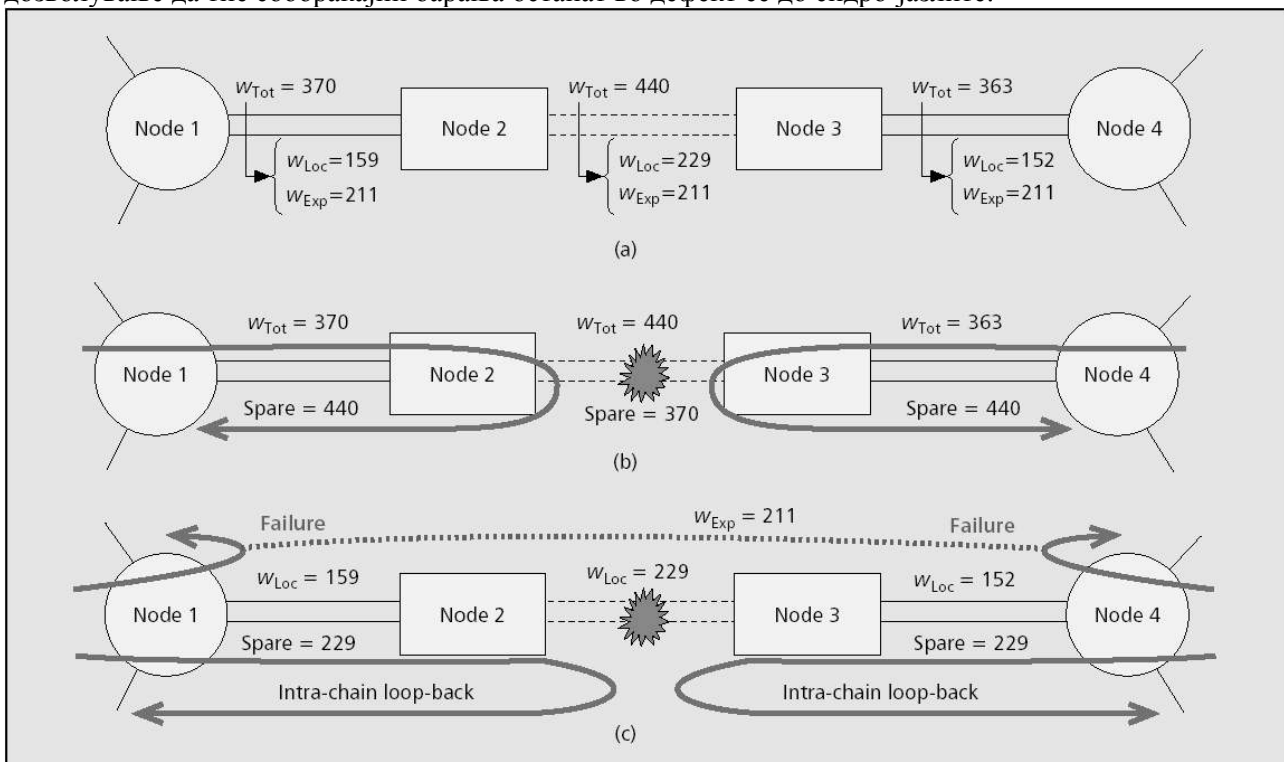
реставрација) се намалува со посветување на внимание на начинот на кој синцир подмрежите (chain subnetworks) се структурираат и реставрираат.

Пристапот ја гледа ретко поврзаната мрежа¹⁶ (sparse network) како мета-меш од меѓуповрзани синцир подмрежи. За да се објасни ова, ќе започнеме со практична обсервација дека ретко поврзаните мрежи (види слика 4.13б) имаат тенденција да содржат синцири од јазли со степен на поврзаност 2.

Својство на јазлите со степен 2 при реставрација на спан е дека резервниот капацитет на секоја страна од јазолот мора да биде еднаков (или поголем) од работниот капацитет на другата страна од истиот јазол. Едноставно кажано, топологиите со степен на поврзаност 2 наметнуваат дека резервниот капацитет мора да биде доволен да поддржува враќање назад (loop-back) на работниот капацитет од другата страна на јазолот, исто како кај BLSR прстен.

Во конвенционалната реставрација на спан резервниот капацитет во синцирот се поставува на вредност еднаква на спанот со најголем работен капацитет од синцирот, како синцирот да е дел од BLSR прстен, имајќи ги во предвид размислувањата за мрежи со степен на поврзаност 2 од предходно. При дефект на спан од синцирот, целиот работен капацитет се враќа назад во спротивната насока во синцирот се додека не дојде до јазол со степен на поврзаност 3 или поголем, наречен јазол-сидро (anchor node), на крајот од синцирот. Помеѓу јазлите-сидро, се остварува меш реставрација во пошироката мрежа како целина. На слика 4.14a,b е илустриран конвенционалниот начин на доделување на резервниот капацитет, и принципот на враќање назад на сообраќајот при дефект на спан.

Во мета-меш реставрацијата се прави разлика помеѓу типовите на сообраќај во спановите од синцирот. Сообраќајот кој извира и/или терминира во јазлите од синцирот се нарекува локален или интра-синцирест. Секој работен проток кој патува низ синцирот кој извира и терминира надвор од синцирот, или во еден од сидро-јазлите, се нарекува експресен проток т.е сообраќај. Мета-меш дизајнот ќе обезбеди доволно резервен капацитет само за враќање назад на интра-синцирестиот сообраќај, а за експресниот сообраќај не се обезбедува резервен капацитет за негово враќање до сидро-јазелот. Наместо тоа се дозволува да експресниот сообраќај остане во прекин (fail back) како што тоа е прикажано на слика 4.14c. Образложение е дека составувањето на сообраќајните барања за експресниот сообраќај кој минува низ спанот во дефект не се менува со додај/извади ефектите во јазлите од синцирот, па тој може да биде вратен до сидро-јазлите за меш реставрација со едноставно дозволување да тие сообраќајни барања останат во дефект се до сидро-јазлите.



слика 4.14 Мета-меш реставрација

¹⁶ Во Северна Америка средниот степен на поврзаност на јазлите е околу 2,2, а во Европа 4,5.

Нека сега се префрлиме од набљудување на еден синцир на набљудување на синцирот како составен дел на мета-меш мрежата. Мета-меш е топологија која настанува кога сите спанови и подмрежи од синцири се гледаат еквивалентно како ребра (edge) од друг граф, имено, мета-меш графот. На овој начин мета-мешот се состои од јазли со степен на поврзаност 3 или поголем поврзани со директни физички спанови или подмрежи од синцири – и двете опции се логички спанови од мета-мешот. Значењето на мета-мешот е дека само на ова ниво на апстракција може да настане делење на резервните капацитети како кај вистински меш. Како пример, мета-мешот од слика 4.13b има само 15 јазли и 23 логички спана (средниот степен на поврзаност на јазлите изнесува $\bar{d} = 3,08$), додека целата мрежа има 55 јазли и 62 спана ($\bar{d} = 2,25$). Поради неговата природа, мета-меш графот е секогаш најмалку со степен на поврзаност 3. Ако се користи добро познатата формула (види ф. 4.1) за пресметување на долната граница за редундантност на резервниот капацитет во мрежи со реставрација на спан ќе се утврди дека со промена на средниот степен на поврзаност од 2 на 3 се преполовува редундантноста.

$$R = \frac{1}{\bar{d} - 1} \quad \text{ф. 4.1}$$

Затоа, доколку било кој реставрационен проблем се претвори во мета-меш, може да се дојде до заштеда на капацитет. Ова е главната теоретска идеја во мета-меш концептот.

Според тоа, со дозволување на експресниот проток да остане во дефект, а не да се враќа назад до сидро јазлите, се штеди на резервен капацитет во синцирот, а експресниот сообраќај се третира за реставрација во мета-меш графот. Експресните протоци низ синцирите се третираат целосно со принципите на реставрација за меш мрежи и никогаш не се земаат во предвид при димензионирањето на резервниот капацитет на синцирот. Ова не важи за локалните протоци бидејќи воспоставувањето на локалните сообраќајни барања се менува во секој спан со додај/извади постапките на јазлите. Затоа е потребно експлицитно враќање назад за да се врати сообраќајот од точката на прекин до сидро-јазолот во состав каков што бил во спанот во дефект.

Промените на реставрациониот механизам се мали. Доколку дојде до прекин на спан во синцир, соседниот OADM врши функција на враќање назад, но сега само за локалните протоци. Експресните протоци логички или физички го заобиколуваат ADM-от на или друга бранова должина или друго влакно, со што исто така се штеди пропусниот опсег на ADM-от. Во исто време дефектот предизвикува ADM-те да ја вратат назад до сидро-јазлите, состојбата за дефектот на експресниот сообраќај. LOS (Loss Of Signal) или AIS (Alarm Inhibit Signal) сигналите ќе ги известат двата сидро-јазли за настанатиот дефект. Во сидро јазлите, прекинатите канали од експресниот сообраќај и вратените назад канали од локалниот сообраќај се здружуваат од гледна точка на реставрацијата и се јавуваат како дефект на единствен логички спан за реставрација во мета-меш графот составен од ОХС јазли. Само јазлите од мета-меш мрежата треба да имаат функција за оптичко прespoјување. Јазлите од синцирот користат обични ADM-и.

4.3.2. Споредба на барањата за капацитет и тополошката зависност на меш методите за заштита и реставрација

Во оваа глава ќе се изврши споредба на барањата за капацитет на најраспространетите типови на преживливост во меш мрежите. Исто така ќе биде опишано како секоја од овие методи зависи од поврзаноста на графот на физичко ниво. Во [41], овие меш методи се тестирани врз база на споредба на оптималниот дизајн кој треба да опслужи иста сообраќајна матрица со 100% преживливост за дефект на еден спан (било кој). Опишани по општ редослед со зголемувачка ефикасност на капацитет, методите кои се споредуваат се:

- **1+1 заштита на патеки (1+1 APS);** Ова се меш мрежи кај кои работниот сообраќај се рутира по методот на најкратки патеки и исто толкав капацитет се резервира индивидуално во наредната најкратка целосно различна (диверзификувана) рута. Крајниот комутаторот од врската (tail-end switch) го селектира преживеаниот (или најдобриот) сигнал. 1+1 (или еквивалентно, UPSR) услуга е единствена метода покрај р-циклусите кои ќе бидат опишани подоцна, која буквално осигурува 50ms реставрација и типично се користи за најкритичните услуги.
- **Реставрација на спан – доделување на резервен капацитет (SCA -Spare Capacity Assignment);** Кај овој тип на реставрација сообраќајните барања се рутираат по најкратките патеки

при што следи оптимизација на резервните капацитети за да поддржуваат 100% преживливост со минимален тотален резервен капацитет. Реставрацијата се случува преку k -најкратки рути, на пример, рерутирањето помеѓу терминалните јазли на спанот кој е во дефект (слично на линк реставрацијата моделирана во 7.2.5.1). Механизмот за динамичка реставрација може адаптивно да ги конструира реставрационите рути по барање (види [45]), или рутите за префрлување можат да бидат однапред испланирани во рамките на истиот резервен капацитет (во кој случај оваа метода се нарекува заштита т.е. реставрација на линк).

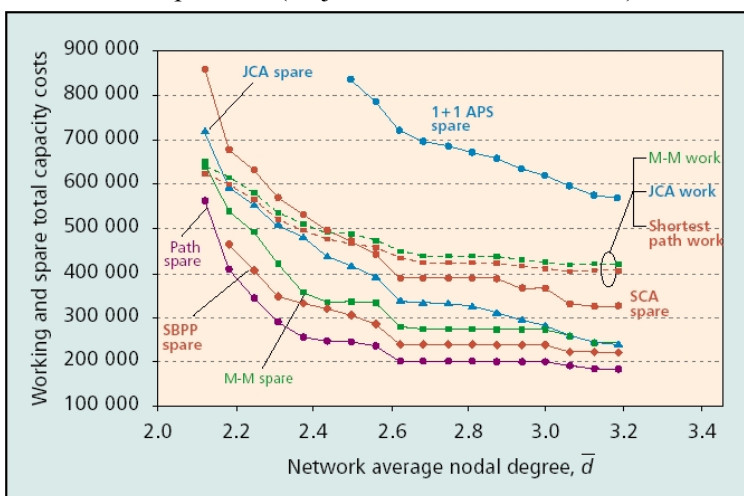
- **Реставрација на спан – здружено доделување на капацитети (JCA-Joint Capacity Assignment);** Кај овој тип на реставрација изборот на рутата за работниот капацитет оптимално се координира со доделувањето на резервниот капацитет така што се минимизира вкупниот работен и резервен капацитет¹⁷. Опциите за динамичко и претходно испланирано рерутирање се исти како за SCA. Рутите на работниот сообраќај воглавно многу малку отстапуваат од најкратките патеки но благодарение на тоа се добиваа екстра заштеда на капацитет во однос на SCA примарно поради ефектите на нивелирање на работниот проток.

- **Мета-меш (M-M).** Оваа метода претставува варијанта на SCA каде експресните протоци низ подмрежите од синцири се остваруваат со логички експресни заобикојувања. Истиот механизам за реставрација се користи како и за SCA, со мали проширувања кај сидро-јазлите за да се интегрира вратениот назад интра-синцир проток со прекинатиот експресен проток за реставрација на спан во логичката мета-меш со јазли од повисок степен на поврзаност.

- **Заштита со заедничка реставрациона патека (SBPP-Shared Backup Path Protection);** Кај оваа метода сообраќајните барања се рутираат по најкратките патеки и една единствена целосно диверзификувана резервна патека е однапред избрана за секој од нив. Резервниот капацитет на резервната рута е заедничка за работните патеки кои немаат заеднички спан, и затоа тие нема да имаат истовремена потреба за резервниот капацитет. Фазата на сигнализација во реално време го зафаќа и преспојува резервниот капацитет. Оваа метода за заштита е преферирана од IETF (Internet Engineering Task Force) за заштита на MPLS нивото и MPLS-контролираната заштита на оптички патеки. Методата е логички идентична со методот на претходно доделена резервна виртуелна патека во ATM (backup VP protection; види [46]).

- **Реставрација на патеки (Path);** Кај оваа метода сообраќајните барања се рутираат по најкратките патеки и се остава доволно резервен капацитет за да се поддржи крај-крај рерутирање на сите истовремено прекинати работни патеки. Централизиран или дистрибуиран механизам за рерутирање вградува колективно координирано множество на патеки за рерутирање како одзив на конкретен дефект. Преживеаните делови од прекинатите работни патеки може да се користат за реставрација (види 7.2.5.2).

Овие методи се споредуваат на начин кој што исто така ја прикажува нивната зависност од топологијата со користење на фамилија од 18 тест мрежи изведени од една главна мрежа со голем степен на поврзаност (32 јазли и 51 спан; $\bar{d} = 3,18$).



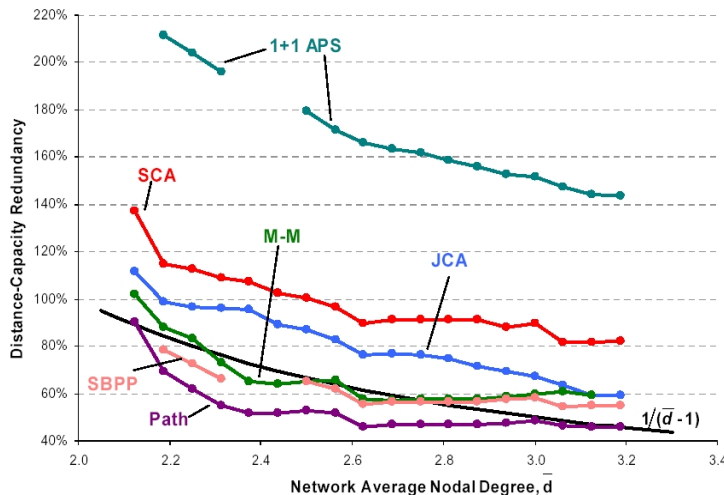
слика 4.15 Зависност на работниот и резервниот капацитет од средниот степен на поврзаност на јазлите во мрежата

Поретки мрежи се изведуваат од главната мрежа со вадење на спанови. Со ова се остварува континуирана варијација на степенот на поврзување додека се задржува позицијата на јазлите и сообраќајната матрица за сите тест мрежи. Математичките модели за дизајн на мрежните модели објаснати погоре, користената сообраќајна матрица, и компјутационите аспекти се дадени во [41], [54], [47] и [48].

На слика 4.15 се прикажани барањата за работен и резервен капацитет за секоја метода за различните тест мрежи. Тоталниот мрежен капацитет кој е потребен за да ги опслужи заедничките барања е сума од овие две криви, а нивниот сооднос (резерва/работен

¹⁷ За разлика од ова моделите во глава 7 независно го оптимизираат работниот од резервниот капацитет.

сообраќај) се нарекува редувантност. 1+1 APS е многу редувантен. Тој не е никогаш помал од 140% (види слика 4.16) и надминува 200% во ретки графови. Методите за реставрација на спан се многу поефикасни во поглед на бараниот капацитет, со тоа што JCA покажува подобри резултати од SCA поради релативно малите промени на рутирањето на работните патеки што има тенденција да го нивелира работниот капацитет. Треба да се забележи дека има многу мала разлика помеѓу барањата за работен капацитет за сите методи. Реставрацијата на патеки е најефикасна метода од сите. Вреди да се истакне дека во најдобар случај, резервниот капацитет за оваа метода одговара на 40% редувантност за 100% преживливост.



слика 4.16 Редувантност на различни методи за меш заштита и протекција во функција од средниот степен на поврзаност на мрежата

специфичен тип на делумна реставрација на патеки. Мета-меш дизајнот претставува атрактивна опција за мрежите со $2,4 < \bar{d} < 2,8$. Во овој регион тој е скоро ефикасен како SBPP, иако тој користи механизам за реставрација на спан (или претходно испланирана заштита на линк).

Заштитата на капацитет во однос на JCA/SCA достигнува највисока вредност на $\bar{d} \approx 2,4$ со 12% редукација во вкупниот мрежен капацитет, 30% редукација во бројот на резервни канали, и 21% редукација во бројот на работни канали. Треба да се забележи дека за двата екстрема за големо и мало $\bar{d}$ мета-меш кривата се спојува со JCA. Ова се случува зошто кон лимитот $\bar{d} = 2$ имаме долги синцири во кој доминираат локалните протоци. На другиот екстрем нема синцири и MM е идентичен со JCA. Во пракса, пострмната брзина на опаѓање на кривите за пат-ориентираните методи укажува на тоа дека ако почетната ретка мрежа претрпува тополошки додатоци за зголемување на поврзаноста, пат-базираните методи или мета-меш побрзо ќе се исплатат во однос на спан-базираните методи бидејќи топологијата е збогатена. Исто така е забележливо дека освен 1+1 APS и JCA, намалувањето на резервниот капацитет после $\bar{d} \approx 2,6$ е екстремно мало во споредба со предноста од зголемување на $\bar{d}$ во опсегот од 2,2 до 2,5. Овој ефект зависи од мрежата и сообраќајните барања, и неговото постоење може да им даде на мрежните планери добар пат за поставување на целите за еволуција на топологијата.

4.3.3. p-Циклуси: Брзина на прстен со ефикасност на меш

Со исклучок на 1+1 APS, во секоја од меш шемите спомнати претходно, преживливоста се остварува преку активна формулација на патеките за рерутирање од множество во нормални услови неконектиран резервен капацитет. Патеките за заштита може да се добијат по барање од некоја однапред предефинирана структура т.е. дел од мрежата која би се користела да го носи резервниот капацитет. Наместо да се доделува резервниот капацитет во патеки по потреба, можно е да се формира целосно-поврзана структура т.е. структури за резервен капацитет и во нив да се бараат реставрационите патеки. Овој наизглед необичен пристап е развиен иницијално со цел на добивање пократко време на префрлување за меш мрежите каде кросконектите се лимитирачки фактор. Ова

SBPP е средно ефикасна метода и се наоѓа помеѓу мета-меш и реставрација на патеки, што е во согласност со нејзината крај-крај ориентација, и неговиот неспецифичен одзив на дефект кој не може да го употреби резервниот капацитет на прекинатите патеки.

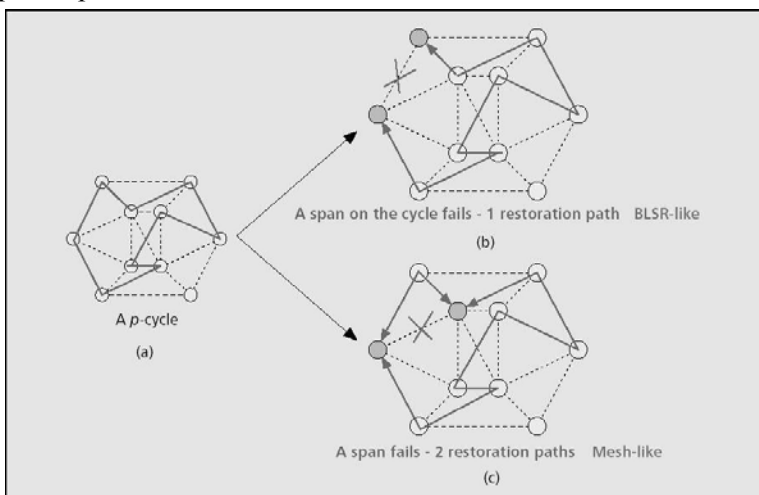
Интересно е ако се споредат методите со реставрација на спан (SCA, JCA) со методите за заштита на патеки (SBPP, Path), мета-меш покажува ефикасност на капацитет и степен на зголемување на ефикасноста со зголемување на степенот на поврзаност што личи на член на групата за реставрација на патеки, иако неговиот механизам останува реставрација на спан. Ова е во согласност со интерпретација на експресното заобиколување на подмрежите од синцири како

води кон реализација на концептот за р-циклуси (p-cycles), каде целиот резервен капацитет е однапред воспоставен и за заштита на било која патека се потребни две заштитни префрлувања.

Најинтересно својство е дека се добиваат истовремено најдобрите карактеристики на прстен и меш структурите. Концептот на р-циклуси ги задржува карактеристиките на заштитно префрлување на прстенестите структури но може да биде дизајниран за ефикасност на капацитет сличен на SCA или JSA меш структурите. Ова е нешто што после 10 години на истражување на прстенестите и меш структурите, се претпоставуваше дека е во суштина невозможно. Се остварува брзина на префрлување како во прстенестите структури поради тоа што само два јазли извршуваат постапки за реставрација на сигналот, и тие постапки се дефинирани пред настанување на дефектот. Изненадувачката ефикасност на капацитет е помалку очигледно својство но тоа се должи на заштитата од дефекти на пресечните спанови (straddling span) како и на дефекти на линковите во циклусот. Оваа привидно мала разлика помеѓу прстен и р-циклус всушност води кон главни разлики во барањата за резервен капацитет. Цел на оваа глава е да се прикаже основната идеја на концептот за заштита со р-циклуси, да се добие интуитивна слика зошто тие нудат толку голема ефикасност, и да се истакнат некои други напредни својства.

Наједноставен начин за објаснување на концептот на р-циклуси е тие да се замислат како прстени, но со поддршка за заштита на пресечните спанови како и вообичаена заштита на спановите на самиот прстен (дефекти на линкови во самиот циклус). Пресечен спан е оној чии крајни јазли лежат на р-циклусот, како тетива на круг. Клучен разликувач на р-циклусите во споредба со било кој тип на прстен или циклус во граф (graph cycle cover) е заштитата на пресечните спанови кои можат да пренесуваат две единици на работен сообраќај (на пример, две светлосни патеки), и нула единици на резервен капацитет. (Прстенестата структура и циклусот во граф за секоја единица работен сообраќај резервираат исто толков резервен капацитет, и ги штитат само дефектите на линковите во циклусот т.е. прстенот).

На слика 4.17а е прикажан пример на р-циклус. На слика 4.17б се случува дефект на спан во циклусот, при што преживеаниот синцир од спанови во циклусот се користи за реставрација. Како прстенестите структури (особено BLSR), р-циклусите штитат од дефект на спан во циклусот со механизмот на враќање назад на сообраќајот од спанот кој е во дефект по резервираниот капацитет за заштита. Сигналите кои се во дефект се свртуваат назад од прекинатиот спан и рутираат во спротивната насока околу циклусот. На слика 4.17с е прикажан истиот р-циклус, со заштита на пресечен спан. Всушност, ефикасноста на случајот прикажан на слика 4.17с е двојна во однос на ефикасноста на заштитата од дефект на спан во циклусот, бидејќи се на располагање две патеки за реставрација. Сите типови на прстени (UPSR, BLSR, FDDI) обезбедуваат најмногу една реставрациона патека за единица заштитен капацитет и штитат од дефект на линк во циклусот.



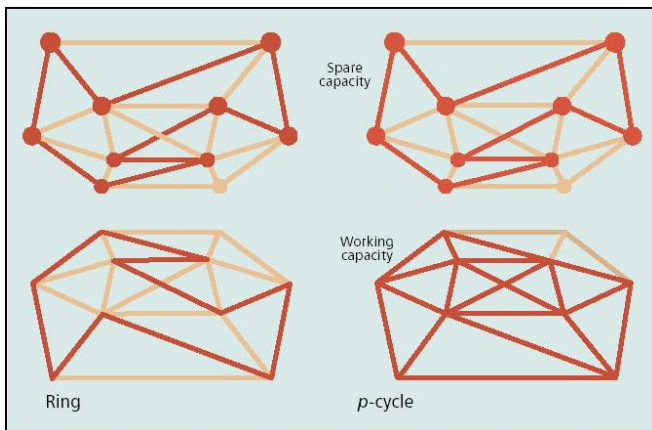
слика 4.17 р-циклус кој заштитува од дефект на спан во циклусот и дефект на пресечен спан

30%, а најчесто под 70%, што зависи од сообраќајната матрица и од дозволения периметар на р-циклусите.

За да се увидат овие резултати и за да интуитивно се разберат р-циклусите ќе се разгледува дијаграмот прикажан на слика 4.18. На горниот дел од сликата се прикажани идентични инвестиции во девет единици на резервен капацитет, поврзани во циклус. Соодветните спанови кои добиваат

Навидум ова изгледа дека е мала техничка разлика, па се поставува прашањето колку големи можат да бидат мрежните ефекти. Во суштина тие се прилично драматични. Со овозможување да истиот заштитен капацитет на прстенот ги заштитува пресечните спанови, се покажува дека со множество од р-циклуси може да се покријат сите дефекти на спанови со три до шест пати помалку капацитет отколку што е потребно со прстени. Во литературата се среќаваат анализи за WDM мрежен дизајн со користење на р-циклуси со и без претворувачи на бранови должини. Исто така се истакнува ниво на редундантност во најдобар случај

соодветна заштита на работниот капацитет се прикажани на долниот дел од сликата. На левата страна резервниот капацитет се интерпретира како прстен со девет спана, па затоа горниот и долниот дел од сликата се идентични. На десната страна, истата инвестиција во резервен капацитет се разгледува како р-циклус со што се заштитуваат 19 спанови (девет спанови во циклусот и десет пресечни спанови). Освен тоа, заштитата со р-циклуси обезбедува две реставрациони патеки за секој од пресечните спанови. Согласно со ова, заштитата со р-циклуси заштитува $2 \cdot 10 + 9 = 29$ единици од работниот капацитет, што е 3,2 пати повеќе од заштитата на прстен. Доколку сите јазли од циклусот се поврзани помеѓу себе со пресечни спанови се добива максимална искористеност на резервниот капацитет. Во таков случај р-циклус со N спана може да заштити $N(N-2)$ единици работен капацитет, што го прави $N-2$ пати поефикасен од соодветниот прстен. Доколку N оди до 16 може да се согледа зошто во умерен случај р-циклусот постигнува најмалку 3 до 6 пати поголема ефикасност од прстен.



слика 4.18 Илустрација на покривањето на прстен и р-циклус за ист резервен капацитет

Р-циклусите имаат и други предности. Една е дека за дефект на пресечните спанови, патеките за заштита се во просек двојно пократки од обиколката (периметарот) на циклусот, додека патеките за заштита во прстен се долги колку што е обиколката на прстенот. За разлика од прстените, р-циклусите можат да се формираат од индивидуални единици резервен капацитет во мрежи базирани на оптички кросконекти и логички да се прераспределат за да се адаптираат на новите сообраќајни барања. За разлика од ова, прстените се обврзуваат на воспоставување на целиот работен и резервен капацитет и вградуваат структурна поврзаност помеѓу капацитетот за заштита и работните сообраќај-

ни барања што тој ги заштитува. Сообраќајните барања мора да се рутираат во рамките на прстенот, додека во р-циклусите работните патеки можат слободно да се рутираат по најкратките патеки преку физичката топологија (или било која друга рута) што дава значително намалување на потребниот работен и резервен капацитет. Исто така бидејќи р-циклусите се формираат само од резервниот капацитет, тие може да се адаптираат за да се вклопат во нивото на работни патеки во секое време, без никакво влијание врз работниот капацитет. За разлика од ова прстените строго го дефинираат рутирањето кое сообраќајните барања мора да го следат, а не да се адаптираат на рутите кои тие сакаат да ги завземат. Заедничка оптимизација на рутирањето на работните патеки со поставување на р-циклусите треба да даде уште поголема заштеда на капацитет.

Може да се претпостави дека во идните апликации на реставрацијата со р-циклуси ќе постои процес кој континуирано ќе го адаптира множеството од "невидливи" р-циклуси на актуелната акумулација од протоци на работниот сообраќај. Ова е обратно од рамката на обезбедување во прстените, каде новите патеки мора експлицитно да се протнат низ расположивите прстени. Кај р-циклусите исто така нема потреба од експлицитно воспоставување на заштитната патека при воспоставувањето на услугата (работната патека), за разлика од SBPP, каде мора да се воспостави експлицитна патека за заштита за секоја обезбедена работна патека. Сервисен индикатор може едноставно да му каже на скриеното р-циклус адаптационо ниво да го вклучи сообраќајниот проток во своја заштитна компетенција или не. Планирањето на р-циклусите во WDM може да се направи на начин така што само пристапни точки од р-циклусите содржат претворувачи на бранови должини (види [37]). Работните светлосни патеки може да се обезбедуваат со единствена бранова должина (WP мрежа).

За понатамошно владбачување во реставрацијата со р-циклуси може да се препорача за читање статијата [43] во која се опишува адаптацијата на р-циклусите за MPLS (Multiprotocol Label Switching) нивото и воведува дополнителен концепт за р-циклуси со заобиколување на јазол. Во [42] е предложен уред сличен на ADM за мрежа со р-циклуси, и во [44] е опишан протокол за само-организирање вграден во физичкото ниво кој адаптивно формира р-циклуси за реставрација на моменталните работни сообраќајни барања т.е. протоци.

Конвенционалниот развојот на преживливи транспортни мрежи е најмалку 15 години стар, и започнал во средината на 80-те кога дефектите на оптичко влакно достигнале пропорции на криза. Различни прстенести и меш пристапи се развиени од тогаш, но интересно е како иновации и целосно

нови парадигми сеуште се откриваат. Примери за ова се мета-меш и р-циклуси. Може со сигурност да се верува дека дизајнот на преживливи мрежи со ефикасно искористување на капацитет уште долго ќе се преведува во намалување на трошоци со оглед на постојаното зголемување на сообраќајните барања. Визија за иднината се мрежи каде светлосните патеки се воспоставуваат на барање помеѓу упатувачите, но без делење и размена на информации за топологијата на мрежата кои се потребни за експлицитно воспоставување на заштитни патеки во моментот на обезбедување на врската. Наместо тоа, за секоја работна патека се обезбедува гарантирана заштита или заштита со најдобар труд (best effort) од "невидливо" и само-организирачко адаптивно ниво на р-циклуси.

