



جهاد دانشگاهی صنعتی شریف



مرکز تحقیقات مخابرات ایران

سیستمهای ارتباط نوری بخش دوم: سیستمهای WDM

(ویرایش پنجم)

(پروژه مطالعه راهبردی ادوات مخابرات نوری)

کارفرما

مرکز تحقیقات مخابرات ایران

جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

EL 81SSOCD TRP502 5

آبان ۱۳۸۲

شناسنامه گزارش فنی

پروژه: مطالعه راهبردی ادوات مخابرات نوری

عنوان فارسی گزارش: سیستمهای ارتباط نوری- بخش دوم: سیستمهای WDM- ویرایش پنجم

عنوان انگلیسی گزارش: Optical Communication Systems-2 Section: WDM systems 5th Edition

کد گزارش: EL-81SSOCD-TRP502-5

تاریخ تکمیل گزارش: آبان ۱۳۸۲

شماره ویرایش: پنجم

سطح دسترسی به گزارش: نامحدود

کارفرما: مرکز تحقیقات مخابرات ایران

مجری: جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

تالیف کنندگان: علی پوراسلامی، عزیز محمودی (محل خدمت: مرکز تحقیقات مخابرات ایران)

کنترل کنندگان: کورس حمزه، افروز سلطان بایزیدی (محل خدمت: جهاد دانشگاهی شریف)

تعداد برگها: ۱۲۴ برگ

ملحقات:

نشانی: تهران، خیابان آزادی، خیابان شهید ولی الله صادقی (ضلع شمالی دانشگاه صنعتی شریف)،

پلاک ۷۹، مجتمع جهاد دانشگاهی صنعتی شریف.

Email :research@jdsharif.ac.ir

تلفن: ۰۲۴۵۴۴، ۰۵۹۳۷، ۰۱۲۴۹۷، نما:

چکیده

امروزه به دلیل افزایش تقاضا برای انتقال حجم زیادی از اطلاعات، سیستمهای مخابرات نوری به دلیل دارا بودن پتانسیل بالای انتقال اطلاعات مورد توجه قرار گرفته اند. ولیکن سیستمهای مخابرات نوری فقط یک سیگنال نوری را در فیبر نوری به عنوان محیط انتقال ارسال می کنند از این رو از پهنای باند بسیار بالای فیبر نوری استفاده بهینه نمی کنند. سیستمهای مالتی پلکس تقسیم طول موج (WDM) برای انتقال اطلاعات از چندین طیف نوری در یک فیبر استفاده می کنند که باعث می شود ظرفیت انتقال در فیبرهای موجود برابر تعداد کانالهای ارسالی بروی یک فیبر افزایش یابد بطوری که این افزایش ظرفیت انتقال در نمونه های تجاری این گونه سیستمها به ۱۶۰ کانال و حتی بیشتر هم می رسد که بخوبی جوابگوی افزایش حجم ترافیک سیستمهای ارتباطی در اثر افزایش تقاضا و گسترش خدمات ارتباطی دنیای امروز است. در این گزارش به بررسی این سیستمها و اجزای تشکیل دهنده و انواع این گونه سیستمها پرداخته شده و در انتها پیشبینی از آینده این سیستمها و بازار جهانی آنها آورده شده است.

پیشگفتار

این گزارش در راستای اجرای پروژه مطالعه راهبردی ادوات مخابرات نوری تهیه شده است که طی قرارداد شماره ۵۰۰/۳۴۸۷ به تاریخ ۱۳۸۱/۴/۱۵ از سوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران به جهاد دانشگاهی صنعتی شریف واگذار گردیده است. همانطور که از نام پروژه پیداست، موضوع پروژه مربوط به ادوات می باشد، ولی به منظور آشنایی با جایگاه ادوات در تجهیزات مخابرات نوری، معرفی سیستمهای ارتباط نوری نیز از سوی کمیته تخصصی پروژه مفید دانسته شد.

این گزارش در دو بخش تهیه شده، که بخش اول به انواع سیستمهای ارتباط نوری و بخش دوم به سیستمهای WDM اختصاص یافته است گزارش پیش روی بخش دوم سیستمهای WDM می باشد.

از ناظرین محترم پروژه آقایان دکتر محمد کاظم مروج فرشعی عضو هیات علمی و استاد دانشگاه تربیت مدرس و دکتر عباس ظریفکار عضو هیات علمی مرکز تحقیقات ایران و همکارانشان که با ارائه نظرات اصلاحی خود ما را در رفع نواقص و ارائه هرچه بهتر این گزارش یاری فرموده اند قدردانی می شود.

علی پوراسلامی

آبان ۱۳۸۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱. مقدمه	۱
۲. تاریخچه تکامل فن آوری WDM	۴
۳. اصول مالتی پلکس با تقسیم طول موج (WDM)	۶
۱,۳. عوامل توسعه شگرف در تکنولوژی WDM	۷
۲,۳. پارامترهای طراحی شبکه WDM	۸
۴. اجزای شبکه های WDM	۹
۱,۴. محیط انتقال	۹
۲,۴. مالتی پلکس و دی مالتی پلکس نوری	۱۳
۳,۴. فرستنده نوری	۱۵
۴,۴. تقویت کننده نوری	۱۶
۵,۴. گیرنده نوری	۱۷
۶,۴. روترهای غیر فعال	۱۸
۷,۴. سوئیچهای فعال	۱۹
۸,۴. مبدل های طول موج	۱۹
۹,۴. مالتی پلکس با قابلیت افزودن / برداشتن	۲۰
۱۰,۴. ترانسپوندر	۲۱
۱۱,۴. فیلتر تخت کننده بهره	۲۶
۱۲,۴. جبران ساز پاشندگی	۲۶
۱۳,۴. ایزولاتورهای نوری	۲۷
۱۴,۴. (دی) اینترلیور نوری	۲۷
۱۵,۴. تضعیف کننده نوری	۲۸
۵. انواع سیستمهای WDM	۲۹
۱,۵. WDM	۳۰
۲,۵. CWDM	۳۳

عنوان	صفحه
۳,۵ DWDM	۳۶
۶. توپولوژی های شبکه های WDM	۴۴
۱,۶ توپولوژی نقطه به نقطه	۴۶
۲,۶ توپولوژی حلقوی	۴۷
۳,۶ توپولوژی ستاره	۴۹
۴,۶ توپولوژی باس	۵۱
۵,۶ توپولوژی درختی	۵۱
۶,۶ توپولوژی شبکه های گسترده WAN	۵۲
۷,۶ توپولوژی شهری	۵۳
۷. محدودیتهای شبکه های WDM	۵۴
۸. روشهای استقرار مجدد در توپولوژی های مختلف	۵۸
۱,۸ توپولوژی نقطه-به-نقطه	۶۳
۲,۸ توپولوژی حلقوی	۶۷
۱,۲,۸ حلقه یکطرفه تک-فیبر	۶۸
۲,۲,۸ حلقه دوطرفه تک-فیبر	۶۹
۳,۲,۸ حلقه دو-فیبر	۷۰
۴,۲,۸ حلقه چهار-فیبر	۷۱
۵,۲,۸ حفاظت حلقه-به-حلقه	۷۲
۶,۲,۸ حفاظت مشترک چند-حلقه	۷۳
۳,۸ توپولوژی مش	۷۴
۹. معرفی چند نمونه سیستم WDM	۷۸
۱۰. قیمت نمونه سیستم و تجهیزات تست و اندازه گیری	۹۰
۱۱. تجهیزات و وسایل اندازه گیری	۹۵
۱۲. پیش بینی بازار فروش	۱۰۳
۱۳. مراجع	۱۰۵
واژه نامه ها	۱۰۷

فهرست شکل ها

عنوان شکل	صفحه
شکل (۱): رشد تقاضا بر حسب سال	۱
شکل (۲): مقایسه رشد تقاضا برای Voice و Data بر حسب سال	۲
شکل (۳): روش انتقال چندین کانال به شیوه TDM	۳
شکل (۴): روش انتقال به شیوه WDM	۳
شکل (۵): تاریخچه تکامل فن آوری WDM	۴
شکل (۶): میزان بکارگیری فن آوری های مختلف WDM بر حسب سال	۵
شکل (۷): مالتی پلکس به روش تقسیم طول موج	۷
شکل (۸): (الف) ساختار یک فیبر نوری (ب) روش انتقال پرتو نور در فیبر نوری	۹
شکل (۹): انواع فیبر نوری و نمایه ضریب شکست آنها	۱۰
شکل (۱۰): اثرات غیر خطی باعث پاشندگی در فیبر نوری می شود	۱۱
شکل (۱۱): منحنی تضعیف و پاشندگی انواع فیبرهای تک مد بر حسب طول موج	۱۲
شکل (۱۲): مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری	۱۴
شکل (۱۳): آرایه موجبرهای دندانه دار	۱۵
شکل (۱۴): ساختار کدینگ RZ و NRZ	۱۶
شکل (۱۵): بلوک دیاگرام کامل گیرنده نوری دیجیتال	۱۷
شکل (۱۶): روتر غیرفعال ۲×۲	۱۹
شکل (۱۷): سوئیچ فعال ۲×۲	۱۹
شکل (۱۸): مبدل طول موج تماماً نوری	۲۰
شکل (۱۹): مالتی پلکسر با قابلیت کاستن یا افزودن طول موج	۲۱
شکل (۲۰): بلوک دیاگرام داخلی یک ترانسپوندر	۲۲
شکل (۲۱): طرح سیستم WDM با واحد ترانسپوندر	۲۳
شکل (۲۲): خرابی پالس نوری پس از ارسال	۲۴
شکل (۲۳): تکرار کننده دیجیتال	۲۵

- شکل (۲۴): منحنی پاشندگی و تاثیر جبران ساز ۲۷
- شکل (۲۵): ساختار اینترلیور نوری ۲۸
- شکل (۲۶): محدوده طول موجهای مورد استفاده WDM ۳۰
- شکل (۲۷): بلوک دیاگرام سیستم WDM دو کاناله ۳۱
- شکل (۲۸): سیستم WDM یکطرفه ۳۱
- شکل (۲۹): سیستم WDM یکطرفه مسافت طولانی ۳۲
- شکل (۳۰): سیستم WDM دوطرفه ۳۲
- شکل (۳۱): سیستم WDM دوطرفه مسافت طولانی ۳۳
- شکل (۳۲): سیستم CWDM ۸ کاناله ۳۳
- شکل (۳۳): سیستم CWDM ۱۶ کاناله ۳۴
- شکل (۳۴): تکنیک DWDM روی CWDM ۳۵
- شکل (۳۵): بلوک دیاگرام یک سیستم DWDM ۳۷
- شکل (۳۶): محدوده باند طول موجها در تکنولوژی DWDM ۳۷
- شکل (۳۷): استاندارد سیستمهای DWDM با فواصل متفاوت ۳۸
- شکل (۳۸): لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال طولانی ۴۲
- شکل (۳۹): لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال متوسط ۴۲
- شکل (۴۰): لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال کوتاه ۴۳
- شکل (۴۱): بلوک دیاگرام کلی شبکه WDM ۴۴
- شکل (۴۲): سیستم WDM با ورودیهای با پروتکلهای مختلف ۴۵
- شکل (۴۳): شبکه WDM با توپولوژی نقطه به نقطه ۴۷
- شکل (۴۴): شبکه WDM با توپولوژی حلقوی ۴۸
- شکل (۴۵): طرح ساده ای از توپولوژی حلقوی ۴۸
- شکل (۴۶): طرحی از شبکه WDM دو طرفه با توپولوژی حلقوی ۴۹
- شکل (۴۷): توپولوژی ستاره ۵۰
- شکل (۴۸): یک نمونه از شبکه Multi hop ۵۰
- شکل (۴۹): توپولوژی باس ۵۱

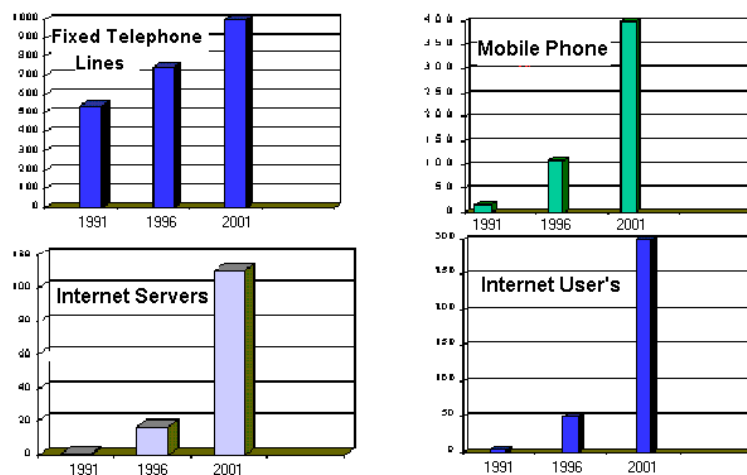
- شکل (۵۰): توپولوژی درختی ۵۲
- شکل (۵۱): شبکه گسترده WANs ۵۳
- شکل (۵۲): نمای یک شبکه شهری ۵۴
- شکل (۵۳): از شبکه دسترسی تا شبکه وسیع ۵۹
- شکل (۵۴): مدت زمان استقرار مجدد در لایه‌های مختلف شبکه ۶۰
- شکل (۵۵): بازبینی توپولوژی‌های گره و ستاره به صورت توپولوژی حلقوی ۶۲
- شکل (۵۶): طرح توپولوژی نقطه به نقطه DWDM ۶۴
- شکل (۵۷): اتصال عرضی در DWDM ۶۴
- شکل (۵۸): استراتژی افزودنی برای تقویت کننده بین خط در توپولوژی نقطه به نقطه ۶۵
- شکل (۵۹): ملاحظات رخ داد خطا در لینک PtP ۶۷
- شکل (۶۰): استراتژی ترمیم خودکار در FDDI با دو فیبر ۶۸
- شکل (۶۱): طرح حفاظت برای حلقه یکطرفه تک-فیبر ۶۹
- شکل (۶۲): طرح‌های حفاظت 1:1، 1+1 و 1:N ۶۹
- شکل (۶۳): طرح حفاظت برای حلقه دوطرفه تک-فیبر ۷۰
- شکل (۶۴): طرح‌های حفاظت (الف) دو فیبر و (ب) چهار فیبر ۷۲
- شکل (۶۵): طرح حفاظت حلقه-به-حلقه ۷۳
- شکل (۶۶): طول حفاظت مشترک حلقه‌ها ۷۴
- شکل (۶۷): مسیرهای از پیش تعیین شده در شبکه مش ۷۵
- شکل (۶۸): مسیرهای از پیش تعیین شده در شبکه مش ۷۶
- شکل (۶۹): دسته بندی انواع روشهای حفاظت ۷۷
- شکل (۷۰): انواع روشهای حفاظت در شبکه حلقوی ۷۷
- شکل (۷۱): کانالهای WDM سیستم IBM9729 ۷۹
- شکل (۷۲): تصویری از دستگاه منبع لیزر قابل تنظیم ۹۶
- شکل (۷۳): پیش‌بینی فروش جهانی ادوات DWDM در سالهای ۱۹۹۹، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹ ۱۰۳
- شکل (۷۴): سهم شرکت‌های مختلف در فروش سیستمهای WDM در اروپا، سال ۲۰۰۰ ۱۰۳
- شکل (۷۵): پیش‌بینی سود حاصل از فروش سیستمهای WDM شهری ۱۰۴

فهرست جدولها

عنوان جدول	صفحه
جدول (۱): فرکانسهای مرکزی مطابق با استاندارد ITU-T G692	۳۹
جدول (۲): مشخصات سیستمهای مسافت طولانی، شهری و نقاط دسترسی	۴۴
جدول (۳): مقایسه‌ای بین روشهای حفاظت دو فیبر و چهار فیبر	۷۱
جدول (۴): نمونه‌هایی از سیستم WDM شرکت‌های مختلف	۷۸
جدول (۵): مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت NEC	۸۰
جدول (۶): مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت HUAWEI	۸۲
جدول (۷): مشخصات چند نمونه ترانسپوندر شرکت HUAWEI	۸۳
جدول (۸): لیست سیستمهای WDM از شرکت‌های مختلف	۸۵
جدول (۹): لیست قیمت اجزای سیستم DWDM از شرکت NEC	۹۰
جدول (۱۰): لیست قیمت کل و اجزای یک سیستم DWDM ۳۲ کاناله از شرکت NEC	۹۳
جدول (۱۱): لیست شرکت‌های تولید کننده و تجهیزات اندازه‌گیری و تست سیستمهای نوری	۹۷

۱. مقدمه

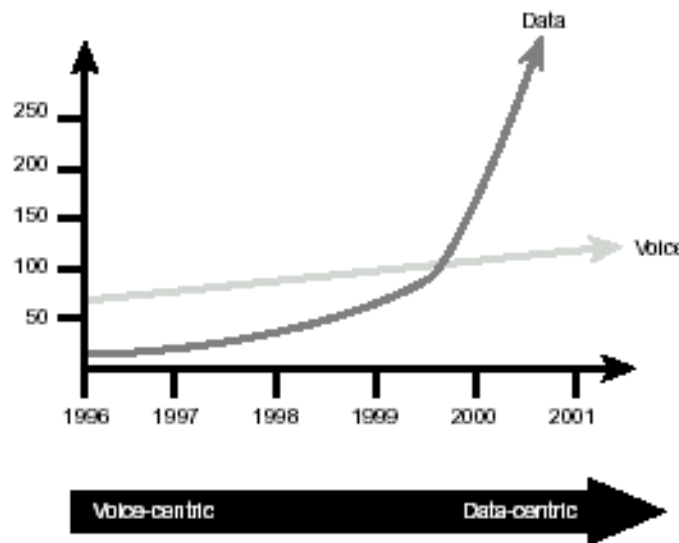
توسعه کاربرد سیستمهای ارتباطی مورد نیاز دنیای امروز نظیر: اینترنت، ویدیو کنفرانس، تلویزیونهای کابلی، تلفنهای تصویری، ارتباطات دیجیتال، کاربردهای مالتی مدیا^۱، پزشکی راه دور^۲ و ... که نیاز به انتقال حجم بالایی از اطلاعات را دارند، باعث افزایش سریع ترافیک شبکههای مخابراتی دیتا و تلفن شده و توسعه ظرفیت شبکه های انتقال را گریز ناپذیر کرده است. شکل (۱) رشد جهانی تقاضا را برای تلفنهای ثابت، موبایل، سرویس دهنده گان و استفاده کننده گان از اینترنت بر حسب سال و شکل (۲) مقایسه بین افزایش تقاضا برای Voice و Data را بر حسب سال نشان می دهند. بر این اساس واضح است که رشد تقاضا بخصوص در بخش موبایل و دیتا در چند سال اخیر در سطح جهانی نیازمند بالا بردن ظرفیت انتقال زیرساختهای مخابراتی است.



شکل ۱: رشد تقاضا بر حسب سال

¹ Multimedia

² Telemedicine

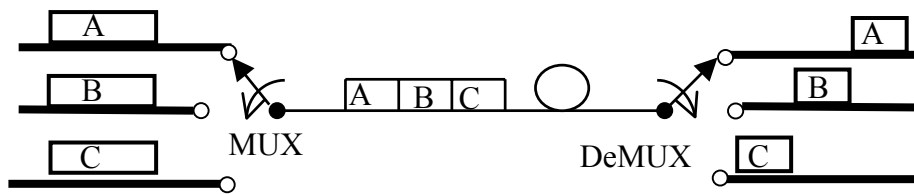


شکل ۲: مقایسه رشد تقاضا برای Voice و Data بر حسب سال

برای پاسخگویی به افزایش پهنای باند بدون اضافه کردن فیبر جدید، سه راه حل وجود دارد:

روش اول دستیابی به سیستمهای با نرخ بیت بالاتر بر روی کانالهای نوری موجود است؛ که تکنیک مالتی پلکس کردن به روش تقسیم زمانی^۱ (TDM) نام دارد. تکنیکهای TDM بطور گسترده‌ای در سیستمهای ارتباطی نوری موجود بکار رفته‌اند، که ذاتاً برای مالتی پلکس کردن و دی‌مالتی پلکس کردن به مدارات الکترونیکی وابسته هستند. در سیستمهای TDM بعد از مالتی پلکس کردن کانالها به روش الکترونیکی، عمل تبدیل سیگنال الکتریکی به نوری برای انتقال توسط فیبر نوری توسط فرستنده صورت می‌گیرد و در انتهای خط انتقال نوری بعد از آشکار سازی سیگنال نوری و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی با دی‌مالتی پلکس کردن، کانالها به روش الکتریکی از یکدیگر تفکیک می‌شوند (شکل (۳)). به این معنی که ظرفیت انتقال شبکه توسط سرعت پردازش در مدارات الکتریکی در حدود 40 Gbps محدود می‌شود. لذا بخاطر محدودیتهای فرکانسی مدارات الکتریکی و محدودیتهای فیزیکی ناشی از پاشندگی و اثرات غیر خطی فیبر نوری گستره توسعه اینگونه شبکه‌ها محدود می‌شود [۱].

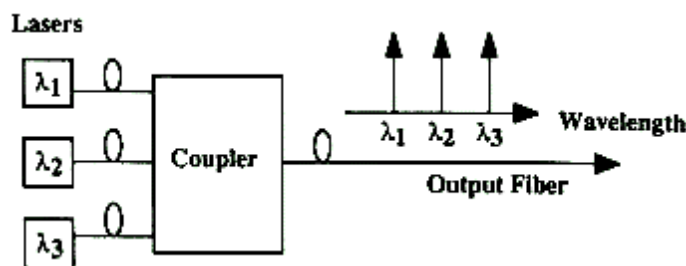
¹ Time Division Multiplexing



شکل ۳: روش انتقال چندین کانال به شیوه TDM

روش دوم نصب فیبرهای جدید است و در مورد شبکه هایی که هزینه نصب فیبر برای آنها کمتر است، این راه حل می تواند اقتصادی ترین گزینه باشد. با این حال، نصب فیبر جدید ضرورتاً باعث امکان ارائه سرویسهای جدیدتر و یا قابلیت مدیریت پهنای باند سیستم نوری نمی شود.

روش سوم تکنیک مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج^۱ (WDM) نام دارد.



شکل ۴: روش انتقال به شیوه WDM

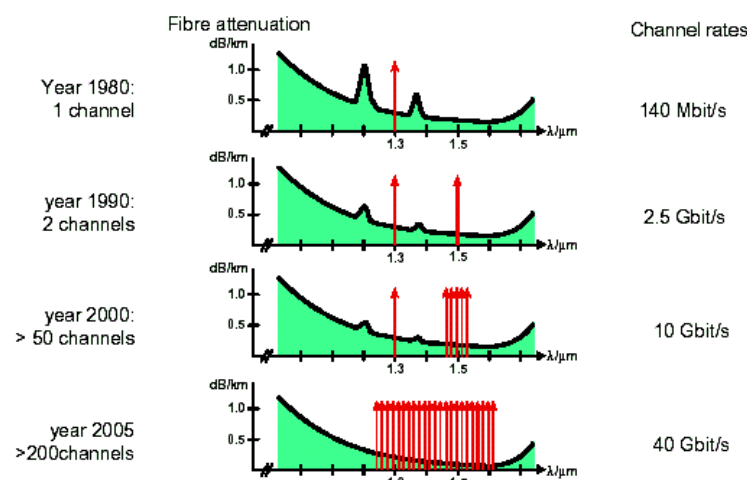
در این روش امکان انتقال همزمان چندین کانال نوری حاوی اطلاعات مختلف بر روی یک فیبر نوری وجود دارد مطابق شکل (۴) دو یا بیش از دو سیگنال نوری که دارای طول موجهای متفاوتی هستند با یکدیگر ترکیب شده و بطور همزمان در یک فیبر انتقال می یابند. این سیگنالها سپس با توجه به طول موج خود در انتهای مسیر از یکدیگر تفکیک می شوند. به بیان ساده تر WDM روشی برای حداقل دو برابر کردن پهنای باند فیبر است [۲]. برای مقایسه یک بزرگراه را در نظر بگیرید که در اینجا یک فیبر نقش یک بزرگراه چند بانده را بر عهده دارد. سیستمهای TDM سنتی تنها از یک باند این بزرگراه استفاده می کنند و ظرفیت را با حرکت سریعتر بروی این باند منفرد افزایش می دهند. در شبکه های نوری استفاده از WDM مترادف با دسترسی به باندهای استفاده نشده بزرگراه برای دستیابی به حجم قابل توجهی از ظرفیت بهره برداری نشده است، با این

¹ Wavelength Division Multiplexing

مزیت که بزرگراه اهمیتی به نوع ترافیکی که بر روی آن جابجا می شود، نمی دهد. و در نتیجه این روش یک گزینه عالی برای شبکه هایی که تلاش می کنند با تقاضا برای پهنای باند بیشتر انطباق پیدا کنند، است

۲. تاریخچه تکامل فن آوری WDM:

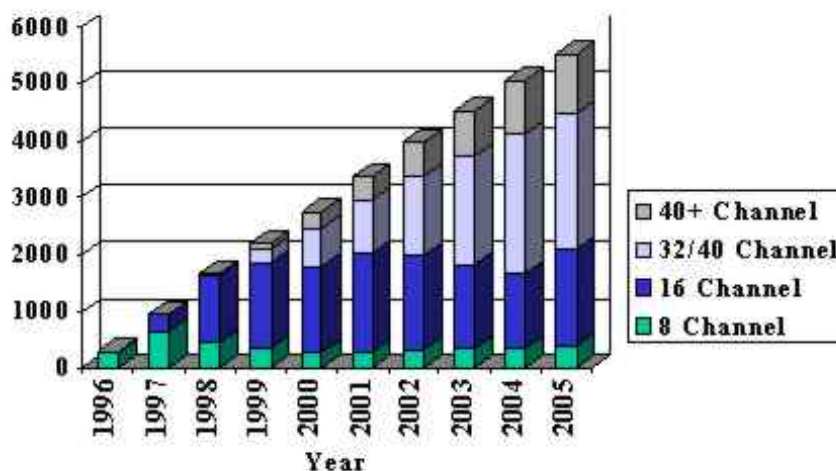
مطابق شکل (۵) تاریخچه فن آوری WDM به سال ۱۹۹۰ باز می گردد، در این روش ابتدا از طول موجهای $1.3 \mu\text{m}$ و $1.55 \mu\text{m}$ برای ارسال همزمان اطلاعات روی یک فیبر استفاده کردند. سپس با پیدایش تقویت کننده های فیبر نوری برای ارسال اطلاعات در مسیرهای طولانی تکنولوژی WDM به دلیل پهنای باند باریک این نوع تقویت کننده های نوری، به اطراف طول موج $1.55 \mu\text{m}$ سوق پیدا کرده است. پیش بینی می شود با ترکیب تقویت کننده های نوری اریبوم و رامن، محدوده بکارگیری پهنای باند قابل استفاده فیبر گسترش یابد و تا سال ۲۰۰۵ کل محدوده $1.3 \mu\text{m}$ - $1.55 \mu\text{m}$ را شامل شود. روشن است که، اگر هزینه افزایش تعداد فیبرها مقرون به صرفه تر از بهای توسعه فن آوری WDM باشد، توسعه آن محدود می شود [۳]. امروزه تکنولوژی WDM مناسبترین انتخاب برای ایجاد شبکه های نوری با ظرفیت بالا بخصوص در شبکه های مخابراتی راه دور است.



شکل ۵: تاریخچه تکامل فن آوری WDM

با بهبود تکنولوژی ساخت ادوات نوری و بالا رفتن تعداد کانالهای قابل انتقال در سیستمهای WDM ساخت سیستمهای WDM با تعداد کانالهای کم نیز محدود شد و جهت گیری به سمت

ساخت و بکارگیری سیستمهایی با تعداد کانال بیشتر سوق پیدا کرد. این امر در شکل (۶) قابل درک است. این شکل میزان بکارگیری سیستمهای مختلف WDM را نشان می دهد. براساس شکل با ارائه سیستمهای با تعداد کانال بیشتر میزان بکارگیری سیستمهای با تعداد کانال کمتر متوقف شده است.



شکل ۶: میزان بکارگیری فن آوری های مختلف WDM بر حسب سال

سیر تحقیقات اجرا شده در زمینه WDM در سالهای اخیر بصورت زیر بوده است:

- 20 Gbps (IBM 9729), $20\lambda \times 1$ Gbps at 50km, 1994
- 100 Gbps (AT&T), $20\lambda \times 5$ Gbps at 6300 km, $BER < 6 \times 10^{-10}$, 1995
- 2.64 Tbps (NEC), $132\lambda \times 20$ Gbps, 1996
- 320 Gbps (Bell Labs, Lucent), $64\lambda \times 5$ Gbps at 7200 km, 1997
- 1 Tbps (NTT), $50\lambda \times 20$ Gbps at 600 km, 1997
- 1.5Tbps (Nortel), $40\lambda \times 40$ Gbps, 2000
- 3.2 Tbps, $80\lambda \times 40$ Gbps, 2001
- 6.4 Tbps, $160\lambda \times 40$ Gbps, 2002

براساس آمارهای ذکر شده امروزه حداکثر نرخ بیت سیستمهای WDM بروی 40 Gbps و تعداد کانالها به بیش از ۱۶۰ کانال نوری رسیده است (با سرعت انتقال یک گیگابیت بر ثانیه می توان هزاران کتاب را در عرض یک ثانیه انتقال داد و با سرعت انتقال یک ترابیت بر ثانیه می توان ۲۰ میلیون تماس تلفنی دو طرفه همزمان برقرار کرد). به نظر می رسد در آینده نزدیک میزان نرخ بیت هر کانال به علت محدودیتهای فیزیکی در ساخت و بکارگیری ادوات مجتمع نوری و الکترونیکی

و همچنین محدودیتهای انتقال سیگنالهای الکتریکی به میزان 40 Gbps باقی بماند، ولی با بهبود عملکرد مالتی پلکسرها و دی مالتی پلکسرها نوری تعداد کانالهای قابل انتقال به مراتب بیشتر شود. همچنین انتظار می رود با بهبود پارامترهای فیبرهای نوری و کاهش اتلاف آنها و بهبود عملکرد تقویت کننده های نوری انتقال در مسافتهای طولانی تر با تعداد تقویت کننده کمتر با فواصل بیشتر، محقق شود.

توسعه سیستمهای WDM را می توان به سه نسل تقسیم بندی کرد:

نسل اول: در این دوره تعداد کانالها به ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ کانال رسید، فاصله بین کانالها 100 GHz حدود 20 nm و نرخ بیت هر کانال تا 2.5 Gbps، سیستمها با توپولوژی نقطه به نقطه و حداکثر فاصله انتقال با فیبر تک مد به 100 km رسید.

نسل دوم: در این دوره تعداد کانالها به ۳۲، ۶۴ و ۱۲۸ کانال رسید، فاصله بین کانالها 100 GHz و 50 GHz کمتر از 0.8 nm و نرخ بیت هر کانال تا 10 Gbps، سیستمها با توپولوژی نقطه به نقطه یا حلقه و حداکثر فاصله انتقال با فیبر تک مد به چند صد کیلومتر رسید. در این دوره مبدل های نوری-الکتریکی-نوری (ترانسپوندرها) مورد استفاده قرار گرفتند.

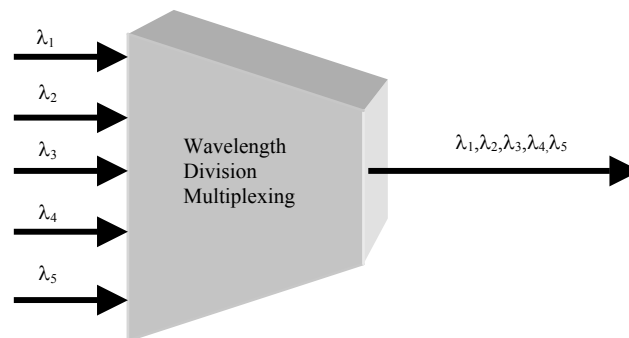
نسل سوم: در این دوره کنونی تعداد کانالها به ۱۲۸، ۲۵۶، ۴۰۰ و پیشبینی می شود حتی به ۱۰۰۰ کانال هم برسد، فاصله بین کانالها 25 GHz و 12.5 GHz کمتر از 0.1 nm و نرخ بیت هر کانال تا 10 Gbps و 40 Gbps رسیده، در این دوره جهت گیری به سمت شبکه های تماماً نوری با حداقل نیاز به تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی در سوئیچها روترها و در تکرار کننده های سیگنال است. در این دوره انتقال مسافت طولانی و با قابلیت هوشمند افزودن/برداشتن¹ طول موج میسر شده است.

۳. اصول مالتی پلکس با تقسیم طول موج (WDM)

انتقال همزمان پالسهای نوری، منابعی با طول موجهای متفاوت نظیر $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ به درون یک فیبر اساس مالتی پلکس نوری یا WDM است. طول موجهای مختلف بعد از ترکیب توسط مالتی

¹ Add/Drop

پلکسر نوری و انتقال توسط فیبر و عبور از ادوات بین خط در انتهای مسیر توسط دی مالتی پلکسر نوری از یکدیگر تفکیک و سپس آشکار می‌شوند.[۴] کانالهای مختلف ممکن است اطلاعات متفاوتی (مثلاً صوت، دیتا، تصویر، ...) در نرخ بیهیهای متفاوتی انتقال دهند. در این روش عملکرد سیستم مستقل از نوع سیگنال ورودی، نرخ بیت و قالب^۱ سیگنال است. در طی مسیر انتقال مسافت طولانی، سیگنالهای نوری $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ نیاز به تقویت دارند، بدون اینکه نیاز به بازسازی الکتریکی سیگنالها داشته باشیم می‌توان توسط واحد تقویت کننده نوری^۲ این عمل را انجام داد. مطابق شکل (۷) سیگنالهای نوری دارای طول موجهای $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ و λ_5 مالتی پلکس شده، و بطور همزمان بر روی یک فیبر نوری انتقال می‌یابند.



شکل ۷: مالتی پلکس به روش تقسیم طول موج

در این فناوری تامین کنندگان سرویس با تقسیم بندی و نگهداری طول موجهای اختصاصی متفاوت برای مشتریان مختلف می‌توانند بجای اجاره یک فیبر، یک طول موج را به مشتریان تجاری پر مصرف خود اجاره بدهند.

۱.۳. عوامل توسعه شگرف در تکنولوژی WDM

از جمله مهمترین عواملی که سبب شد تکنولوژی WDM در چند سال اخیر رشد شگرفی داشته باشد، می‌توان به عوامل زیر اشاره کرد:

➤ توسعه و بهبود عملکرد تقویت کننده‌های تماماً نوری EDFA

¹Format

²Optical Amplifier

- تهیه فیلترهای تخت کننده طیف تقویت کننده
- پیشرفت در تکنولوژی فیلترهای نوری
- پیشرفت و بهبود عملکرد مالتی پلکسرها و دی مالتی پلکسرها نوری
- تهیه ادوات اینترلیور و دی اینترلیور برای نصف کردن فاصله کانالها
- بهبود پایداری طول موج دیودهای لیزر مخابراتی
- بهبود (باریکتر شدن) پهنای طیف دیودهای لیزر
- قابلیت تنظیم طیف خروجی دیودهای لیزر
- بهبود عملکرد آشکارسازهای نوری
- تهیه ماجولهای جبران کننده پاشندگی¹ DCM و پلاریزاسیون² PMF

۲,۳. پارامترهای طراحی شبکه WDM

پارامترهای طراحی شبکه WDM را می توان بصورت زیر معرفی نمود:

- تعداد طول موجها
- نرخ بیت هر طول موج
- فاصله بین کانالها
- پهنای باند بکار گرفته شده (تقویت کننده نوری)
- کار آیی پهنای باند
- فاصله بین تقویت کننده های نوری
- حداکثر طول فیبر انتقال بدون نیاز به تقویت کننده نوری

حاصل ضرب تعداد طول موجها در نرخ بیت هر طول موج تعیین کننده ظرفیت سیستم WDM است. ظرفیت با افزایش پهنای باند نوری مورد استفاده یا با استفاده از همان پهنای باند با راندمان بیشتر (یعنی افزایش نسبت بین نرخ بیت هر کانال بر فاصله بین کانالها)، افزایش می یابد. پهنای باند سیستم توسط پهنای باند تقویت کننده های نوری محدود می شود. سیستم های WDM پیشرفته دارای پهنای باندی برابر پهنای باند تقویت کننده اریوم هستند. در آینده استفاده از تقویت

¹ Dispersion Compensation Module

² Polarization Maintaining Fiber

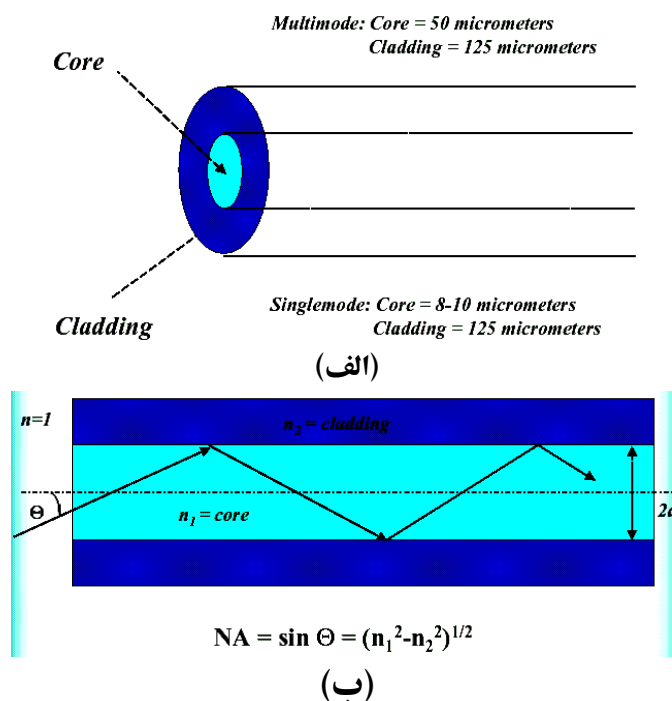
کننده‌های رامن باعث افزایش پهنای باند می‌شود. سیستم می‌تواند شامل تعداد زیادی کانال با نرخ بیت کم، یا تعداد کمی کانال با نرخ بیت بالا باشد. حداکثر فاصله انتقال بدون تقویت کننده نوری و فاصله بین تقویت کننده‌های نوری یک عامل خیلی مهم در تعیین بهای سیستم‌های WDM با فواصل طولانی است.

۴. اجزای شبکه‌های WDM

از اجزای سازنده شبکه‌های WDM می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱,۴. محیط انتقال

قسمت ضروری هر شبکه‌ای محیط انتقال آن است [۵]، که برای شبکه‌های WDM این محیط فیبر نوری است. شکل (۸) مقطع و نحوه انتشار نور در یک فیبر نوری را نشان می‌دهد.

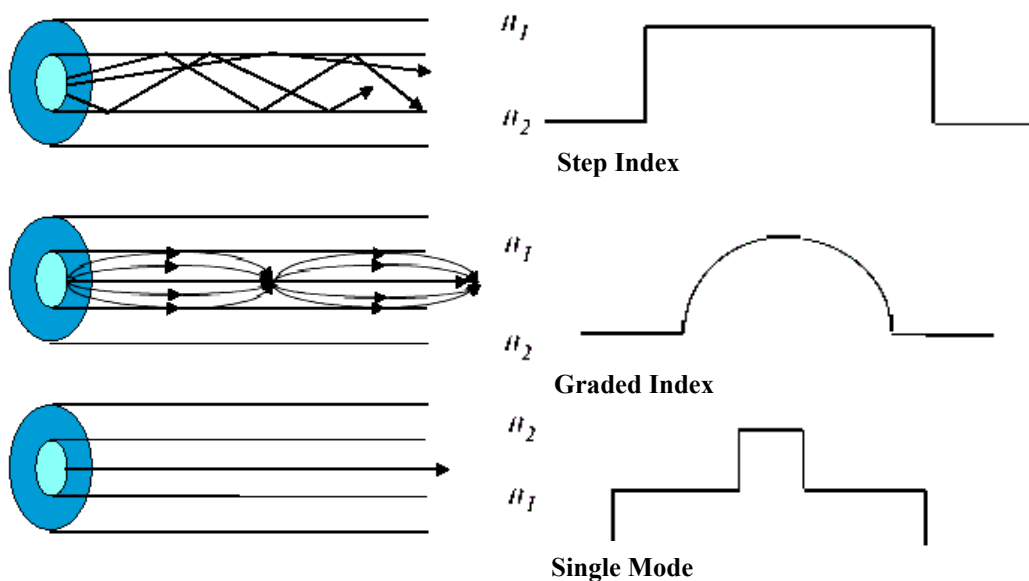


شکل ۸: (الف) ساختار یک فیبر نوری (ب) روش انتقال پرتو نور در فیبر نوری

فیبر نوری اساساً یک رشته نازک شیشه‌ای است، که بعنوان موجبری با پهنای باند بسیار وسیع عمل می‌کند. تضعیف کم، نرخ خطای بیت کم^۱ (BER) (کمتر از 10^{-11}) و ایمن در مقابل تداخل

^۱ Bit Error Rate

امواج الکترومغناطیسی^۱ از ویژگیهای فیبر نوری است. فیبرهای نوری انعطاف پذیر و مقاوم در برابر پوسیدگی در محیطهای خورنده هستند. این ویژگیها فیبرهای نوری را کاندیدی مناسب برای برقراری ارتباطات مطمئن کرده است. مطابق شکل (۹) دو دسته فیبر وجود دارد: تک مد^۲ و چند مد^۳؛ چند مد شامل دو نوع: ضریب شکست پله ای و ضریب شکست تدریجی است.



شکل ۹: انواع فیبر نوری و نمایه ضریب شکست آنها

فیبر نوری چند مد اجازه عبور همزمان چندین مد را می دهد. قطر هسته این فیبرها برابر $50\text{ }\mu\text{m}$ یا $62.5\text{ }\mu\text{m}$ و قطر غلاف برابر $125\text{ }\mu\text{m}$ است. فیبرهای چند مد شامل فیبرهای با ضریب شکست پله ای و فیبرهای با ضریب شکست تدریجی هستند. در فیبرهای با ضریب شکست پله ای، ضریب شکست هسته فیبر به صورت پله ای تغییر می کند و هسته دارای ضریب شکست بزرگتری نسبت به غلاف است. در این نوع از فیبرهای چند مد، به علت پهن شدن پالسها در انتقال، محدودیت زیادی در نرخ انتقال اطلاعات و پهنای باند داریم. در فیبرهای با ضریب شکست تدریجی، ضریب شکست هسته فیبر به صورت تدریجی در حرکت به سمت غلاف، کاهش می یابد. این کاهش تدریجی باعث بالا رفتن نرخ انتقال اطلاعات و پهنای باند مورد استفاده می شود. فیبرهای چند مد

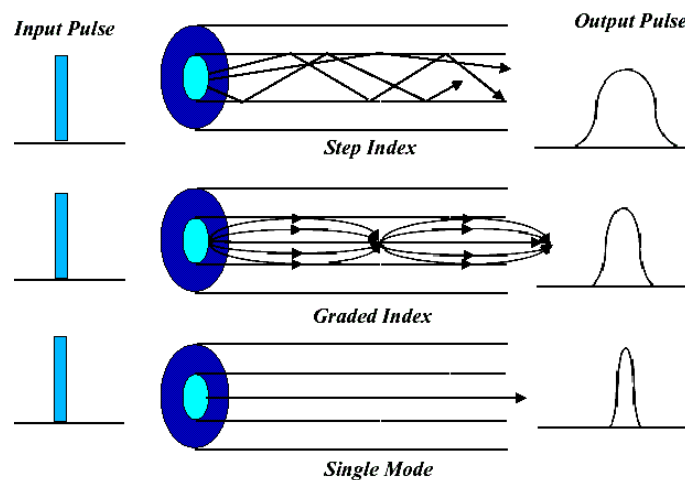
¹ Electromagnetic Interference

² single mode

³ multi mode

برای فواصل کوتاه نظیر شبکه های LAN مناسب هستند در حالیکه پاشندگی مد باعث محدودیت استفاده آنها در فواصل بلند و یا در سیستمهای چند طول موجی می شود.

فیبرهای تک مد قطر هسته کوچکتری نسبت به فیبرهای چند مد دارند (در حدود $10\text{ }\mu\text{m}$) و تنها اجازه عبور یک مد نوری را از داخل هسته می دهند. این فیبرها برای انتقال در فواصل طولانی استفاده می شوند و کاربرد زیادتری در سیستمهای WDM دارند. میزان پاشندگی که محدود کننده پهنای باند مورد استفاده از فیبرهای نوری است در شکل (۱۰) آمده است. بعضی از اثرات غیر خطی فیبرهای نوری عبارتند از: مدولاسیون خود فازی^۱ (SPM)، مدولاسیون فاز متقاطع^۲ (XPM)، ترکیب چهار موج^۳ (FWM)، پراکندگی رامن برانگیخته^۴ (SRS)، پراکندگی بریلوین برانگیخته^۵ (SBS). این اثرات غیر خطی کارایی شبکه های WDM را محدود می کند، که مشابه اثرات خازنی و سلفی در محیطهای انتقال مسی است. علیرغم این مسایل ویژگیهای مثبت فیبرهای نوری بر این مشکلات برتری دارد.



شکل ۱۰: اثرات غیر خطی باعث پاشندگی در فیبر نوری می شود.

¹ Self-Phase Modulation

² Cross-Phase Modulation

³ Four-Wave Mixing

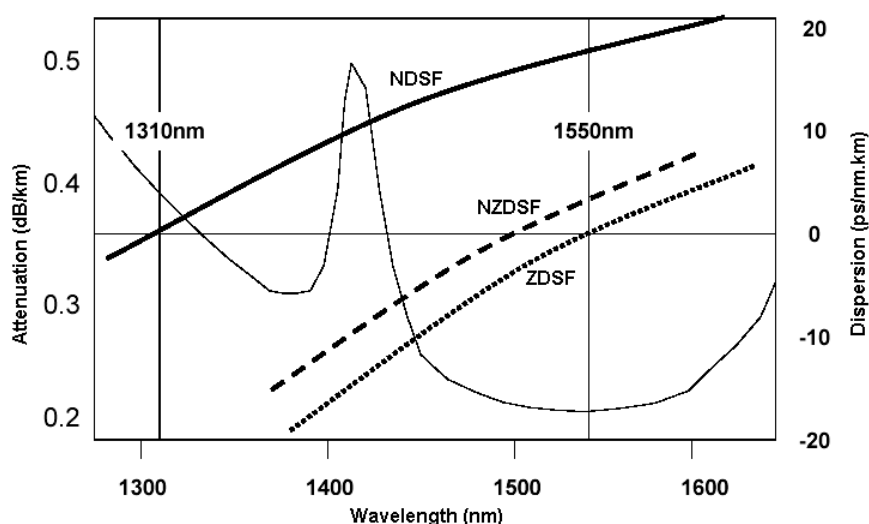
⁴ Stimulated Raman Scattering

⁵ Stimulated Brillouin Scattering

فیبرهای تک مد کاربرد بیشتری در سیستمهای چند طول موجی دارند. همیشه در ساخت فیبرها و استفاده از آنها سه پارامتر پاشندگی، تضعیف و آثار غیر خطی در تعارض هستند که همین عامل باعث تولید انواع فیبرهای تک مد شده است.

فیبرهای تک مد به دو دسته اصلی فیبرهای بدون جابجایی پاشندگی^۱ و فیبرهای با پاشندگی جابجا شده^۲ تقسیم می شوند که خود DSF ها شامل فیبر با پاشندگی جابجا شده صفر^۳ و فیبر با پاشندگی جابجا شده غیر صفر^۴ هستند. در فواصل کوتاه تا متوسط معمولاً از فیبرهای NDSF و در فواصل طولانی از فیبرهای DSF استفاده می شود.

در شکل (۱۱) منحنی انواع فیبرهای تک مد با توجه به تضعیف و پاشندگی آنها بر حسب طول موج نشان داده شده است.



شکل ۱۱: منحنی تضعیف و پاشندگی انواع فیبرهای تک مد بر حسب طول موج

بهترین نوع فیبرهای تک مد برای سیستمهای چند طول موجی، فیبرهای NZDSF هستند. این فیبرها توازنی بین پارامترهای پاشندگی، تضعیف و آثار غیرخطی بوجود آورده اند. از مزایای این فیبرها امکان استفاده آنها در طول موج 1550 nm و پایین بودن آثار غیر خطی است. با اینکه، پاشندگی نسبت به فیبرهای ZDSF بیشتر شده است ولی در عوض آثار غیرخطی که در استفاده از

¹ Non-Dispersion-Shifted Fiber: NDSF

² Dispersion-Shifted Fiber: DSF

³ Zero Dispersion-Shifted Fiber: ZDSF

⁴ Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber: NZDSF

فیبرهای ZDSF برای سیستمهای DWDM مشکل ساز بود، در این فیبرها کمتر شده است. از نظر تضعیف با توجه به آنکه هر دو در 1550 nm کار می کنند، رفتار یکسانی دارند. نوع خاصی از فیبرهای تک مد NZDSF، فیبرهای با سطح موثر بزرگ¹ LEAF هستند. در سیستمهای با نرخ انتقال اطلاعات بالا، بیشترین توانی که می تواند از داخل فیبر عبور کند حائز اهمیت است. در این فیبرها با بالا بردن سطح مقطع موثر هسته فیبر اجازه عبور توان بیشتر را می دهند. فیبرهای استاندارد تک مد دارای سطح مقطع در حدود ۸۰ میکرومتر مربع بودند، در حالیکه فیبرهای معمولی NZDSF دارای سطح مقطع در حدود ۵۵ میکرومتر مربع هستند که با استفاده از فیبرهای NZDSF با سطح موثر بزرگ LEAF، این سطح مقطع به ۷۲ میکرومتر مربع افزایش یافته است [۶].

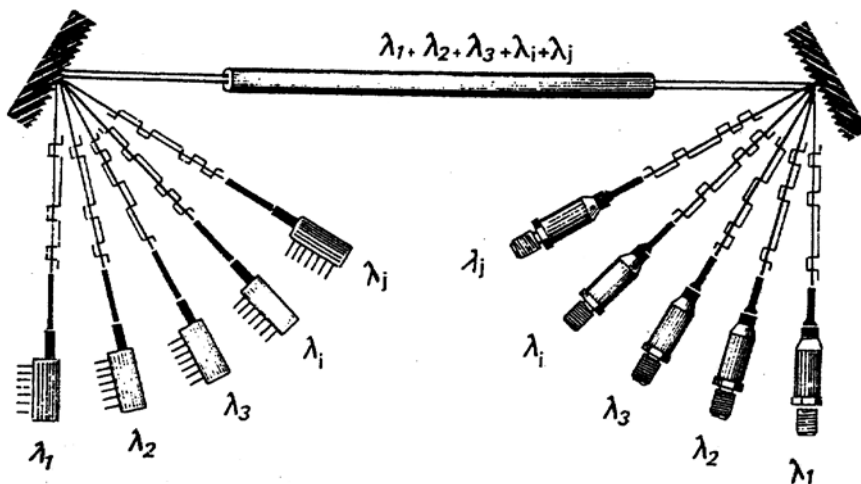
از اینرو بهترین نوع فیبر برای سیستمهای WDM و DWDM، فیبرهای NZDSF با سطح موثر بزرگ هستند که هم پاشندگی، تضعیف و اثرات غیر خطی به بهترین مقدار ممکن رسیده اند و هم با افزایش سطح موثر، میزان توان دریافتی و بنابراین نرخ انتقال اطلاعات بالا رفته است.

۲,۴. مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری

وسیله ای که چندین طول موج نوری متفاوت را بطور همزمان به درون یک فیبر نوری کوپل می کند، مالتی پلکسر نوری و وسیله ای که چندین طول موج درون یک فیبر را از یکدیگر تفکیک می کند، دی مالتی پلکسر نوری نامیده می شود. شکل (۱۲) نمونه ای از سیستم ترکیب و تفکیک طول موجهای نوری را توسط مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری نشان می دهد. مطابق شکل در سمت چپ مالتی پلکسر و در سمت راست دی مالتی پلکسر نوری قرار دارد. ویژگی مهم این ادوات در این است که این ادوات قادرند سیگنال نوری را در هر دو سمت انتقال داده و به اصطلاح دوطرفه² هستند.

¹ Large Effective Area Fibers: LEAF

² Bi-Directional



شکل ۱۲: مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری

از انواع مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری می توان به ساختارهای زیر اشاره کرد:

➤ گریتینگ آرایه موجرها^۱ (AWG)

➤ گریتینگ براگ فیبری^۲ (FBG)

➤ فیلترهای لایه نازک^۳ (TFF)

➤ گریتینگ پراش^۴ (DG)

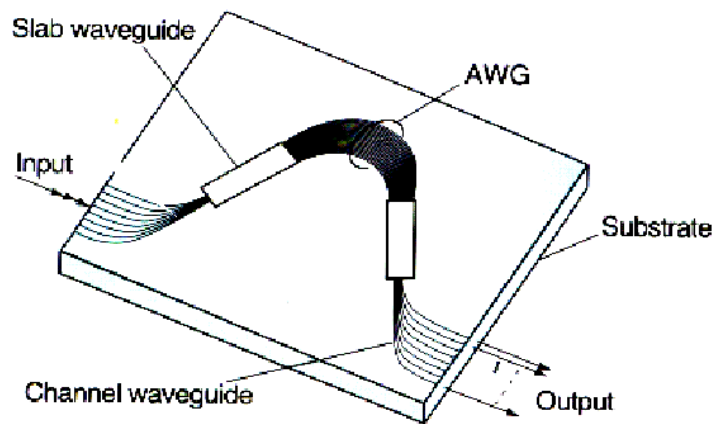
متداول ترین ساختار مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری که بهترین کارایی را دارد و در شبکه های WDM امروزی مورد استفاده قرار می گیرد، ساختار AWG می باشد. طرحی از این ساختار در شکل (۱۳) آمده است.

¹ Array Wave guide Gratings

² Fiber Bragg Gratings

³ Thin Film Filters

⁴ Diffraction Gratings



شکل ۱۳: آرایه موجبرهای دنداندار

۳,۴. فرستنده نوری

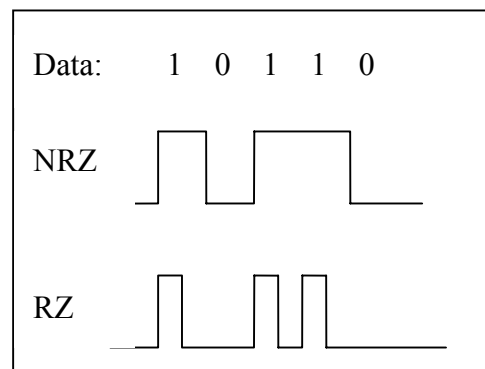
فرستنده‌های نوری با بکارگیری از نور لیزر^۱ طراحی و ساخته می‌شوند. برای انتقال دیتا در طول یک فیبر نوری اطلاعات ابتدا کدبندی یا بصورت سیگنال لیزری مدوله می‌شوند. هر دو نوع تکنیک مدولاسیون آنالوگ (مدولاسیون دامنه (AM)) و دیجیتال (شیفت دامنه (ASK)) بکار می‌رود. از این روشها مدولاسیون شیفت دامنه (ASK) به علت سادگی مناسبترین شیوه است. سایر انواع مدولاسیون از قبیل FM، PM، FSK و PSK در سیستمهای مخابرات نوری هم‌دوس استفاده می‌شود، در سیستمهای مخابراتی امروزی از مدولاسیون دیجیتال OOK^۲ بصورت روشن و خاموش کردن نور لیزر استفاده می‌شود. مطابق شکل (۱۴) این نوع مدولاسیون به دو روش بازگشت به صفر RZ^۳ و غیر بازگشت به صفر^۴ استفاده می‌شود.

^۱ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

^۲ On-Off Key

^۳ Return to Zero

^۴ Non Return to Zero



شکل ۱۴: ساختار کدینگ NRZ و RZ

۴,۴. تقویت کننده نوری

اصولاً برای انتقال سیگنال نوری در مسیرهای طولانی نیاز به تقویت کننده نوری داریم. دو نوع اصلی تقویت کننده نوری تقویت کننده لیزر نیمه هادی^۱ و تقویت کننده نوری فیبر آلایند شده^۲ (DFA) می باشند. تقویت کننده لیزر نیمه هادی سیگنال نوری ضعیف را از طریق گسیل برانگیخته تقویت می کند و در دو نوع: تقویت کننده فابری-پرو^۳ و تقویت کننده موج متحرک^۴ (TWA) است. اختلاف اصلی این دو تقویت کننده در بازتاب نور در دیواره های محفظه است، که برای فابری-پرو تقریباً 30% و در نوع دیگر 0.01% است. بازتابش بالا در دیواره های فابری-پرو باعث تشدید در تقویت می شود. در نتیجه پهنای باند باریکی در حدود 5 GHz دارند، که این اثر برای شبکه های WDM مناسب نیست. از این رو تقویت کننده های TWA برای شبکه های WDM به کار می روند. تقویت کننده DFA شامل قطعه ای از فیبر آلایند با یک عنصر فعال مثل اریوم است، که دارای بهره ای در طول موجهای 1525 nm تا 1560 nm است. در این نوع تقویت کننده ها یک لیزر برای پمپ کردن سیگنال قوی با طول موج کوتاه تر - که پمپ طول موج^۵ نامیده می شود- بکار می رود. این سیگنال اتمهای اریوم را به سطوح انرژی بالاتر می برد که با تحریک اتمها توسط سیگنال دیتا فوتون آزاد می شود. بیشتر تقویت کننده های EDFA^۶ بوسیله لیزرهایی با طول موجهای 980 nm یا 1480 nm پمپ می شوند، و بهره ای در حدود 25 dB دارند.

¹ Semiconductor Laser Amplifiers

² Doped Fiber Amplifiers

³ Fabry-Perot Amplifier

⁴ Traveling-Wave Amplifier

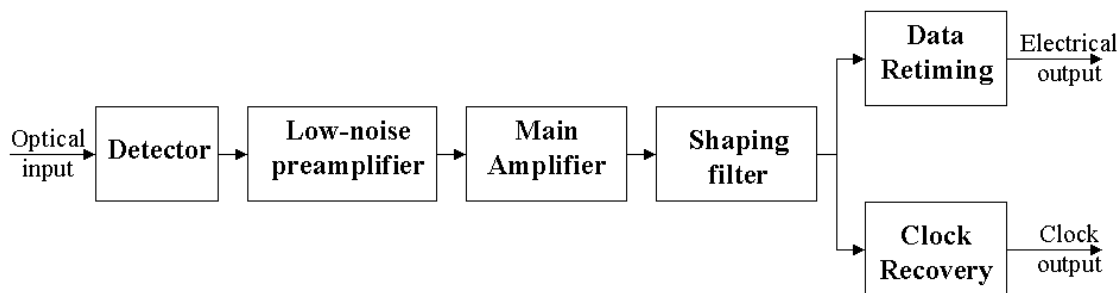
⁵ Pump Wavelength

⁶ Erbium Doped Fiber Amplifier

اخیراً تقویت کننده‌های PDFFA^۱ با بهره‌ای در حدود 40 dB و هم‌شناویی کم مطرح شده‌اند. آنها دارای پهنای باند 50 nm در محدوده 1280 - 1330 nm هستند. محدودیت اصلی تقویت کننده‌های نوری یکنواخت نبودن طیف بهره آنها است. که باعث عدم تقویت یکسان طول موجها می‌شود.

۵.۴. گیرنده نوری

وظیفه بخش گیرنده نوری دیجیتال دریافت سیگنال نوری و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی با سطوح استاندارد دیجیتال است. از ویژگی‌های گیرنده نوری در شبکه‌های WDM اینکه این بخش از سیستم وابسته به طول موج نباشد و بتواند در کل بازه طیف نوری شبکه‌های فیبر نوری $1.3\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ مورد استفاده قرار گیرد. بلوک دیاگرام اصلی یک گیرنده نوری در شکل (۱۵) ارائه شده است. مطابق شکل گیرنده نوری شامل آشکارساز نوری، تقویت کننده و بخش بازسازی دیتا است. در گیرنده‌های نوری دیجیتال، آشکارسازی و تقویت سیگنال می‌تواند باعث اعوجاج و یا تأخیر در سیگنال دیتا شود. بدین منظور در انتها باید سیگنال بدست آمده توسط مداری بازسازی شود.



شکل ۱۵: بلوک دیاگرام کامل گیرنده نوری دیجیتال

اساس کار آشکارسازهای نوری بر دریافت انرژی فوتون $E=h\nu$ و تبدیل آن به جریان الکتریکی است. در آشکارسازهای نوری، فوتون با الکترونهای لایه ظرفیت برخورد کرده و انرژی خود را به الکترون می‌دهد. حال اگر انرژی فوتون بیش از انرژی باند-گپ ماده آشکارساز باشد، آن الکترون به الکترون آزاد تبدیل می‌شود. با توجه به نوع بایاسینگ مداری آشکارساز، الکترون

^۱ Praseodymium-Doped Fluoride Fiber Amplifiers

آزاد یا در جریان الکتریکی مشارکت می کند و یا تولید پتانسیل الکتریکی می کند. در سیستمهای مخابراتی فیبر نوری از آشکارسازهای نوری نیمه هادی استفاده می شود. از جمله ویژگیهای برتر اینگونه آشکارسازهای نوری می توان به موارد زیر اشاره کرد:

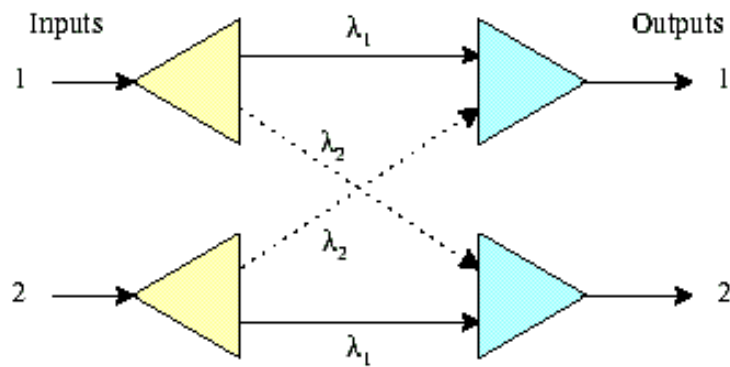
- ❖ حساسیت خوب
- ❖ سرعت پاسخ دهی سریع
- ❖ استحکام بالا و توان مصرفی کم
- ❖ نویز پذیری پایین
- ❖ حساسیت کم به دما
- ❖ ابعاد فیزیکی کوچک
- ❖ قیمت ارزان و طول عمر طولانی
- ❖ پهنای طیفی وسیع

دو نوع آشکار ساز مرسوم در شبکه های نوری آشکارسازهای PIN و APD هستند، که نوع دوم قابلیت تقویت حین آشکار سازی را دارد.

۶,۴. روترهای غیر فعال

روترهای غیر فعال^۱ چند طول موج موجود در یک فیبر را در خروجی به چند فیبر تفکیک می کنند. بطور مثال مطابق شکل (۱۶) طول موجهای λ_1 و λ_2 موجود در فیبر ۱ به فیبر خروجی ۱ و ۲ انتقال می یابند و بطور متناظر طول موجهای λ_1 و λ_2 موجود در فیبر ورودی ۲ به فیبر خروجی ۱ و ۲ انتقال می یابند. گردش طول موجها بستگی به ماتریس متناظر با روتر دارد. این ماتریس وابسته به اتصالات درونی بین طبقه مالتی پلکس و دی مالتی پلکس درون روتر می باشد. ماتریس روتر ثابت و غیر قابل تغییر است.

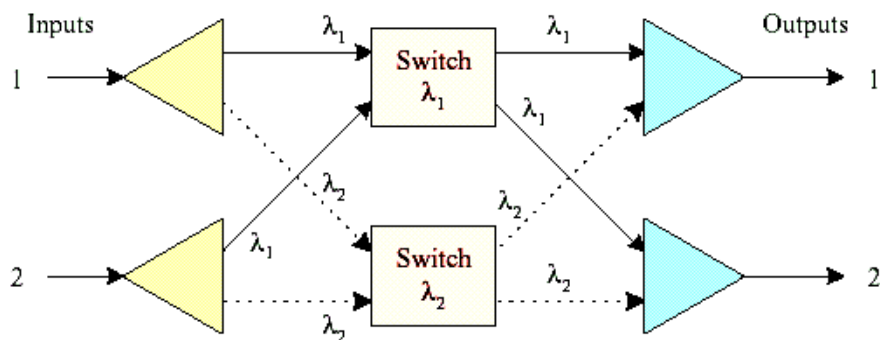
¹ Passive Routers



شکل ۱۶: روتر غیرفعال ۲×۲

۷,۴. سوئیچهای فعال

سوئیچهای فعال^۱ مطابق شکل (۱۷) بعنوان سوئیچ نوری درون روتر بکار برده می‌شوند. هر فیبر ورودی می‌تواند شامل N کانال طول موج باشد. این طول موجها با استفاده از دی‌مالتی‌پلکسرهای نوری از یکدیگر جدا می‌شوند. طول موج خروجی هر دی‌مالتی‌پلکسر مستقیماً به سوئیچ نوری متناظر با خود متصل شده است. در نهایت خروجی مالتی‌پلکس شده به فیبر خروجی ارسال می‌شود.



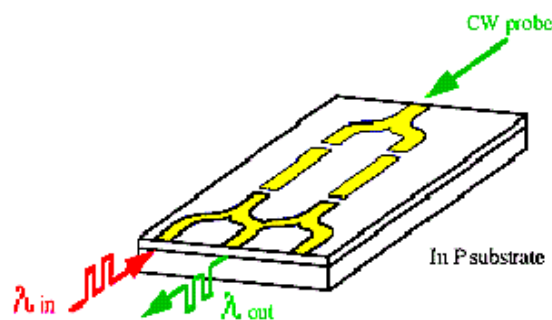
شکل ۱۷: سوئیچ فعال ۲×۲

۸,۴. مبدل‌های طول موج

مبدل طول موج^۲ اطلاعات ورودی بر روی یک طول موج را در خروجی بر روی طول موج دیگری انتقال می‌دهد. مبدل‌های طول موج بطور گسترده در شبکه‌های نوری بکار برده می‌شوند.

^۱ Active Switches^۲ Wavelength Converters

چندین روش متفاوت برای تبدیل طول موج وجود دارد. تمامی این روشها به دو دسته کلی مبدل‌های طول موج اپتو الکترونیک و مبدل‌های طول موج تمام نوری تقسیم بندی می‌شوند. در مبدل‌های طول موج اپتو الکترونیک سیگنال نوری ابتدا به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود، و سپس بر روی یک طول موج دیگر ارسال می‌شود، در حالیکه در مبدل‌های طول موج تمام نوری مطابق شکل (۱۸) طول موج نوری مستقیماً تبدیل می‌شود.



شکل ۱۸: مبدل طول موج تماماً نوری [۷]

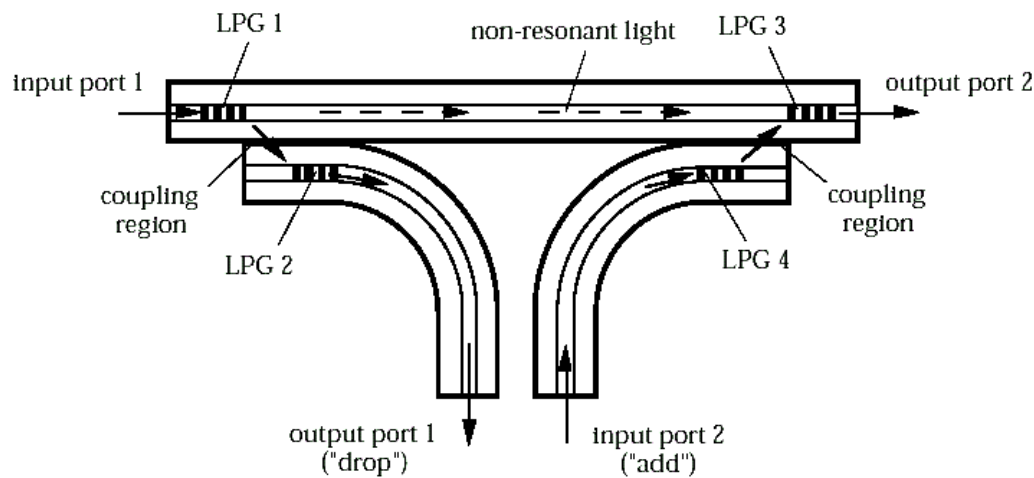
۹,۴. مالتی پلکسر با قابلیت حذف و اضافه

مالتی پلکسر با خاصیت حذف و اضافه^۱ شامل یک دی مالتی پلکسر است، که از طریق یک سوئیچ ۲×۲ به یک مالتی پلکسر اتصال دارد (شکل ۱۹). هر طول موج دارای یک سوئیچ متناظر است. سوئیچ می‌تواند در حالت اتصال مستقیم^۲ یا در حالت اتصال عرضی^۳ باشد. در حالت اتصال مستقیم سیگنال از پورت ورودی بالایی به پورت خروجی بالایی؛ و سیگنال از پورت ورودی پایینی به پورت خروجی پایینی انتقال می‌یابد. در حالت اتصال عرضی سیگنال از پورت ورودی بالایی به پورت خروجی پایینی و بالعکس انتقال می‌یابد. زمانیکه تمامی سوئیچها در اتصال مستقیم هستند، هیچ جابجایی طول موجی صورت نمی‌گیرد، اما در حالت اتصال عرضی سوئیچ که توسط مدارات کنترل الکترونیکی تغییر وضعیت می‌دهد، طول موج متناظر با آن از مسیر جدا شده و یا طول موجی به مسیر افزوده می‌شود.

^۱ Add Drop Multiplexer

^۲ Bar-State

^۳ Cross State



شکل ۱۹: مالتی پلکسر با قابلیت کاستن یا افزودن طول موج

۱۰,۴. ترانسپوندر

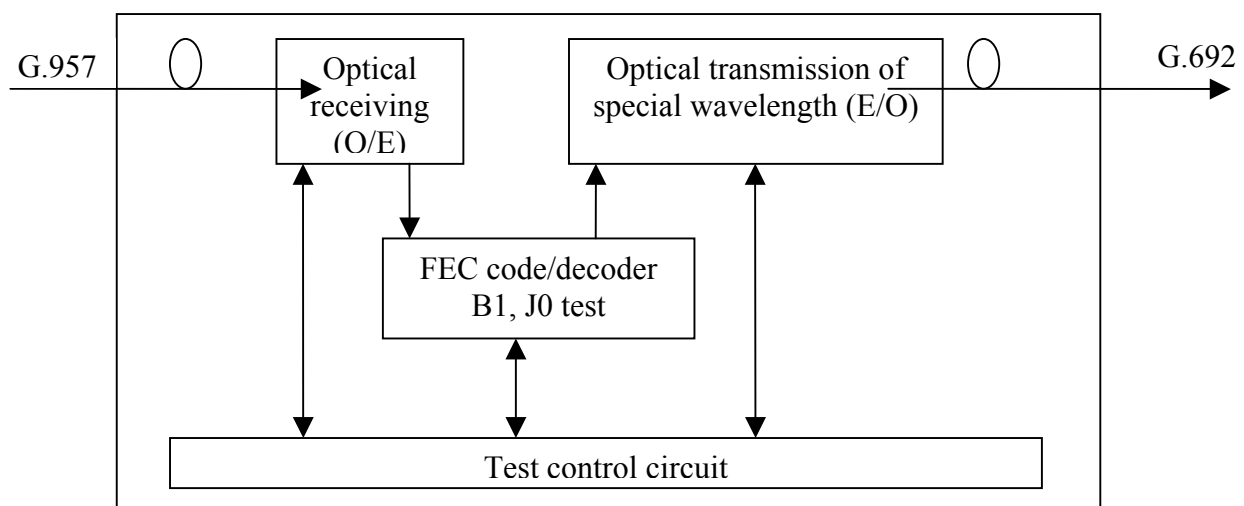
ترانسپوندر از واحدهای اصلی یک سیستم DWDM است. از ترکیب قسمتهای فرستنده و گیرنده نوری در یک بسته سخت افزاری تشکیل می شود. این واحد وظیفه تولید، کدینگ، دریافت و دی کدینگ سیگنال نوری را به عهده دارد. عملکرد آن تبدیل طول موج سیگنال نوری به روش OEO^۱ یا نوری-الکتریکی-نوری است. قطعه ورودی آن دیود آشکارساز PIN یا APD است. که سیگنال نوری را به الکتریکی تبدیل می کند. و قطعه خروجی آن دیود لیزر DFB و یا DBR است که سیگنال الکتریکی بازسازی شده را به سیگنال نوری تبدیل می کند.

با توجه به لزوم سازگاری، رعایت استانداردهای طول موج ITU-T G.957 به عنوان ورودی از سیستم SDH و استاندارد ITU-T G.692 به عنوان خروجی به واحد مالتی پلکسر و تقویت کننده نوری، و همچنین نیاز به برگرداندن سیگنال نوری به همان طول موج دریافتی استاندارد ITU-T G.957، نیاز به دو ترانسپوندر که یکی به عنوان فرستنده (قبل از مالتی پلکسر) و دیگری به عنوان گیرنده (بعد از دی مالتی پلکسر) است. علت استفاده از روش OEO برای تغییر طول موج، یکی نیاز به تغییرات وسیع در طول موج (عموماً تبدیل از پنجره $1.3 \mu\text{m}$ به پنجره $1.55 \mu\text{m}$) که توسط واحدهای مبدل طول موج تماماً نوری امکان پذیر نمی باشد، و دیگری نیاز به بازسازی سیگنال دیتا است، که می بایست ابتدا سیگنال را به صورت الکتریکی استخراج کرد و سپس عملیات بازسازی را روی آن انجام داد و مجدداً به سیگنال نوری بازگرداند. در این مرحله همچنین می توان بایتهای

^۱ Optic Electric Optic

نمایشگر عملکرد سیستم را آزمایش کرد و نمایش داد. از جمله بایتهای نمایش عملکرد می توان به بایت J0 که نمایانگر شروع فریم VC4 در داخل کل فریم SDH و بایت B1 که نمایانگر پرتی کل فریم SDH می باشد، اشاره کرد. همچنین ممکن است که به واحد اصلاح کننده پاشندگی¹ DCM نیاز باشد که می توان آنرا با بخش ترانسپوندر ترکیب کرد. به طور مثال در یک سیستم انتقال با طول ۱۰۰ کیلومتر و پاشندگی ۱۷ ps/nm/km میزان کل پاشندگی برابر ۱۷۰۰ ps/nm خواهد شد، که می توان آنرا با یک واحد DCM با مشخصه ۱۷۰۰ ps/nm برطرف کرد.

شکل (۲۰) بلوک دیاگرام داخلی یک ترانسپوندر با عنوان واحد انتقال سیگنال OTU^۲ را نشان می دهد، که در آن پس از دریافت سیگنال نوری و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی یک مرحله اصلاح خطا FEC و استخراج بایتهای B1 و J0 انجام می شود، و در واحد Test Control Circuit سیگنالهای کنترلی ترانسپوندر صادر می شود[۸].



شکل ۲۰: بلوک دیاگرام داخلی یک ترانسپوندر

ترانسپوندرها از نظر ارسال سیگنال به دو نوع TX و RX دسته بندی می شوند.

□ ترانسپوندر TX (فرستنده):

این واحد سیگنال نوری ورودی با رنج وسیعی از طول موجها (1300nm~1600 nm) را به سیگنال نوری با طول موج مشخص و دقیق برای اتصال به مالتی پلکسر نوری، با توجه

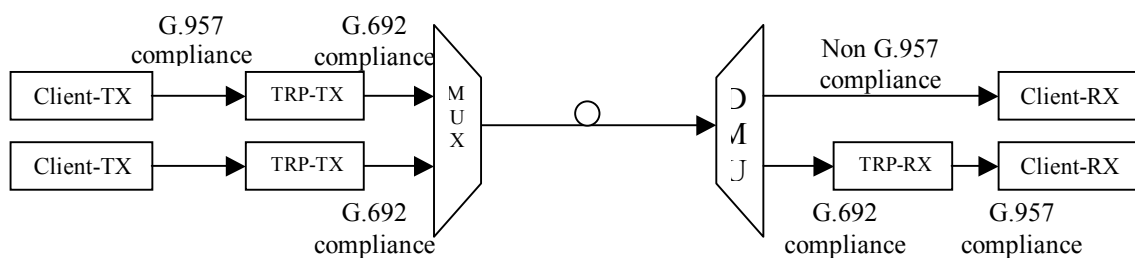
¹ Dispersion Compensation Module

² Optical Transition Unit

به کانال مورد نظر، تبدیل می کند. در صورتی که به سیستم SDH متصل شوند ورودی را تحت استاندارد G.957 می پذیرد و خروجی نیز تحت استاندارد G.692 قرار می گیرد. طول موج ورودی با گذر از ترانسپوندر و پس از ترکیب توسط مالتی پلکسر در یک فیبر قابل تمایز خواهد بود. همچنین عملکرد سیستم را با آزمایش بایتهای B1، J0 و سطح خروجی نوری را برای کاربردهای SDH مطابق استاندارد ITU-T G.826 نمایش می دهد.

□ ترانسپوندر RX (گیرنده):

مطابق شکل (۲۱) به علت اینکه در سیستمهای SDH سیگنال نوری می بایست تحت استاندارد G.957 باشد از اینرو ترانسپوندر گیرنده سیگنال نوری دریافتی از دی مالتی پلکسر با طول موج دقیق و تحت استاندارد G.692 را به سیگنال نوری دیگری تحت استاندارد G.957 برای کاربردهای SDH تبدیل می کند. البته دیگر استانداردهای کاربردی نیز توسط انواع دیگر ترانسپوندر قابل انجام است. نمایش عملکرد سیستم با آزمایش بایتهای B1 و J0 در سمت خروجی برای کاربردهای SDH قابل نمایش است. این نمایش عملکرد بر طبق استاندارد ITU-T G.826 است. همچنین ترانسپوندر گیرنده وظیفه حذف نویز در اثر خط انتقال طولانی را نیز برعهده دارد. همچنین مطابق شکل (۲۱) برای سیستمهای غیر وابسته به استاندارد نوری می توان ترانسپوندر گیرنده را حذف کرد.



شکل ۲۱: طرح سیستم WDM با واحد ترانسپوندر

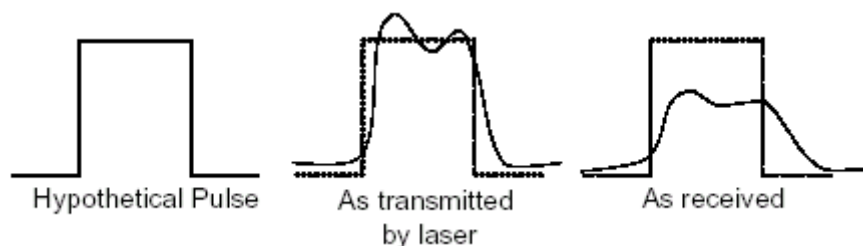
ترانسپوندرها به طور کلی بر اساس نوع عملکرد بازسازی دیتا به دو نوع دسته بندی می شوند:

□ ترانسپوندر $2R^1$: در این نوع واسط عمل بازسازی دامنه و بازسازی الگو روی سیگنال انجام می شود.

□ ترانسپوندر $3R^2$: که در آن علاوه بر بازسازی دامنه و بازسازی الگو، بازسازی زمانی با بازیافت کلاک و همزمان کردن دیتا با کلاک بازیافت شده، نیز صورت می گیرد.

ترانسپوندر نوع $2R$ مستقل از نرخ بیت عمل می کند. بطور مثال در یک نمونه حوزه عملکرد آن از 155 Mbps تا 1.25 Gbps است. ولی عملکرد نوع $3R$ فقط در یک نرخ بیت خاص مثل 622 Mbps یا 2.488 Gbps است.

علاوه بر این در ترانسپوندر $3R$ نواقص Jitter و Wander حذف می شوند. در حالی که در مد $2R$ نه تنها Jitter سیگنال ورودی حذف نمی شود، بلکه Jitter نیز به سیگنال اضافه خواهد شد. این میزان اضافه شدن Jitter به سیگنال، به نرخ بیت و سطح توان سیگنال ورودی وابسته است. مقدار Jitter اضافه شده در مد $2R$ به طور نمونه حداکثر به میزان 75 ps peak-peak است. در سیستمهای WDM با فواصل بلند در اثر عواملی نظیر: اثرات غیر خطی فیبر، بازتاب از کانکتورها، پاشندگی رنگی^۳، پاشندگی مد پلاریزاسیون^۴ و نویز ASE تقویت کننده های نوری، میزان سیگنال به نویز نوری کاهش می یابد، و مطابق شکل (۲۲) سیگنال پالس نوری در اثر انتقال تغییر می کند، از این رو در سیستمهای نوری بازسازی سیگنال نوری الزامی است.



شکل ۲۲: خرابی پالس نوری پس از ارسال

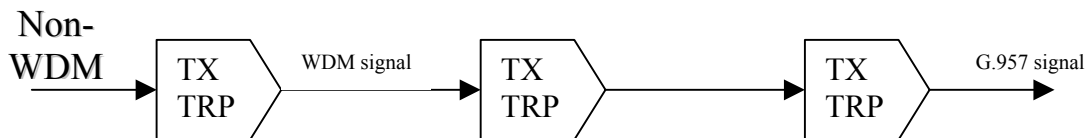
¹ Re-amplification Re-sampling (reshape and retransmit)

² Re-amplification Re-sampling and Re-timing (reshape, retime, and retransmit)

³ Chromatic Dispersion

⁴ Polarization Mode Dispersion

مطابق شکل (۲۳) ترکیب متوالی ترانسپوندرهای TX-3R به عنوان تکرار کننده‌های دیجیتال نیز کاربرد دارد [۹].



شکل ۲۳: تکرار کننده دیجیتال

چون این نوع ترانسپوندرها Jitter و Wander را حذف می‌کنند. به همین دلیل ترکیبی از آنها می‌توانند پشت سر همدیگر قرار گیرند. در صورتی که ترانسپوندرهای 2R به علت اضافه کردن Jitter تعداد ترکیب متوالی آنها به نسبت میزان Jitter اضافه شده در هر واحد و میزان Jitter مورد پذیرش بخش گیرنده سیگنال محدود خواهد شد.

- ترانسپوندر FEC^۱: عموماً برای توسعه زیرساخت‌های سیستمهای انتقال مسافتهای طولانی زیر دریا، در سیستمهای با نرخ بیت خیلی زیاد >10 Gbps و همچنین ممکن است برای سیستمهای زمینی مثل سرویسهای Leased Lambda^۲ بکار روند. این نوع ترانسپوندرها خطاهای دریافتی در سمت گیرنده را کاهش می‌دهند. به طور مثال نرخ بیت خطا (BER) این سیستم برابر 10^{-14} است که در مقابل مقدار متداول آن 10^{-10} خیلی بهتر است.

تکنیک FEC روشی برای اصلاح بیت‌هایی از یک بلوک که دچار خطا شده‌اند، است. به این معنی که یک بیت 1 آشکار شود در صورتی که بیت 0 ارسال شده و یا بالعکس. این روش بسیار شبیه حافظه کامپیوترها است که هر کلمه شامل بیت‌های اضافی است که ارتباط محاسباتی با دیتاهای داخل کلمه دارند. بطوریکه در سیستمهای کامپیوتری ۶۴ بیتی، آزمایش و اصلاح این بیت‌ها توسط یک رشته اضافی ۸ بیتی صورت می‌گیرد. در این روش الگوریتمی بیت‌های خطا را شناسایی می‌کند و آنها را اصلاح می‌کند. در سیستمهای مخابراتی عملکرد سیستم تشخیص و اصلاح خطا پیچیده‌تر است. چون در حافظه‌های کامپیوتر طول هر کلمه همواره ثابت است و عموماً توسط سیمهای مجزا منتقل می‌شوند و شما نمی‌توانید کلمه‌ای با طول کوتاه‌تر یا بلندتر از

¹ Forward Error Correction

² Leased Lambda services allow a specific wavelength to be assigned to a customer when using DWDM technology.

طول رشته ثابت آن دریافت کنید. ولی در سیستمهای ارتباطی به علت ارسال متوالی بیتها، از دست دادن یک بیت یا اضافه دریافت کردن یک بیت اشکالی است، که عموماً رخ می دهد. پس در FEC می بایست طول بلوک دیتا ثابت باشد. کلیه بیتهای یک بلوک توسط بلوک کوچکی که در انتهای بلوک اصلی اضافه می شوند، آزمایش می شوند. این کار باعث می شود معمولاً هر دو عملکرد تشخیص و اصلاح بیت امکان پذیر باشد. با استفاده از FEC امکان کار با سطوح پایین تر از سطح احتمال خطای SNR امکان پذیر است. که باعث می شود بتوانید فاصله بین تقویت کننده ها را افزایش داد یا نرخ بیت سیگنال را افزایش داد. امروزه سیستمهای FEC در خیلی از تجهیزات ارتباطی زیر دریا بکار می روند.

۱۱,۴. فیلتر تخت کننده بهره

از مهمترین مشکلاتی که در پشت سر هم چیدن تقویت کننده های نوری اتفاق می افتد، عدم یکنواختی طیف بهره آنهاست. عدم یکنواخت بودن طیف بهره باعث می شود که در سیستمهای DWDM که تعداد کانالهای زیادی وجود دارد، توان برخی از کانالها نسبت به بقیه کمتر شود. هنگامیکه یک کانال خاص از نظر طول موج در محدوده ای باشد که کمترین میزان تقویت در تقویت کننده وجود دارد، پس از عبور از یک مسیر طولانی به علت استفاده از تعداد زیاد تقویت کننده ها، ممکن است به طور کامل حذف شود. برای جلوگیری از تضعیف زیاد برخی کانالها و همچنین عدم برابری دامنه کانالهای مختلف از فیلتر تخت کننده بهره^۱ یا متعادل کننده بهره^۲ استفاده می شود. GFF یا GEQ معمولاً پس از تقویت کننده بکار می رود. [۱۰]

۱۲,۴. جبران ساز پاشندگی

معمولاً در سیستمهای WDM برای جبران پاشندگی از فیبر جبران ساز پاشندگی^۳ استفاده می کنند. جبران سازهای پاشندگی در سیستمهای WDM/DWDM عمل جبران سازی پاشندگیهای رنگی و پاشندگی مدی وابسته به پلاریزاسیون^۴ بوجود آمده را انجام می دهند. پاشندگی در سیستم های نوری باعث پهن شدن پالسها و در نتیجه عدم ارسال صحیح اطلاعات می شود.

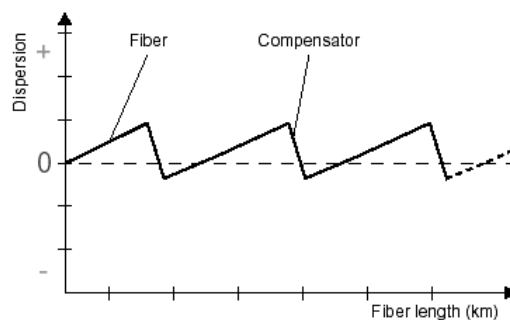
^۱ Gain Flattening Filter: GFF

^۲ Gain Equalizer: GEQ

^۳ Dispersion Compensation Fiber: DCF

^۴ Polarization Mode Dispersion: PMD

در این سیستمها طبق شکل (۲۴) از فیبرهای با پاشندگی مثبت و منفی به صورت یک در میان استفاده می شود. در شکل نشان داده شده، پاشندگی مثبت فیبر توسط جبران ساز با پاشندگی منفی، جبران شده است. فیبر جبران کننده پاشندگی دارای منحنی پاشندگی به صورت قرینه منحنی پاشندگی فیبر معمولی است.



شکل ۲۴: منحنی پاشندگی و تاثیر جبران ساز [۱۱].

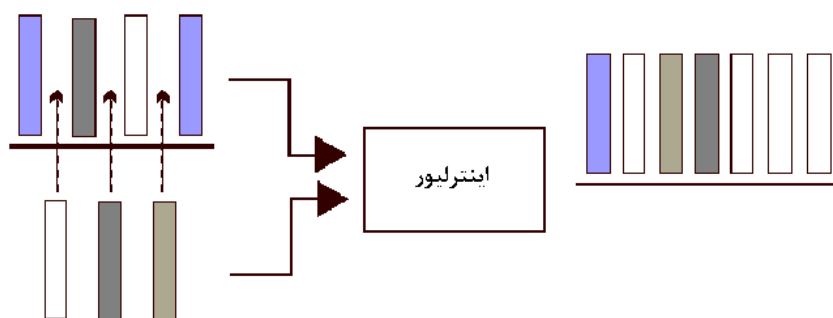
۱۳,۴. ایزولاتورهای نوری

نور بازگشتی از انتهای فیبرها، محل اتصالات و ادوات نوری، باعث ناپایداری شبکه های نوری می شود. در لینکهای نوری برای حفظ پایداری و عملکرد صحیح منابع و قطعات نوری در مقابل تأثیر نور بازگشتی، از ایزولاتورهای نوری استفاده می شود. این قطعات، نور را در یک جهت عبور داده و در جهت دیگر از عبور آن جلوگیری می کنند و از جمله کاربردهای آنها در ارتباطات فیبر نوری در محدوده طول موجهای $1.3 \mu\text{m}$ تا $1.55 \mu\text{m}$ در ساختار کانکتورها، لیزرهای نیمه هادی، فرستنده های نوری و تقویت کننده های نوری است.

۱۴,۴. دی (اینترلیور نوری

یکی دیگر از قطعات مورد استفاده در سیستمهای DWDM اینترلیور است. اینترلیور بعد از مالتی پلکسر نوری و دی اینترلیور قبل از دی مالتی پلکسر نوری استفاده می شود. مطابق شکل (۲۵) با اینترلیور می توان در فضای بین کانالهای موجود کانالهای دیگری اضافه کرد و با این روش می توان ظرفیت انتقال سیستم DWDM را دو برابر کرد. در این روش لازم است که فاصله بین کانالها مساوی باشد و پهنای طیف کانالها نیز به اندازه کافی باریک باشد تا بتوان از فضای بین کانالها برای ارسال کانالهای دیگر استفاده کرد. در مبدا خروجی دو مالتی پلکسر نوری زوج و فرد

وارد اینتر لیور شده و کانالهای زوج و فرد در بین هم قرار می گیرند. در مقصد نیز ابتدا بایست توسط دی اینترلیور کانالهای زوج و فرد از یکدیگر جدا شده و به دو دی مالتی پلکسر نوری مجزا رفته تا کلیه کانالها آشکار شوند. [۱۲]



شکل ۲۵: ساختار اینترلیور نوری

۱۵.۴. تضعیف کننده نوری

تضعیف کننده های نوری^۱ که در سیستمهای مخابرات نوری برای کم کردن توان نور استفاده می شوند، دارای دو نوع اساسی تضعیف کننده های ثابت^۲ و تضعیف کننده های متغیر^۳ هستند. تضعیف کننده های ثابت در مواقعی استفاده می شود که سیگنال ورودی به آن ثابت است و نیاز به تضعیف به میزان مشخصی داریم. این تضعیف کننده ها خواصی نظیر قابلیت اطمینان بالا و اتصال آسان را دارند [۱۳].

تضعیف کننده های متغیر که قادرند تضعیف را در محدوده مشخصی انجام دهند، دارای کاربردهای مختلفی در سیستمهای نوری و بویژه در سیستمهای DWDM هستند [۱۴].

اولین کاربرد آنها در سیستمهای DWDM اینست که سیگنالهای ارسالی از فرستنده های مختلف هنگام ورود به داخل فیبر باید دارای دامنه های یکسانی باشند تا در مراحل انتقال برای برخی از آنها مشکل بوجود نیاید. به نظر می رسد که به جای تضعیف سیگنال در هنگام ورود به فیبر می توان جریان تزریقی لیزر را به نحوی انتخاب کرد که نیازی به استفاده از تضعیف کننده وجود نداشته باشد، ولی در این مورد باید گفت که در سیستمهای DWDM با تعداد طول موجهای زیاد، تغییر جریان تزریقی باعث بوجود آمدن جابجایی فرکانسی مد تابشی لیزر می شود که نامطلوب است.

¹ Optical Attenuator: OA

² Fixed

³ Variable

کاربرد دیگر تضعیف کننده های متغیر در متعادل کردن کانالهای مختلف است. این کانالها از ورودیهای مختلف می آیند و هنگامیکه توسط مالتی پلکسر حذف^۱ - اضافه به سیستم DWDM اضافه می شوند باید شدتی برابر شدت بقیه کانالها داشته باشند. بنابراین استفاده از تضعیف کننده ضروری است. کاربرد تضعیف کننده های متغیر همچنین می تواند در قبل از تقویت کننده ها باشد. سیگنالهای با دامنه بالا باعث به اشباع بردن تقویت کننده می شوند. بنابراین در سیستمهای چند طول موجی نیاز به سیگنالهایی با دامنه های مساوی و مشخص در قبل از تقویت کننده ها داریم.

۵. انواع سیستمهای WDM

سیستمهای WDM از نظر طول موجهای بکار گیری، یکطرفه یا دوطرفه بودن، تعداد کانالها و مسافت مورد استفاده به چندین دسته بندی تقسیم می شوند.

از نظر طول موج بکار گیری مطابق شکل (۲۶) به دسته بندی های زیر تقسیم می شوند:

➤ پنجره 850 nm : سیستمهای اولیه فیبر نوری در دهه ۱۹۷۰ از این محدوده استفاده

می کردند. نرخ بیت در چنین سیستمهایی دهها مگابیت بر ثانیه و منابع نوری عموماً LED بوده است. تضعیف فیبر در آن دوره 20 dB/km بوده است. ولی ۱۰ سال بعد میزان تضعیف فیبر به 0.2 dB/km رسید. امروزه در این محدوده عموماً سیستمهای مسافت کوتاه و ارزان قیمت مثل سیستمهای اترنت و شبکه های محلی و سازمانی بکار می روند.

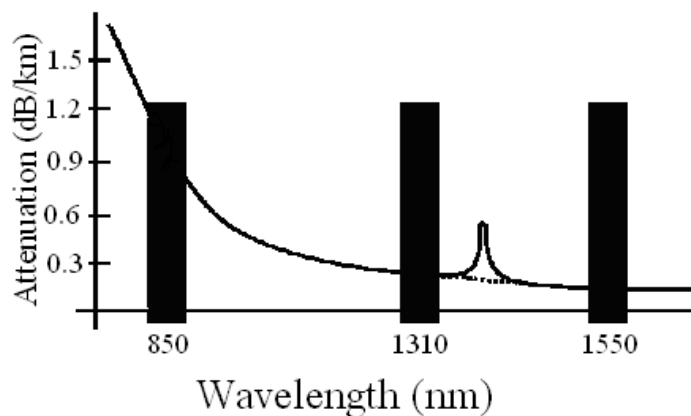
➤ پنجره 1310 nm : این محدوده طول موجی برای مصارف CWDM ۸ کاناله و همچنین

به همراه طول موج 1510 nm برای سیستمهای WDM دو کاناله کاربرد دارد.

➤ پنجره 1510 nm : در این محدوده سیستمهای CWDM ۸ کاناله و سیستمهای DWDM

با تعداد کانال زیاد و مصارف انتقال مسافت طولانی استفاده می شود.

¹ Add-Drop Multiplexer

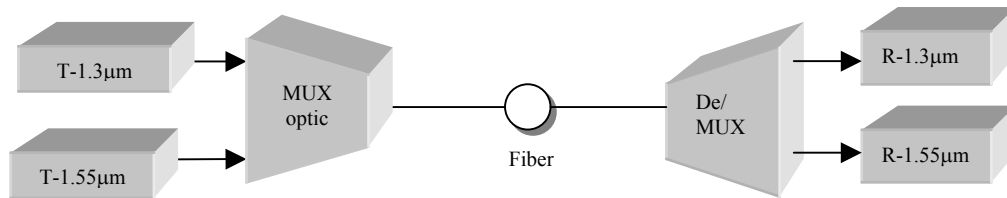


شکل ۲۶: محدوده طول موجهای مورد استفاده WDM

انواع سیستمهای WDM از نظر تعداد کانال عبارتند از:

۱.۵. WDM

در تکنولوژی WDM مالتی پلکس تقسیم طول موج، ظرفیت انتقال فیبر نوری فقط دو برابر می شود و در این سیستمها دو کانال نوری با هم ترکیب می شوند. در این تکنولوژی فاصله طول موج کانالها از یکدیگر زیاد است به طوری که یک کانال با طول موج 1310 nm با کانال دیگری با طول موج در محدوده با تلفات کمتر فیبر بین محدوده طول موجهای 1528 nm و 1560 nm ترکیب و بروی فیبر ارسال می شود. همچنین در این سیستم می توان طول موج یکی از کانالها را با طول موج 850 nm جایگزین کرد. بلوک دیاگرام نمونه ای از این سیستم در شکل (۲۷) آمده است [۱۵-۱۶]. همانطوری که در شکل (۲۷) نشان داده شده است، در سمت ارسال دو کانال اطلاعاتی توسط واحد فرستنده نوری به دو طول موج نوری 1.3 μm و 1.55 μm تبدیل می شوند. در ابتدای خط انتقال این دو طول موج توسط یک واحد مالتی پلکسر دو کاناله نوری بر روی یک فیبر انتقال داده می شوند. سپس در انتهای خط انتقال یعنی سمت دریافت دو طول موج توسط یک واحد دی مالتی پلکسر نوری از یکدیگر تفکیک شده، و سپس این دو طول موج نوری توسط دو گیرنده نوری 1.3 μm و 1.55 μm آشکار شده و سیگنال اطلاعات استخراج می شود.

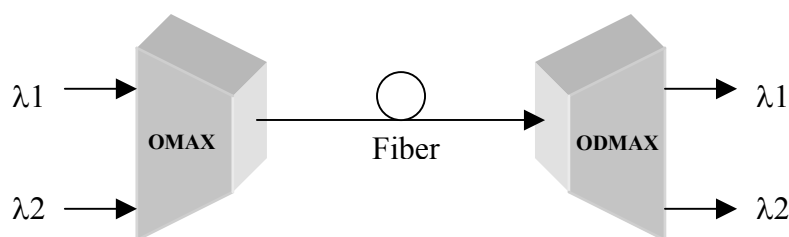


شکل ۲۷: بلوک دیاگرام سیستم WDM دو کاناله

انواع سیستم WDM از نظر جهت ارسال سیگنال نوری به دو دسته یکطرفه و دوطرفه تقسیم بندی می‌شوند. به علت ماهیت دو طرفه بودن ادوات نوری مثل مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری محدودیتی از نظر ارسال دوطرفه سیگنال نوری در این ادوات وجود ندارد، نظر به اینکه در سیستمهای مسافت طولانی نیاز است که حتی تا چندین مرتبه سیگنال نوری توسط واحدهای تقویت کننده نوری، تقویت شود. و این واحدها خاصیت دوطرفگی را ندارند و فقط سیگنالهایی که به آنها وارد می‌شوند، را می‌توانند تقویت کنند به همین دلیل محدودیتی در جهت ارسال در یک فیبر پدید می‌آید، که در زیر به تشریح آنها می‌پردازیم:

- سیستم WDM یکطرفه^۱:

در این نوع سیستم مطابق شکل (۲۸) ارسال طول موجهای نوری در فیبر فقط در یک جهت امکان پذیر است. از این رو برای برقراری یک سیستم ارسال و دریافت نوری می‌بایست از دو سیستم WDM و دو فیبر نوری به صورت موازی استفاده شود.

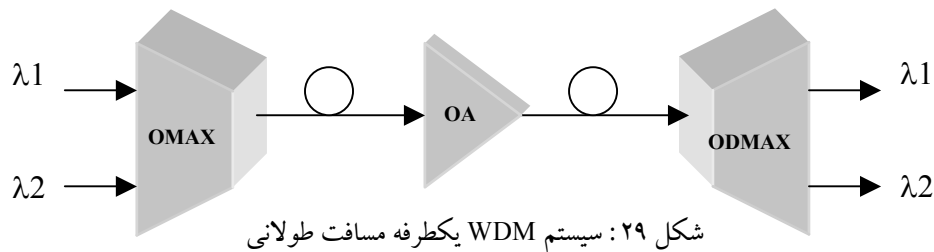


شکل ۲۸: سیستم WDM یکطرفه

به علت یکطرفه بودن این سیستم استفاده از آن در سیستمهای مسافت طولانی مناسب است. زیرا برای تقویت سیگنالهای ارسالی بروی فیبر در مسافتهای طولانی میتوان بدون نیاز به تجهیزات

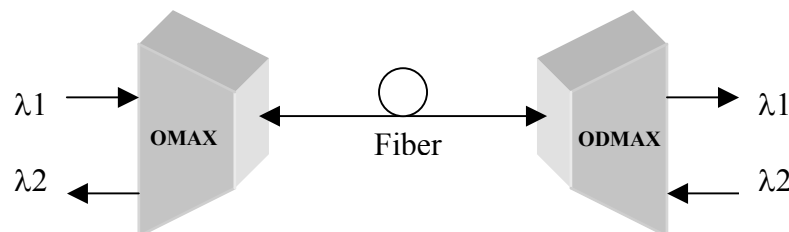
^۱ Uni-Direction

اضافی، از تقویت کننده‌های نوری بین خط^۱ استفاده کرد. نمایی از سیستم WDM مسافت طولانی به همراه تقویت کننده بین خط در شکل (۲۹) آورده شده است.



- سیستم WDM دوطرفه^۲ با یک فیبر:

در این نوع از سیستم مطابق شکل (۳۰) ارسال طول موجها در فیبر در دو جهت صورت می‌پذیرد. در این سیستم تنها توسط یک فیبر می‌توان یک لینک ارسال و دریافت برقرار کرد. کاربرد چنین سیستمی عموماً در سیستمهای انتقال مسافت کوتاه^۳ که نیازی به تقویت سیگنال نوری نیست، توصیه می‌شود.

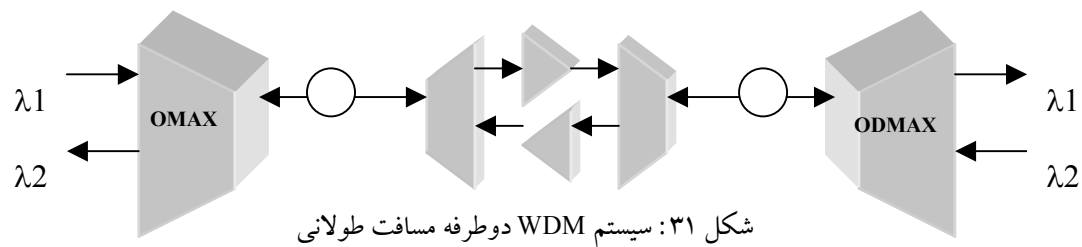


برای استفاده از سیستم WDM دوطرفه با یک فیبر برای مصارف مسافت طولانی نیاز است که، حتماً طول موجهای ارسال و دریافت هر یک در یک محدوده باشند، و در هر فاصله‌ای که نیاز به تقویت سیگنال نوری وجود داشته باشد. توسط واحد دی‌مالتی‌پلکسر نوری دو دسته طول موجهای ارسال و دریافت از یکدیگر جدا شوند و به دو تقویت کننده نوری مجزا اعمال شوند و سپس توسط واحد مالتی‌پلکسر نوری مجدداً این دو دسته طول موج با هم ادغام شده و روی یک فیبر منتقل شوند. شکل (۳۱) نمایی از این روش را نشان می‌دهد.

^۱ In-line Optical Amplifier

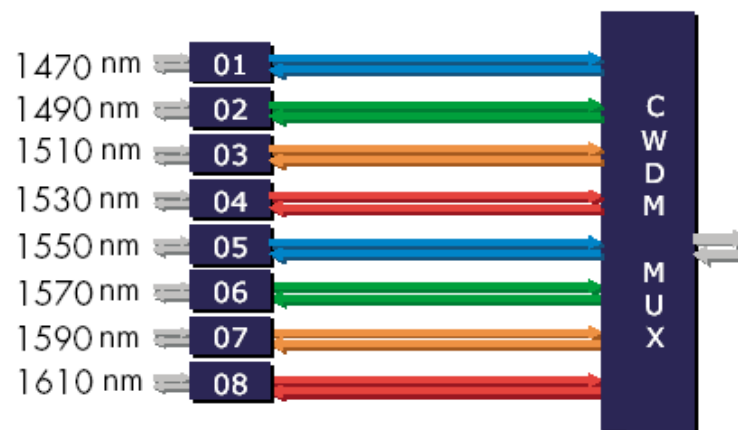
^۲ Bi-Direction

^۳ Short-Haul



۲.۵. CWDM

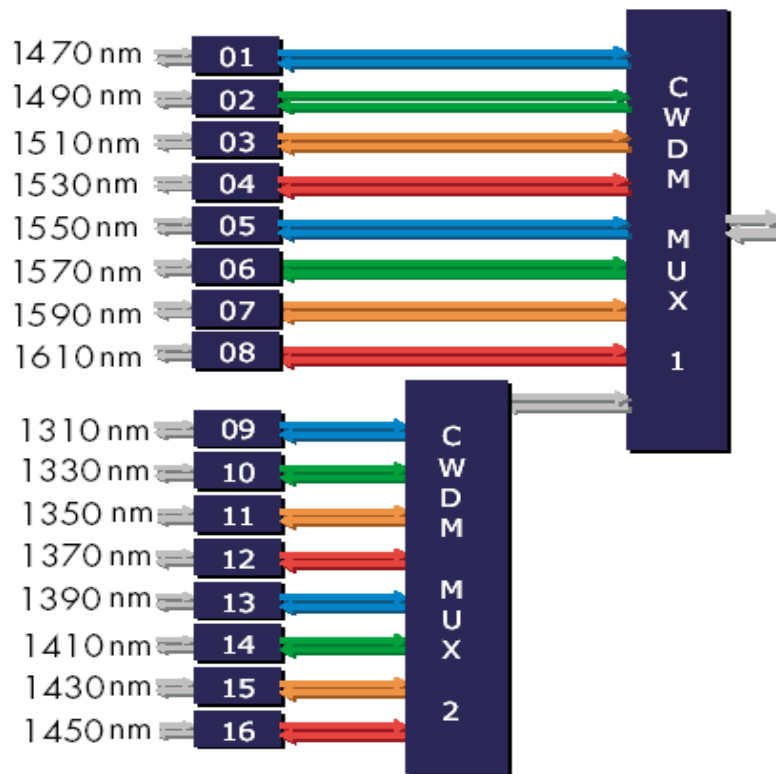
در تکنولوژی CWDM^۱ مالتی پلکس تقسیم طول موج زمخت، ظرفیت انتقال فیبر نوری چهار، هشت و یا شانزده برابر می شود و در این سیستمها چندین کانال نوری با فاصله 20 nm با هم ترکیب می شوند. سیستمهای CWDM هشت کاناله طبق استاندارد ITU-T G694.2 در دو محدوده طول موجی بین 1470 nm ~ 1610 nm و 1310 nm ~ 1450 nm با فاصله طول موج 20 nm قرار دارند. شکل (۳۲) نمونه ۸ کاناله از این سیستمها را در باند یک نشان می دهد.



شکل ۳۲: سیستم CWDM ۸ کاناله

برای استفاده از کل دو باند طول موج میتوان با ترکیب این دو دسته طول موج ظرفیت سیستمهای CWDM را حداکثر به ۱۶ کانال رساند. شکل (۳۳) ساختار CWDM ۱۶ کاناله را نشان می دهد.

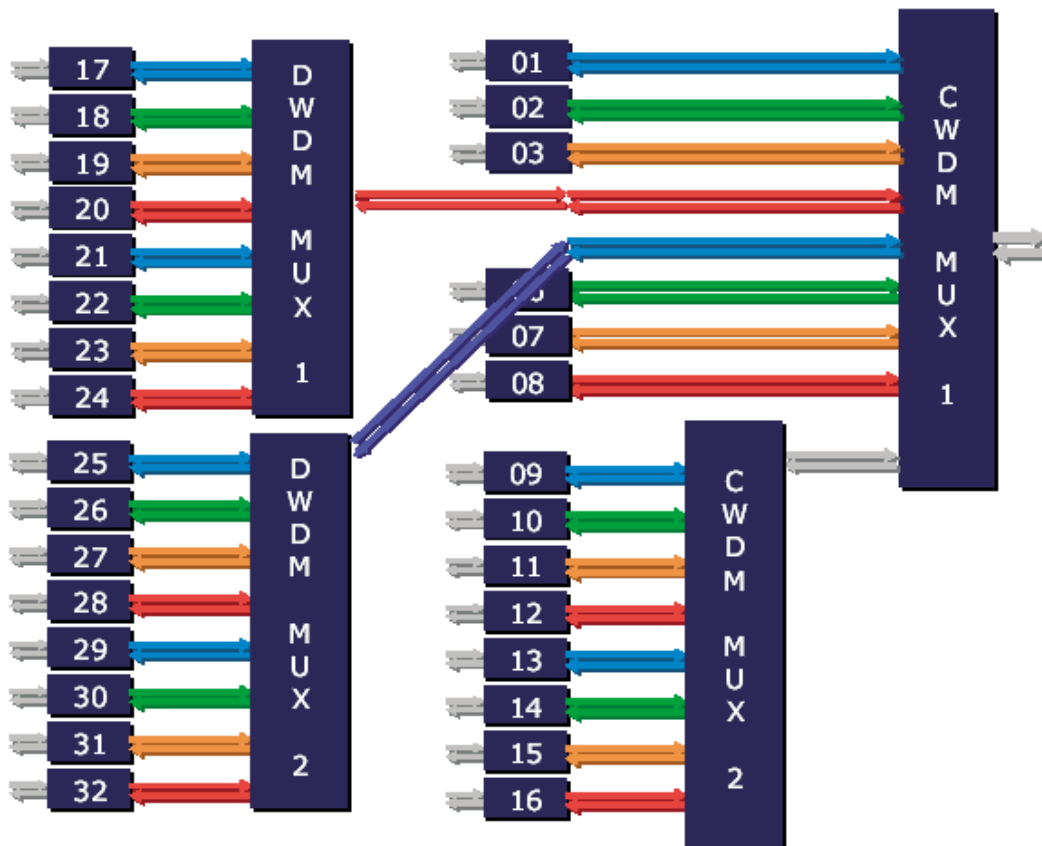
^۱Coarse WDM



شکل ۳۳: سیستم CWDM ۱۶ کاناله

قابلیت انعطاف این تکنولوژی این امکان را می دهد که برای بیشتر کردن ظرفیت انتقال سیستم، تکنولوژی DWDM را با این سیستم ترکیب کرد. چون سیستمهای DWDM در محدوده طول موجی 1550 nm هستند. مطابق شکل (۳۴) در این روش می توان بجای هر یک از دو کانال 1530 nm و 1550 nm از سیستم CWDM، ۸ کانال DWDM قرار داد. که با این ترکیب می توان به ظرفیت ۳۰ کانال با تکنیک DWDM روی CWDM¹ رسید. چنین ساختارهایی از سال ۲۰۰۰ مورد توجه قرار گرفته اند و محصولاتی بر این اساس از سال ۲۰۰۱ به بعد در اروپا، آسیا و آمریکا عرضه شده اند [۱۷].

¹ DWDM over CWDM



شکل ۳۴: تکنیک DWDM روی CWDM

کاربردهای این تکنولوژی در سیستمهای انتقال بین شهری، مسافت کوتاه و اترنت^۱ می باشد. از مزایای این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سادگی ساخت
- قیمت ارزان
- عدم نیاز به لیزرهای با پهنای طیف باریک
- عدم نیاز به لیزرهای با پایداری طول موج بالا
- و از معایب این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- افزایش پهنای باند در این سیستمها محدود است.
- امکان استفاده از یک تقویت کننده نوری برای کل طول موجهای نوری وجود ندارد.
- قابلیت توسعه ندارند.

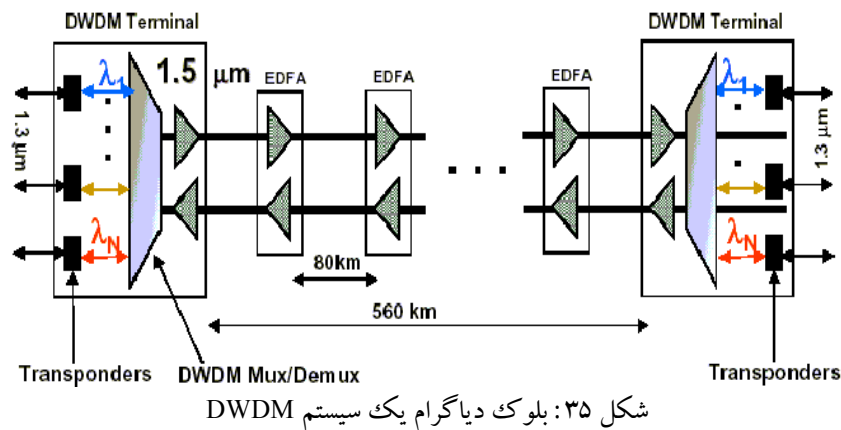
^۱ Ethernet

۳.۵ DWDM

در تکنولوژی DWDM¹ تقسیم طول موج با چگالی زیاد، ظرفیت انتقال فیبر با ترکیب طولهای موجهای مختلف در پنجره 1510 nm، چندین برابر افزایش می یابد و با استفاده از تقویت کننده های نوری فاصله انتقال طولانی را می پوشاند. در این روش از طول موجهای پنجره 1310 nm استفاده نمی شود، علت آن این است که تقویت کننده های نوری مرسوم تقویت کننده های EDFA هستند و این تقویت کننده های نوری فقط قادر به تقویت طول موجهای نوری در محدوده پنجره 1510 nm می باشند. تصویری از یک سیستم DWDM در شکل (۳۵) آورده شده است. برای تقویت سیگنال در اثر افت فیبر در فواصل طولانی، به علت اینکه کلیه طول موجها در محدوده 1510 nm هستند. می توان توسط واحدهای تقویت کننده EDFA مستقیماً سیگنالهای نوری را تقویت کرد. در غیر این صورت لازم بود ابتدا کانالهای نوری از یکدیگر مجزا شده و به سیگنال الکتریکی تبدیل شوند و سپس تقویت الکتریکی روی تک تک کانالها صورت گیرد و باز به سیگنال نوری تبدیل شده و در نهایت با یکدیگر ترکیب شوند. این فرایند بسیار پیچیده و پرهزینه است که با استفاده از تقویت کننده های EDFA در سیستمهای DWDM این نیاز مرتفع شده است.

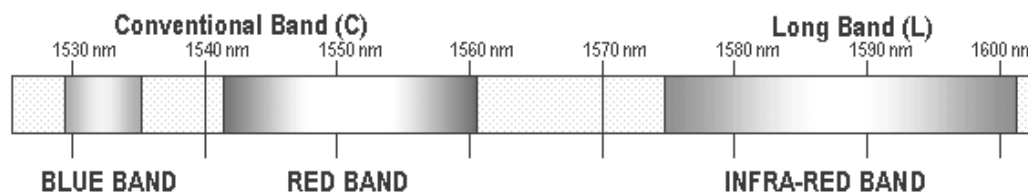
چون ورودی سیستم DWDM عموماً تجهیزات SDH است، ازاینرو طول موج ورودی به سیستم طول موج 1.3 μm است. پس بایست در ابتدا طول موج 1.3 μm توسط واحدهای ترانسپوندر به طول موجهای مورد نظر در پنجره 1.5 μm تبدیل شوند. سپس توسط واحد مالتی پلکسر نوری کلیه طول موجها با هم ترکیب و بروی فیبر ارسال شوند.

¹Dense WDM



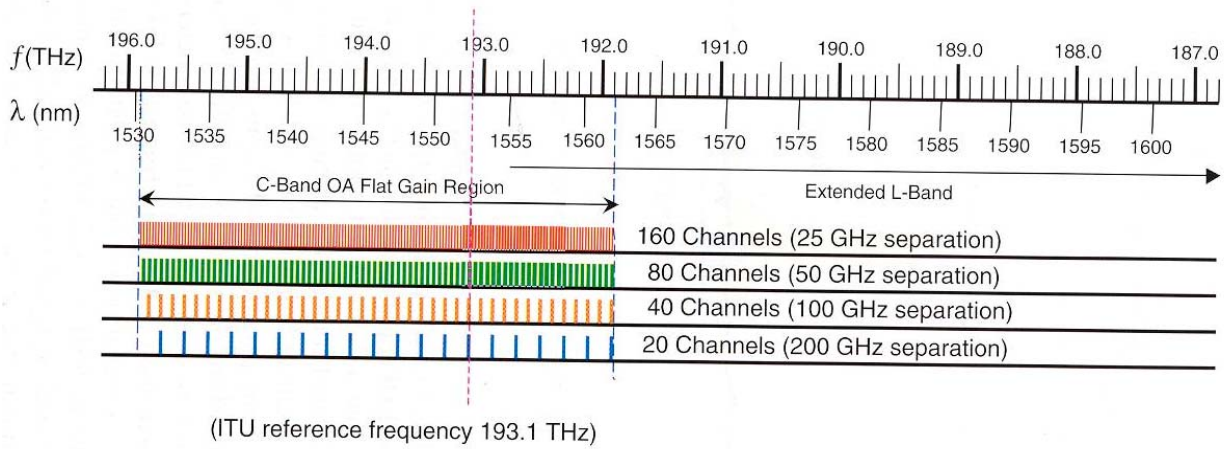
سیستمهای DWDM به دو باند تقسیم می شوند: باند C و باند L. هر باند در محدوده کاری خاصی استفاده می شود. مطابق شکل (۳۶) محدوده طول موج هر یک از این باندها عبارتند از:

- باند C آبی: طول موجهای 1529 nm الی 1536 nm
- باند C قرمز: طول موجهای 1542 nm الی 1561 nm
- باند L مادون قرمز: طول موجهای 1575 nm الی 1602 nm



فرکانسهای مرکزی سیستم DWDM

تعداد کانالها، طول موج هر کانال و فاصله بین کانالها در سیستمهای DWDM بر اساس استاندارد ITU-T G692 مشخص شده است. این تقسیم بندی با فواصل 50 GHz، 100 GHz، 200 GHz و 25GHz در شکل (۳۷) برای باند C نشان داده شده است



شکل ۳۷: استاندارد سیستمهای DWDM با فواصل متفاوت

در جدول (۱) طول موج و فرکانس هر کانال برای دو حالت 50 GHz و 100 GHz در باند C، از طول موج (1528.77 nm (196.10 THz تا طول موج (1560.61 nm (192.1 THz آورده شده است.

جدول ۱: فرکانسهای مرکزی مطابق با استاندارد ITU-T G692

Number of Channel	Center Wavelength (nm)	100 GHz Spacing	50 GHz Spacing
1	1528.77	196.1	196.1
2	1529.16		196.05
3	1529.55	196.0	196.0
4	1529.94		195.95
5	1530.33	195.9	195.9
6	1530.72		195.85
7	1531.12	195.8	195.8
8	1531.51		195.75
9	1531.90	195.7	195.7
10	1532.29		195.65
11	1532.68	195.6	195.6
12	1533.07		195.55
13	1533.47	195.5	195.5
14	1533.86		195.45
15	1534.25	195.4	195.4
16	1534.64		195.35
17	1535.04	195.3	195.3
18	1535.43		195.25
19	1535.82	195.2	195.2
20	1536.22		195.15
21	1536.61	195.1	195.1
22	1537.00		195.05
23	1537.40	195.0	195.0
24	1537.79		194.95
25	1538.19	194.9	194.9
26	1538.58		194.85
27	1538.98	194.8	194.8
28	1539.37		194.75
29	1539.77	194.7	194.7
30	1540.16		194.65
31	1540.56	194.6	194.6
32	1540.95		194.55
33	1541.35	194.5	194.5
34	1541.75		194.45
35	1542.14	194.4	194.4
36	1542.54		194.35
37	1542.94	194.3	194.3
38	1543.33		194.25
39	1543.73	194.2	194.2
40	1544.13		194.15
41	1544.53	194.1	194.1
42	1544.92		194.05
43	1545.32	194.0	194.0
44	1545.72		193.95
45	1546.12	193.9	193.9
46	1546.52		193.85
47	1546.92	193.8	193.8
48	1547.32		193.75

ادامه جدول ۱: فرکانسهای مرکزی مطابق با استاندارد G692

Number of Channel	Center Wavelength (nm)	100 GHz Spacing	50 GHz Spacing
49	1547.72	193.7	193.7
50	1548.11		193.65
51	1548.51	193.6	193.6
52	1548.91		193.55
53	1549.32	193.5	193.5
54	1549.72		193.45
55	1550.12	193.4	193.4
56	1550.52		193.35
57	1550.92	193.3	193.3
58	1551.32		193.25
59	1551.72	193.2	193.2
60	1552.12		193.15
61	1552.52	193.1	193.1
62	1552.93		193.05
63	1553.33	193.0	193.0
64	1553.73		192.95
65	1554.13	192.9	192.9
66	1554.54		192.85
67	1554.94	192.8	192.8
68	1555.34		192.75
69	1555.75	192.7	192.7
70	1556.15		192.65
71	1556.55	192.6	192.6
72	1556.96		192.55
73	1557.36	192.5	192.5
74	1557.77		192.45
75	1558.17	192.4	192.4
76	1558.58		192.35
77	1558.98	192.3	192.3
78	1559.39		192.25
79	1559.79	192.2	192.2
80	1560.20		192.15
81	1560.61	192.1	192.1

توسعه تکنولوژی و بهبود تولید قطعات مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری باعث توسعه تعداد کانالهای فوق می گردد. فرکانسهای جدید از رابطه زیر بدست می آید:

$$F = 193.1 \pm 0.1 \text{ m THz}$$

که 193.1 THz فرکانس مرکزی و m عدد صحیح است. اگر فاصله بین کانالها 100 GHz، 200 GHz و یا 400 GHz باشد، فرکانس مرکزی کانالها طبق جدول فوق تعیین می شود. معمولاً در انتخاب کانالها، فرکانس (نه طول موج) بیان می شود؛ که این امر به این دلیل است که مواد

گوناگون فرکانس نوری مشخصی را انتشار می دهند، که می تواند بعنوان نقطه مرجع بکار رود. در ضمن فرکانس ثابت است ولی طول موج تحت تأثیر ضریب شکست مواد قرار می گیرد. سیستمهای WDM از نظر فاصله انتقال به سه دسته مسافت طولانی^۱، مسافت متوسط و مسافت کوتاه^۲ تقسیم می شوند. [۱۸]

سیستم مسافت طولانی

در این سیستم که برای انتقال اطلاعات در مسافتهای طولانی مثل: بین شهری، بین کشورها، بین قاره ها و از زیردریا استفاده می شود. در این سیستمها به علت طولانی بودن مسیر به چندین مرحله تقویت سیگنال نیاز است. تقویت سیگنال نوری توسط واحدهای تقویت کننده نوری EDFA در بین خط انتقال انجام می شود. استفاده از تقویت کننده های نوری باعث می شود که تعداد زیادی از تکرار کننده های دیجیتال بین مسیر حذف شوند. سیستمهای WDM مسافت طولانی با ترکیب تقویت کننده های مختلف در فواصل مختلف و در نرخ بیت های مختلف به صورتهای زیر بکار می روند [۱۹]:

STM-16, 2.5 Gbps

- 8×22 dB for 640km (@ 0.275 dB/km)
- 5×25 dB for 455km (@ 0.275 dB/km)
- 4×30 dB for 436km (@ 0.275 dB/km)
- 2×33 db for 240km (@ 0.275 dB/km)

STM-64, 10 Gbps

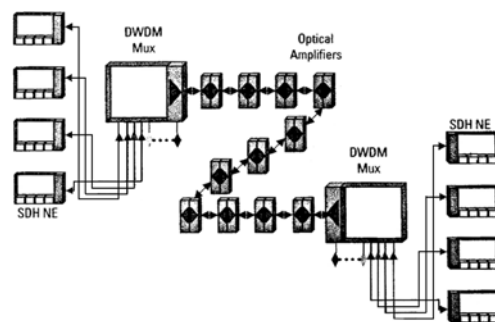
- 7×22 dB for 560km (@ 0.275 dB/km)
- 5×25 dB for 455km (@ 0.275 dB/km)
- 3×30 dB for 327km (@ 0.275 dB/km)
- 2×33 dB for 240km (@ 0.275 dB/km)

در مثالهای بالا منظور از " 8×22 dB for 640km (@ 0.275 dB/km) " این است که برای دسترسی به مسافت ۶۴۰ کیلومتر باید از هشت تقویت نوری با ضریب تقویت 22 dB در فواصل ۸۰ کیلومتر استفاده کرد، فیبر نوری استفاده شده هم از نوع اتلاف 0.275 dB به ازای هر کیلومتر است.

¹ Long Haul

² Short Haul

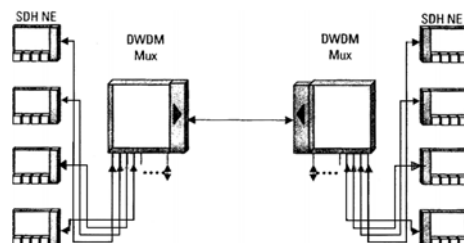
با استفاده از تقویت کننده‌های نوری در فواصل معینی بین دو نقطه در یک لینک نقطه به نقطه امکان انتقال در مسیرهای طولانی فراهم می‌گردد. مطابق شکل (۳۸) در مسیرهای انتقال طولانی با توجه به بهره تقویت کننده‌ها و تلفات مسیر، امکان استفاده از چندین تقویت کننده نوری وجود دارد. در صورت عدم بازسازی سیگنال اطلاعات در مسیر، تعداد تقویت کننده‌ها و در نتیجه طول مسیر انتقال محدود و در صورت بکارگیری مدارات بازسازی دیتا و کلاک امکان انتقال تا چند هزار کیلومتر وجود دارد.



شکل ۳۸: لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال طولانی

سیستم مسافت متوسط

مطابق شکل (۳۹) اگر سیستم DWDM مجهز به بوستر نوری و پیش‌تقویت کننده نوری باشد، بدون استفاده از هرگونه تقویت کننده‌ای در بین خط انتقال، ایجاد مسیرهای طولانی‌تری امکان پذیر می‌شود. در صورت استفاده صحیح و بکارگیری ادواتی با کیفیت مناسب و با توجه به تعداد کانال و نرخ بیت هر کانال، امکان انتقال تا ۴۰۰ کیلومتر می‌باشد.

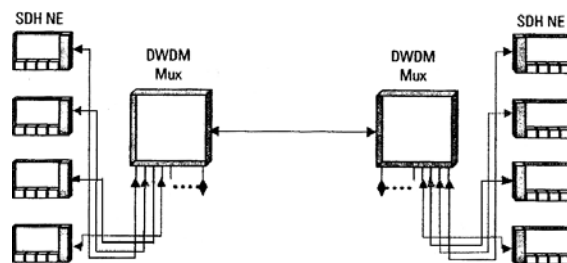


شکل ۳۹: لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال متوسط

سیستم مسافت کوتاه

سیستمهای مسافت کوتاه در کاربرهای درون شهری استفاده می‌شود، و در این سیستمها به دلیل کوتاه بودن فاصله نیازی به تقویت کننده بین خط ندارند. در سیستمهای DWDM درون شهری با توجه با بالا رفتن ظرفیت انتقال و پهنای باند مخابراتی می‌توان سرویسهای Lased Lambda که معادل Lased Line در سیستمهای قدیمی است، ارائه کرد. در سرویس Lased Line یک خط 2Mbps بجای سرویس خط تلفن معمولی 64 kbps به استفاده کننده ارائه می‌شود. ولی در سرویس Lased Lambda می‌توان یک طول موج نوری با حداکثر نرخ بیت تجهیزات سیستم WDM مثلاً STM-64 به استفاده کننده ارائه کرد.

در لینکهای نوری نقطه به نقطه جهت مسیرهای کوتاه نیازی به تقویت کننده نوری نمی‌باشد؛ بنابراین طول مسیر انتقال توسط توان خروجی سیستم و تلفات ادوات موجود در مسیر محدود می‌گردد. در تجهیزات SDH این طول به ۸۰ کیلومتر محدود می‌گردد (شکل ۴۰). ایجاد لینکهای DWDM در داخل شهرهای بزرگ جزو مسیرهای کوتاه بشمار می‌رود.



شکل ۴۰: لینک نقطه به نقطه برای مسیر انتقال کوتاه

در جدول ۲ مقایسه‌ای بین سیستمهای مسافت طولانی، شهری و نقاط دسترسی از نظر میزان مسافت، توپولوژی، نوع فیبر، تعداد کانالهای مرسوم، پهنای باند قابل دسترس و ... شده است [۲۰].

جدول ۲: مشخصات سیستمهای مسافت طولانی، شهری و نقاط دسترسی

Access	Metro	Long-Haul	Characteristics
< 20	100 - 1000	400 to 4000	Span (km)
Ring/Linear	Mesh/Ring	PtP/Mesh	Fiber topology
MMF/SMF	NDSF/SMF	NDSF/SMF	Fiber Type
Coarse-medium	Medium (40)	Very high (>160)	OCh density
< 10 Gbps	< Tbps	Several Tbps	Aggregate BW capacity
Linear	Ring/hub	Linear/mesh	Traffic topology
Service prot. 1:1/1+1 trunk side	Fiber/Service prot. Single/dual/quad ring	Rerouting (mesh) 1:1/1+1 (PtP)	Protection strategy
No	?	Yes	FEC required
No	Yes	Yes	Supervisory Channel
No	SOA	OFA	Signal Amplification
No	No	Yes; DC, PDC	Require Compensation
Slow	Medium	Very fast	Switching speed
Very low	Low	High	Cost

PtP=Point to Point

DC=Dispersion Compensation

PDC=Polarization Dispersion Compensation

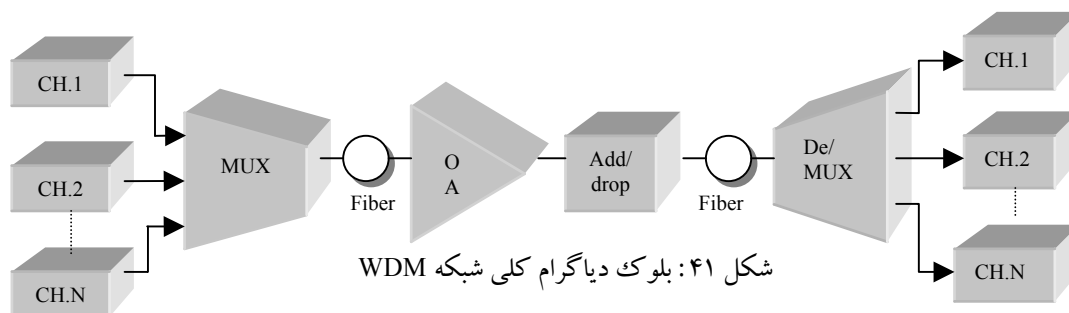
FEC=Forward Error Correction

OFA=Optical Fiber Amplifier

SOA=Semiconductor Optical Amplifier

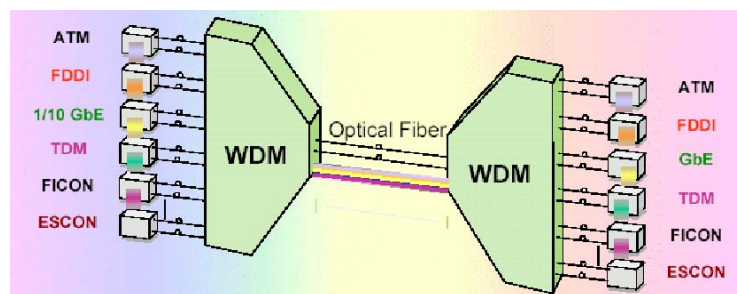
۶. توپولوژیهای شبکههای WDM

حال با شناخت روشنتری که از تکنولوژی WDM داریم، قدم بعدی بکارگیری این روش در شبکههای مخابراتی مدرن است (شکل ۴۱).



سیستمهای WDM یک سیستم مستقل از نوع اطلاعات و نوع فرمت سیگنالهای ورودی است. از این رو به چنین سیستمی، سیستم شفاف¹ گفته می شود. مطابق شکل (۴۲) ورودی یک سیستم WDM سیگنالهای مختلف نوری با فرمتها و نرخ بیتهای متفاوت می تواند باشد، نظیر:

- Ethernet با نرخ بیتهای 10 Gbps، 1 Gbps، 100 Mbps، 10 Mbps
- FDDI² با نرخ بیت 100 Mbps
- ESCON³ با نرخ بیت 200 Mbps
- FC⁴ با نرخ بیت 1.062 Gbps
- ATM⁵ با نرخ بیتهای 155 Mbps، 622 Mbps، 2.5 Gbps، ...
- PDH⁶ با نرخ بیتهای 34 Mbps، 140 Mbps، 565 Mbps، ...
- SONET/SDH⁷ با نرخ بیتهای 155 Mbps، 622 Mbps، 2.5 Gbps، ...
- پروتکلهای اختصاصی مختلف دیگر



شکل ۴۲: سیستم WDM با ورودیهای با پروتکلهای مختلف

هدف از طراحی یک سیستم WDM مناسب از نقطه نظر عملی عبارت است از: [۲۱-۲۲]

- کارایی بالا: تضعیف کم، همشنوایی کم، ...
- پایداری بالا، تحت تغییرات شرایط محیطی مثل تغییر دمایی و لرزشهای مکانیکی
- احتمال کاهش قیمت سیستم

¹ Transparent

² Fiber Distributed Data Interface

³ Enterprise System Connection

⁴ Fiber Channel

⁵ Asynchronous Transfer Mode

⁶ Pleisiochronous Digital Hierarchy

⁷ Synchronous Optical Network/ Synchronous Digital Hierarchy

- قابلیت تغییر کاربرد: قابل استفاده در هر نوع سیستم نوری
- کم حجم و قابل حمل بودن سیستم

بطور کلی شبکه‌های WDM دارای چند نوع توپولوژی هستند:

- توپولوژی نقطه به نقطه^۱
- توپولوژی حلقوی^۲
- توپولوژی ستاره^۳
- توپولوژی باس^۴
- توپولوژی درختی^۵
- توپولوژی شبکه گسترده (WAN)^۶
- توپولوژی شهری^۷

هر توپولوژی دارای کاربردی خاص است، و در آنها ادوات نوری متفاوتی بکار می‌رود. که در ادامه به تشریح مختصری از آنها می‌پردازیم.

۱,۶. توپولوژی نقطه به نقطه

توپولوژی نقطه به نقطه در شبکه‌های WDM که دارای مسیرهای طولانی، سرعت‌های بالا (10-40 Gbps)، پهنای باند بزرگ (در حدود چند Tbps)، امنیت بالای سیگنال، ضریب اطمینان بالا و... دارند، بکار گرفته می‌شود، مطابق شکل (۴۳). فاصله بین فرستنده و گیرنده ممکن است تا چند صد کیلومتر برسد، در اینصورت تعدادی تقویت کننده نوری بین دو نقطه مسیر بکار برده می‌شود. شبکه‌های نقطه به نقطه‌ای که دارای OADM می‌باشند، قابلیت افزودن یا برداشتن یک طول موج را در طول مسیر فراهم می‌کنند. تعداد کانالها، فاصله بین کانالها، نوع فیبر، روش

¹ point- to- point

² mesh

³ star

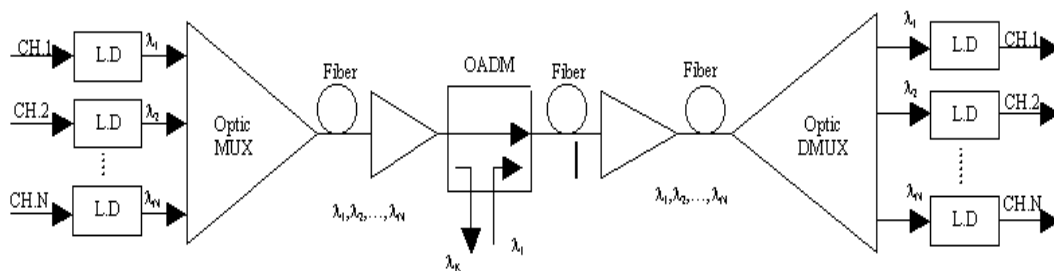
⁴ Bus

⁵ Tree

⁶ Wide Area Network

⁷ Metropolitan Network

مدولاسیون سیگنال و انتخاب نوع قطعات از جمله پارامترهای مهم در محاسبه بودجه طراحی شبکه WDM می باشند.



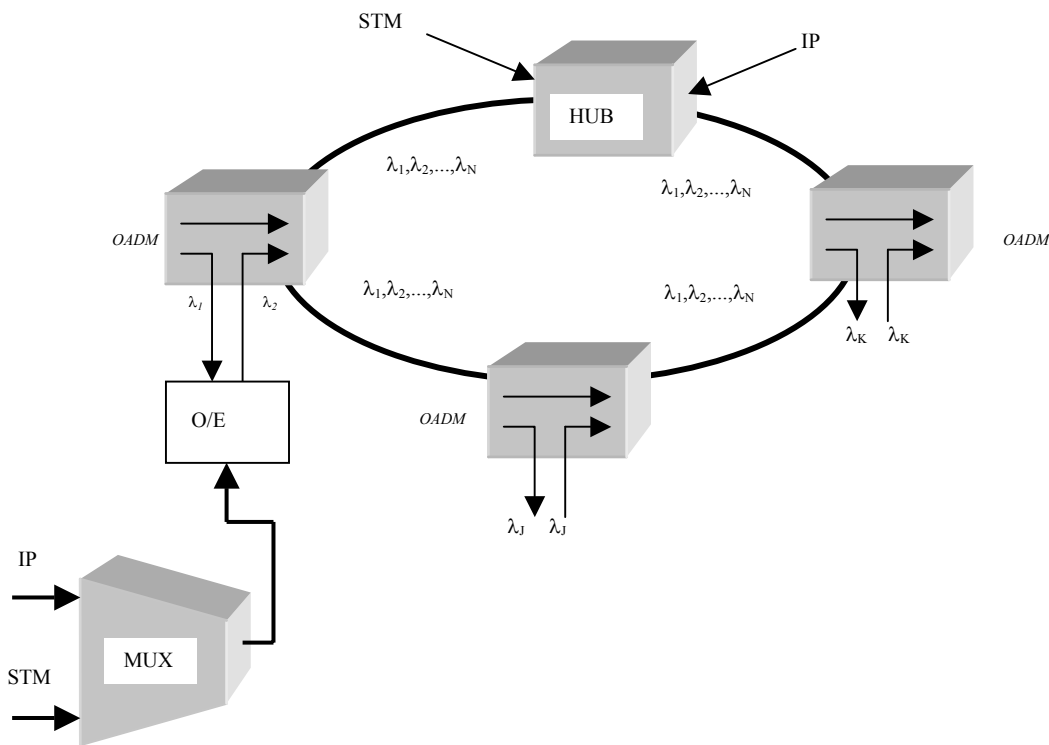
شکل ۴۳: شبکه WDM با توپولوژی نقطه به نقطه

۲.۶. توپولوژی حلقوی

یک نوع دیگر از ساختارهای اتصال شبکه‌های WDM توپولوژی حلقوی^۱ است. که در این ساختار کلیه نقاط شبکه به صورت حلقوی توسط فیبر به یکدیگر متصل شده‌اند. مطابق شکل (۴۴) در برخی از این شبکه‌ها برای حفاظت و امنیت، از دو فیبر در کل مسیر شبکه استفاده شده است. کاربرد این توپولوژی در ایجاد شبکه‌های محلی یا کلان شهرها در حدود چند ده کیلومتر است. در این شبکه‌ها از چند طول موج استفاده می‌شود. نرخ بیت هر کانال طول موج ممکن است 622 Mbps یا کمتر، یا 1.25 Gbps و حتی بیشتر باشد. یکی از گره‌های شبکه ایستگاه هاب^۲ است، که این واحد وظیفه تولید، مدیریت و انتقال همه طول موجها را بعهده دارد. هاب و هر ایستگاه از شبکه دارای بخش OADM برای افزودن و برداشتن طول موج می‌باشد. ارتباط شبکه فوق با شبکه‌های دیگر توسط واحد هاب صورت می‌گیرد.

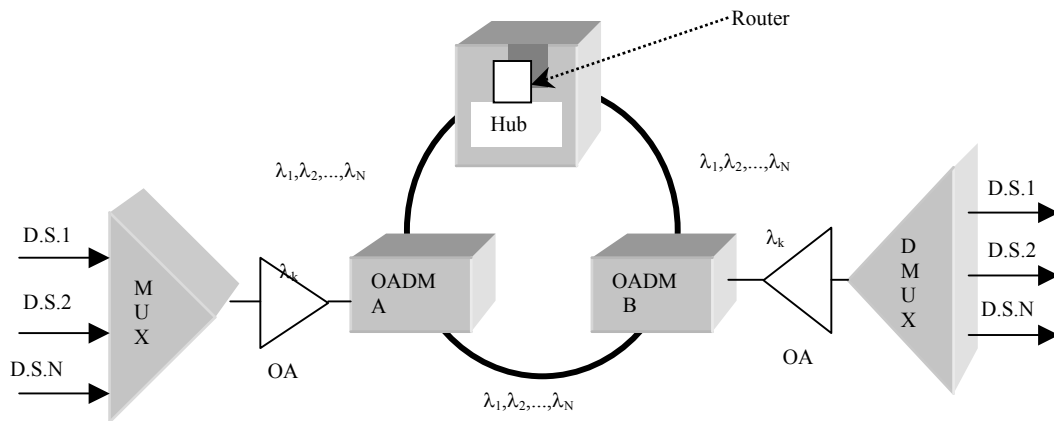
¹ Ring

² Hub Station



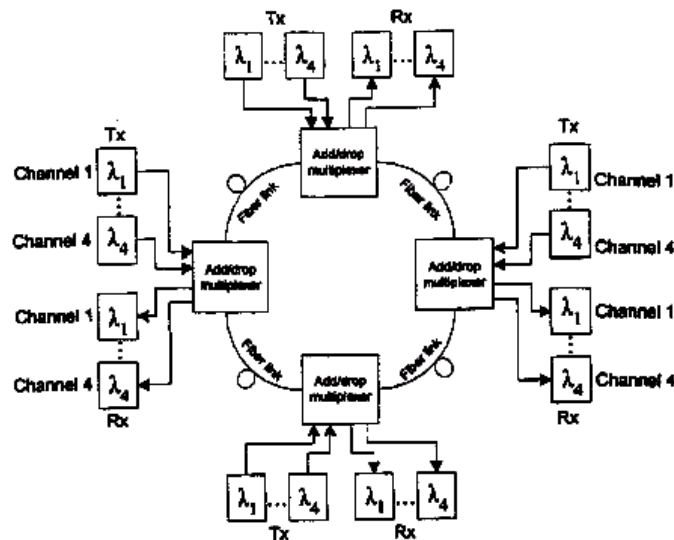
شکل ۴۴: شبکه WDM با توپولوژی حلقوی

در شکل (۴۵) توپولوژی حلقوی ساده‌ای با یک هاب و دو ایستگاه A و B حاوی چندین کانال نوری نشان داده شده است.



شکل ۴۵: طرح ساده‌ای از توپولوژی حلقوی

در شکل (۴۶) طرحی از شبکه WDM دو طرفه با توپولوژی حلقوی نشان داده شده است.

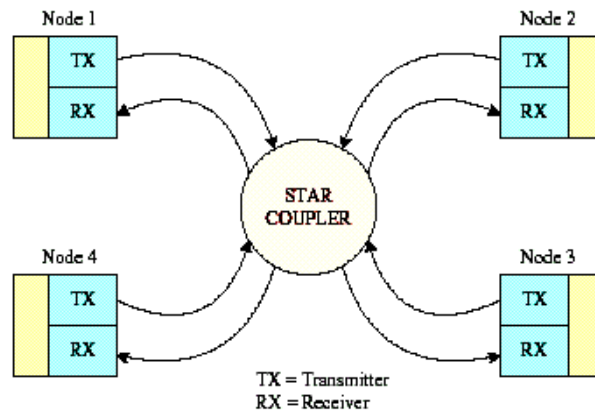


شکل ۴۶: طرحی از شبکه WDM دو طرفه با توپولوژی حلقوی

۳.۶. توپولوژی ستاره

در توپولوژی ستاره^۱ هر ایستگاه از طریق دو مسیر فیزیکی به کوپلر ستاره متصل می‌شود. مطابق شکل (۴۷) فرستنده هر ایستگاه، اطلاعات نوری را بروی یک طول موج ارسال می‌کند. اطلاعات نوری ارسالی از چندین ایستگاه توسط واحد کوپلر ستاره ترکیب و با توان مساوی برای کلیه ایستگاههای گیرنده از طریق فیبر ارسال می‌شود. هر ایستگاه گیرنده توسط فیلتر نوری طول موج خاصی را دریافت می‌کند. همچنین وقتی فرستنده در یک طول موج خاص مثلاً λ_1 اطلاعات را ارسال کند، چندین گیرنده می‌توانند بروی طول موج λ_1 تنظیم شوند، و اطلاعات ارسالی را برداشت کنند. با توجه به اینکه، کوپلرها دارای دو نوع فعال و غیرفعال هستند، توپولوژی ستاره نیز در دو نوع فعال یا غیر فعال است. توپولوژی غیرفعال بدلیل عدم نیاز به توان مصرفی بیشتر بکار گرفته می‌شود.

¹ Star



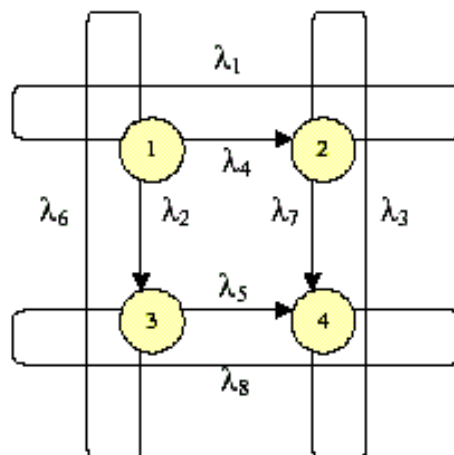
شکل ۴۷: توپولوژی ستاره

ارسال اطلاعات بین ایستگاه مبدأ و ایستگاه مقصد، به یکی از دو روش زیر انجام می گیرد:

Single hop

Multi hop

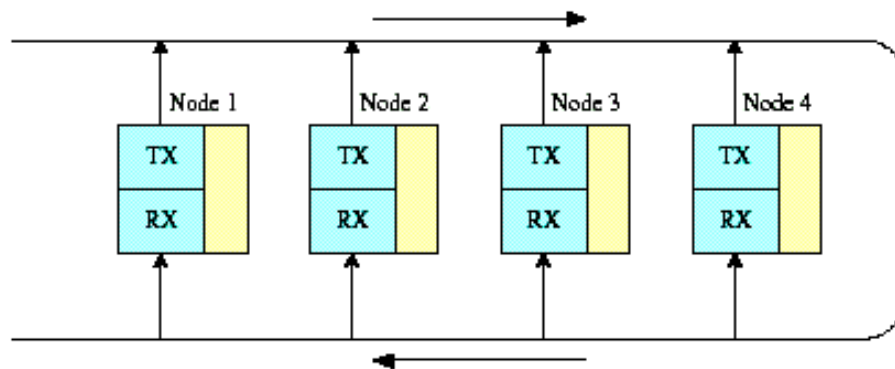
در single hop اطلاعات مستقیماً از مبدأ به مقصد ارسال می شود. که نیاز به یک ارتباط نقطه به نقطه برای هر زوج ایستگاه ارتباطی است. بر این اساس برای ارتباط صحیح مبدأ و مقصد باید بر روی یک طول موج کار کنند. در این روش فرستنده و گیرنده می توانند ثابت یا قابل تنظیم باشند. در روش Multi hop اطلاعات از ایستگاههای واسط عبور می کند، تا به مقصد برسد. بنابراین ارتباط بین دو ایستگاه از طریق کلیه ایستگاههای میانی شبکه صورت می گیرد (شکل ۴۸).



شکل ۴۸: یک نمونه از شبکه Multi hop

۴.۶. توپولوژی باس

در توپولوژی باس^۱ تمامی ایستگاههای شبکه به یک باس دو طرفه یا دو باس یکطرفه متصل هستند و ارتباطات ایستگاهها با هم و با خارج از شبکه از طریق همین باس مشترک برقرار می شود. مطابق شکل (۴۹) که ساختار این توپولوژی را نشان می دهد. اساس کار این توپولوژی به فرم دو باس یکطرفه نشان داده شده است. عمده ترین ضعف این شبکه ها تلفات باس می باشد که بدون بخش تقویت کننده، این عامل محدود کننده ای در تعداد ایستگاههای شبکه خواهد بود. از مزایای این روش مستقل بودن عملکرد شبکه از عملکرد سیستمها است بطوریکه اگر یک ایستگاه آسیب ببیند و از مدار خارج شود در عملکرد اجزای دیگر شبکه اختلالی ایجاد نمی شود و تنها ارتباطات با آن ایستگاه مختل می شود.



شکل ۴۹: توپولوژی باس

۵.۶. توپولوژی درختی

این ساختار مجموعه ای از توپولوژی های دیگر است که در شبکه های خیلی بزرگ عمومیت دارد. ساختار توپولوژی درختی^۲ که در شکل (۵۰) نشان داده شده است، برای ۶ ایستگاه نشان داده شده است. این توپولوژی در شبکه های LAN^۳ خیلی رایج نیست. اما تحت ملاحظاتی در شبکه های MAN^۴ بکار برده می شوند. از جمله ضعفهای این توپولوژی می توان به وابستگی شبکه

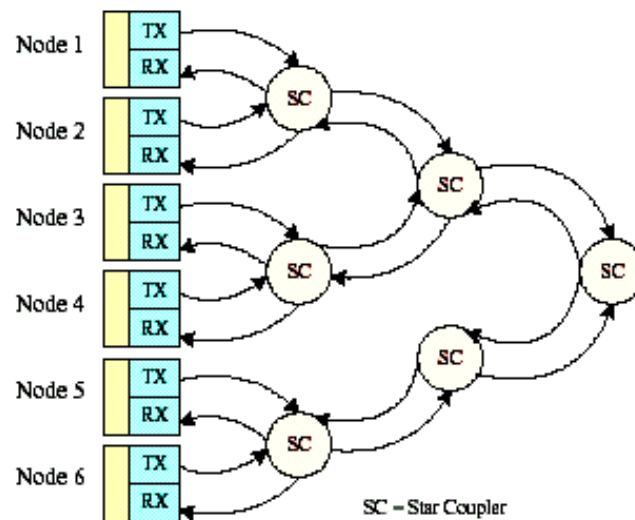
^۱ Bus topology

^۲ Tree Topology

^۳ Local Area Network

^۴ Metropolitan Area Network

به نقاط تماس اشاره کرد که با از کار افتادن یک مرکز SC ارتباطات ایستگاههایی که به آن مرکز متصل هستند مختل خواهد شد. از مزایای آن به قابلیت توسعه و اتصال مراکز مختلف به یکدیگر اشاره کرد.

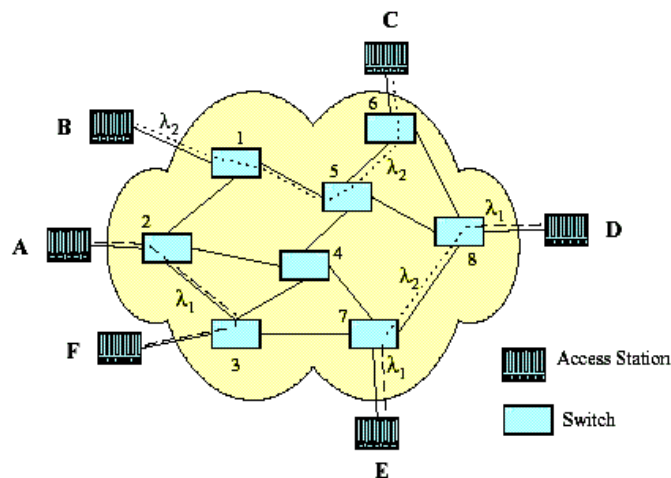


شکل ۵۰: توپولوژی درختی

۶.۶. توپولوژی شبکه‌های گسترده WAN

شبکه WAN شبکه‌های نوری روتر- طول موجی است. مطابق شکل (۵۱) شامل نقاط دسترسی^۱ و سوئیچ است که به شبکه ارتباطی فیبر متصل شده‌اند. نقاط دسترسی شامل فرستنده و گیرنده‌های قابل تنظیم هستند و نقاط سوئیچ شامل سوئیچ‌های نوری، تقویت کننده‌های نوری و مبدل‌های طول موج می‌باشند. در این توپولوژی ارتباط مراکز توسط سوئیچها انجام می‌شود و در صورت آسیب دیدن یک سوئیچ مدیریت سیستم می‌تواند مسیر دیگری را جایگزین کند.

¹ Access Nodes



شکل ۵۱: شبکه گسترده Wavelength-Routed Networks (WRNs)

مکانیزم اصلی ارتباط در این شبکه‌ها مسیر نوری^۱ است. مسیر نوری کانال ارتباطی تماماً نوری بین دو نقطه در شبکه است. نقاط سوئیچ در طول فیبر، مسیر نوری را تغییر می‌دهند و اگر لازم باشد، طول موج را هم تغییر می‌دهند. برای مثال در شکل فوق مسیر نوری بین نقاط A و F از طریق کانالی با طول موج λ_1 و بین B و C کانالی با طول موج λ_2 است. مسیر نوری بین نقاط A و F از طریق سوئیچ‌های ۲ و ۳ برقرار می‌شود. مسیر نوری بین نقاط B و C از طریق سوئیچ‌های ۱، ۵ و ۶ ایجاد می‌شود. از طرفی مسیر نوری بین نقاط D و E، از نقطه D تا سوئیچ ۸ با طول موج λ_1 و پس از تغییر طول موج به λ_2 در سوئیچ ۸ به سوئیچ ۷ منتقل شده و مجدداً در سوئیچ ۷ به طول موج λ_1 بازگردانده شده و به نقطه E می‌رسد.

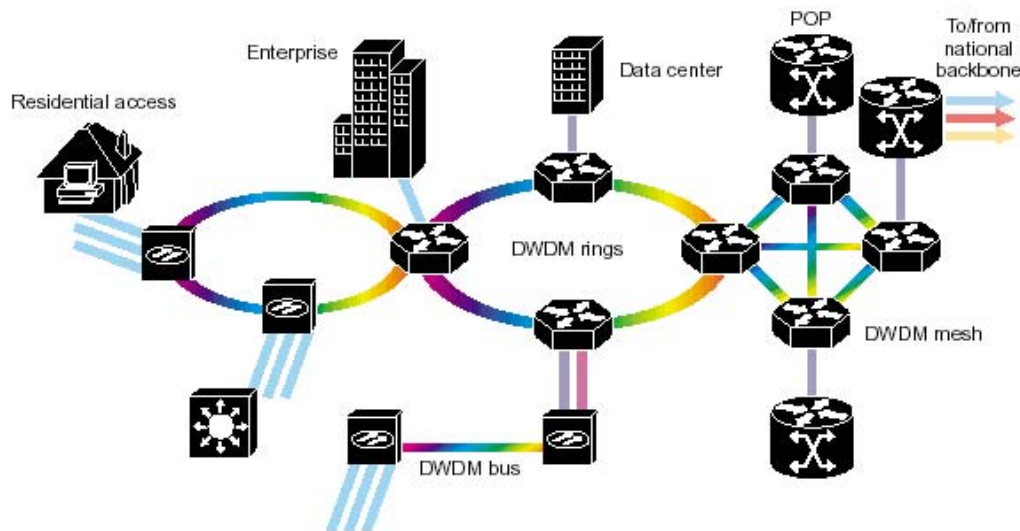
۷.۶. توپولوژی شهری

ترکیب توپولوژی‌های مختلف و اتصال مراکز سوئیچ، استفاده کنندگان و منابع اطلاعاتی در یک شهر به یکدیگر مطابق شکل (۵۲) تشکیل یک شبکه شهری^۲ را می‌دهد. در چنین شبکه‌های بزرگی مدیریت سیستم اهمیت زیادی دارد بطوریکه سیستم مدیریت همواره باید عملکرد شبکه شهری را تحت نظر داشته باشد و خطاهای احتمالی را گزارش دهد و حتی امکان قادر به برطرف کردن بلادرنگ آنها باشد. برای ارتباط بین مراکز بایستی مسیریابی مناسبی صورت دهد و در

^۱ Light path

^۲ Metropolitan Network

صورت وجود ترافیک زیاد و یا آسیب دیدن قیمتی از شبکه از مسیر دیگری ارتباط را برقرار کند و یا از مسیرهای حفاظتی تعبیه شده استفاده کند.



شکل ۵۲: نمای یک شبکه شهری

۷. محدودیتهای شبکههای WDM

بخاطر مزایای برجسته شبکههای WDM (مثل: سرعت و پهنای باند)، کاربرد آنها در ارتباطات مخابراتی، بطور نمایی در حال افزایش است. اما با این اوصاف عوامل محدود کنندهای در اینگونه شبکهها وجود دارد. از جمله این عوامل می توان موارد زیر را نام برد:

وقتی که یک سیگنال نوری DWDM از فرستنده توسط فیبر به سمت گیرنده ارسال می شود؛ بدلیل پدیدههای غیر خطی متعددی در سمت دریافت، سیگنال تضعیف شده و نرخ بیت خطا افزایش می یابد. طراح یک سیستم انتقال نوری بایستی این پدیدهها را در نظر داشته باشد، تا مطمئن شود که سیگنال در سمت گیرنده دارای کیفیت مناسب برای دریافت می باشد [۲۳]. مهمترین عوامل کاهش کیفیت سیگنال عبارتند از:

۱. کاهش سطح توان: جهت جبران کاهش سطح توان در یک لینک نوری از تقویت کنندههای نوری استفاده می شود. این نوع تقویت کنندهها بدون تبدیل الکترواپتیکی، تمامی طول موجهای روی فیبر را تقویت می کنند. این ادوات دارای معایبی همچون

عدم تقویت یکسان تمامی طول موجها، تغییر بهره در صورت تغییر دامنه سیگنال نور ورودی تقویت کننده، هستند.

۲. تغییر پهنای پالس: پدیده پاشندگی باعث فشرده شدن یا گسترده شدن پهنای پالس می شود. میزان این تغییر وابسته به عوامل متعددی از جمله نوع فیبر خط انتقال است. در صورتیکه یک پالس در اثر پاشندگی گسترده شود، امکان ترکیب دو بیت متوالی با یکدیگر و افزایش نرخ خطای بیت در سمت گیرنده است. برای کنترل این پدیده در طول لینک از regenerator استفاده می شود.

۳. تداخل سیگنال، طول موجهای مختلف با یکدیگر: محیط انتقال کاملاً غیر خطی فیبر علت اصلی این پدیده است؛ مثل: اثر افزایش سطح توان یک طول موج بر روی طول موجها دیگر، یا افزایش همشنوایی بین کانالها به جهت افزودن یک طول موج جدید. بطور خلاصه از جمله مهمترین ملاحظات در طراحی یک لینک نقطه به نقطه DWDM می توان به موارد زیر اشاره کرد:

نوع فیبر: برای انتقال اطلاعات در مسافت های طولانی با نرخ بیت بالا، فیبرهای پاشندگی جابجا شده^۱ (DSF) بهترین انتخاب است؛ اما بکارگیری فیبر DSF بدلیل پدیده FWM باعث مشکلاتی در جهت افزایش ظرفیت فیبر در آینده می شود. اگر در یک سیستم پاشندگی رنگی محدود نشده باشد، استفاده از فیبرهای استاندارد تک مد بهترین انتخاب است، زیرا چنین سیستمی دارای کمترین تلفات اثرات غیر خطی است. برای یک سیستم DWDM نرخ بیت بالا جهت مسافت طولانی فیبرهای با پاشندگی غیر صفر یک کاندید مناسب است.

توان فرستنده و فاصله بین تقویت کننده ها: حداکثر توان هر کانال توسط، توان اشباع تقویت کننده نوری؛ اثرات غیر خطی و ملاحظات امنیتی تعیین می شود. از نقطه نظر اقتصادی ما خواستار حداکثر فاصله بین طبقات تقویت کنندگی و حداقل بودن تعداد این طبقات هستیم.

انتخاب طول موجها: ITU استاندارد جهت انتخاب طول موجها برای استفاده در شبکه های DWDM تهیه کرده است. برای اینکه از عملکرد داخلی صحیح بین سیستم ها از جهات متفاوت مطمئن باشیم، ابتدا باید تصمیم بگیریم که آیا کانالهای استاندارد در فواصل فرکانسی یا طول موجی یکسان از یکدیگر قرار گیرند، یا نه؟

¹ Dispersion shifted fiber

کانالهایی که توسط ITU استاندارد شده‌اند؛ در فاصله 100 GHz (فاصله بین طول موجها 0.8 nm) از یکدیگر قرار دارند؛ که فرکانس مرکزی (1552.55 nm) 193.1 THz است. مهمترین تصمیم انتخاب یک مجموعه استاندارد از طول موجها برای استفاده در سیستمهای ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ کانال است، تا با یکدیگر کار کنند. به خاطر سیستمهای با ساختارهای متفاوت، انتخاب طول موجها در سیستمهای با تعداد کم کانال با سیستمهای با تعداد زیاد کانال متفاوت است. برای تعیین کانالها تنها فرکانس مرکزی کافی نیست؛ و بایستی میزان خطای ساخت و طول عمر سیستم نیز در نظر گرفته شود. انحراف فرکانسی باعث تشدید هم‌نشوایی و تلفات می‌شود؛ لذا فاصله بین کانالها باید به اندازه کافی باشد؛ و عبارت دیگر انحراف فرکانسی تابعی از فاصله بین کانالها است.

فناوری DWDM نیز همانند تکنولوژی‌های دیگر دارای مزایا و معایبی است. هدف اصلی از بکارگیری سیستمهای DWDM، قابلیت اعتماد و پایداری آنها در کل زمان استفاده است. آزمایش کیفی پارامترهای نوری و عملکرد سیستم از زمان ساخت قطعات تا یک سیستم یکپارچه، مهمترین عوامل برای اطمینان از مشخصات صحیح یک سیستم DWDM نصب و راه‌اندازی شده است تا عملکرد مناسبی برای چندین سال داشته باشد [۲۴].

اثرات غیر خطی فیبر

یکی از محدودیتهای مشخصات غیر خطی فیبر نوری است. از جمله این عوامل می‌توان به موارد: SPM، XPM، FWM، SRS و SBS اشاره کرد. این پدیده‌ها باعث تضعیف، اعوجاج و تداخل بین کانالهای مجاور می‌شود، که موجب محدودیت فاصله بین کانالها، کاهش حداکثر توان کانال و محدودیت حداکثر نرخ بیت می‌گردند. حال به تشریح این اثرات غیر خطی در شبکه‌های WDM می‌پردازیم.

SPM: این پدیده در اثر تغییر ضریب شکست فیبر نوری بوسیله توان سیگنال نوری ایجاد می‌شود. **SPM:** باعث پهن شدن طیف پالس می‌شود، چون تغییرات در فاز سیگنال باعث تغییرات فرکانس در اطراف فرکانس مرکزی سیگنال می‌شود. که باعث گسترده شدن پالس و لذا تأثیر بر روی حداکثر نرخ بیت می‌شود.

XPM: تغییر فاز یک سیگنال بر اثر تغییرات ضریب شکست فیبر بر اثر توان سیگنال نوری دیگر است. XPM ممکن است باعث گسترده‌گی نامتقارن طیف شود. تأثیر ترکیب دو پدیده XPM و SPM باعث تغییر در شکل پالس می‌شود.

FWM: وقتی دو طول موج با فرکانسهای f_1 و f_2 در محیط غیر خطی با هم مخلوط می‌شوند، فرکانسهای زیادی تولید می‌شوند که فرکانسهای جانبی مزاحم $2f_1-f_2$ و $2f_2-f_1$ هستند. اگر این فرکانسها با فرکانسهای مورد استفاده برای انتقال دیتا همپوشانی داشته باشند، باعث تداخل می‌شوند. یک پیشنهاد برای کاهش اثر FWM در سیستمهای WDM استفاده از کانالهایی با فواصل غیر یکنواخت است.

SRS: این پدیده در اثر تأثیر متقابل نور با نوسانات ملکولی اتفاق می‌افتد. این پراکندگی باعث جابجایی بخشی از نور، از قسمت فرکانس بالای طیف به قسمت فرکانس پایین آن می‌شود. نور تولید شده فرکانس پایین موج استوکس¹ نامیده می‌شود. محدوده فرکانسی که توسط موج استوکس اشغال می‌شود، بوسیله بهره طیف رامن که محدوده‌ای در حدود 40 THz زیر فرکانس سیگنال ورودی را می‌پوشاند؛ تعیین می‌شود. در فیبرهای سیلیکا موج استوکس دارای حداکثر بهره در فرکانسی حدود 13.2 THz کمتر از سیگنال ورودی است. در صورتی که توان سیگنال ورودی افزایش یابد سهم توان منتقل شده به موج استوکس سریعاً افزایش می‌یابد. وقتی که توان ورودی خیلی زیاد باشد SRS باعث انتقال تقریباً کل توان سیگنال ورودی به موج استوکس می‌شود. برای کاهش اثر SRS باید فاصله بین کانالها کم شود و توان در هر کانال باید همواره زیر مقدار آستانه باشد.

SBS: این اثر مشابه SRS است. با این تفاوت که تأثیر امواج صوتی بیش از نوسانات ملکولی است، بعلاوه موج استوکس در جهت مخالف با سیگنال ورودی انتشار می‌یابد؛ و شدت پراکندگی نور در SBS بیش از SRS است. از اینرو محدوده فرکانسی SBS کمتر از SRS است (در حدود 10 GHz). برای کاهش اثر SBS توان ورودی باید زیر مقدار آستانه باشد.

اثرات غیر خطی ادوات نوری

از اثرات غیر خطی ادوات نوری نظیر مالتی‌پلکسر و دی‌مالتی‌پلکسر نوری میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

همشنوایی

پلاریزاسیون

همشنوایی ناشی از تبدیل رامن²

¹ Stokes

² Raman conversion

همشنوایی ناشی از اثرات غیر خطی دیگر:

در این رابطه می توان از پدیده های غیر خطی زیر نام برد:

پراکندگی رامن برانگیخته شده (SRS)

پراکندگی بریلوین برانگیخته شده (SBS)

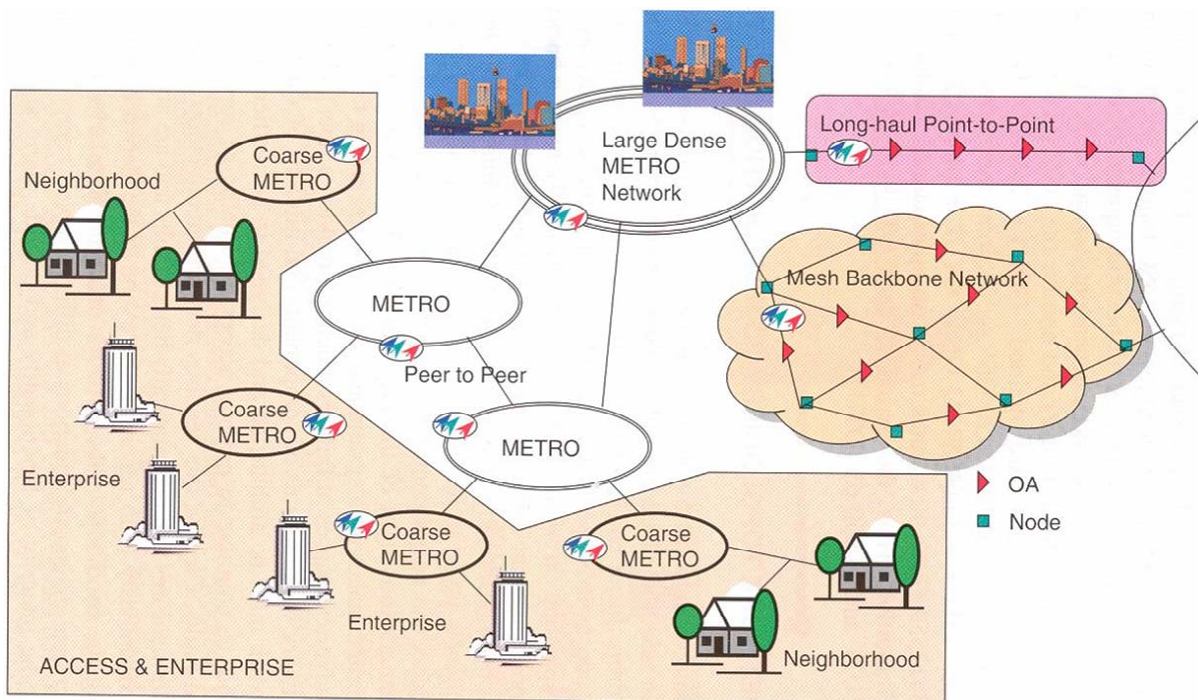
ترکیب چهار موج (FWM)

FWM لحظه ی در ابتدا و انتهای خط انتقال

۸. روشهای استقرار مجدد در توپولوژی های مختلف

توپولوژی های مرسوم شبکه ها شامل: حلقوی، ستاره، مش و نقطه به نقطه هستند و زیر توپولوژی هایی نظیر نقطه به نقطه با قابلیت افزودن و برداشتن نیز وجود دارند. در یک شبکه انتها تا انتها که سیگنال مشتری^۱ از یک شبکه دسترسی کوچک عبور می کند، این سیگنال بصورت یک بسته است و در کنار دیگر سیگنال های مشتری، مسیر این بسته با توجه به مقصد آن محدوده شبکه عبوری را افزایش می دهد و ممکن است که زیرساخت شبکه و یا شبکه مسافت فوق طولانی را هم شامل شود (شکل (۵۳) [۲۵]).

^۱ Client Signal

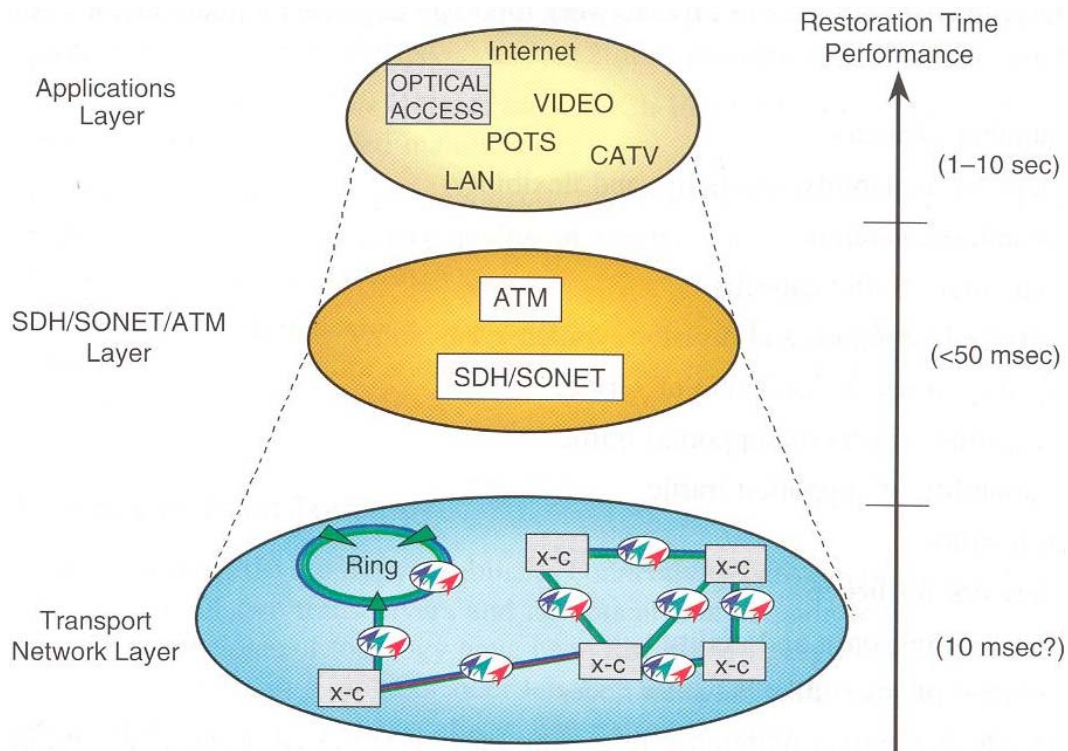


شکل ۵۳: از شبکه دسترسی تا شبکه وسیع

در طراحی شبکه‌ها لازم است که شبکه به طور خودکار خطاها را تشخیص دهد، قادر باشد آنها را رفع کند و به طور خودکار گزارش اتفاقات افتاده را برای مدیریت شبکه ارسال کند. سیستمهای DWDM نیز به طور مشابه باید دارای توابع تشخیص خطا در لایه‌های مختلف، ادوات، ماجولها و واحدهایی باشد تا صحت سیستم را گزارش کنند و بتواند سیگنالهای آلازم و پیغامهای اختار را در صورتی که یکی از توابع یا بخشها دچار خطا شد، گزارش کند.

نکته مهم دیگر در یک شبکه این است که شبکه پس از رخداد خطا با چه سرعتی استقرار مجدد می‌یابد. کل مدت زمان بین لحظه تشخیص خطا و تصمیم گیری سیستم برای رفع خطا تا استقرار مجدد سیستم بایست کمتر از مدتی باشد که سرویس دهی سیستم دچار وقفه شود (در شبکه‌های SONET/SDH این میزان حدود ۵۰ میلی ثانیه است). از سوی دیگر در شبکه‌های با پهنای باند زیاد یک مدت کوتاه ممکن است خیلی بلند به نظر برسد. برای مثال در شبکه‌ای با حجم ترافیکی 1 Tbps (مانند زیرساخت شبکه یا یک سیستم مسافت فوق طولانی) یک وقفه 50 ms باعث از دست رفتن ۵۰ میلیارد بیت اطلاعات خواهد شد و در یک سیستم با ترافیک 1 Gbps (مانند شبکه شهری کوچک و شبکه دسترسی) وقفه 50 ms باعث از دست رفتن ۵۰ میلیون بیت

اطلاعات خواهد شد. از اینرو مدت زمان و کارآیی سیستم استقرار مجدد برای کلیه لایه‌های شبکه نباید یکسان باشد. شکل (۵۴) این میزان را برای لایه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۵۴: مدت زمان استقرار مجدد در لایه‌های مختلف شبکه

در سیستمهای DWDM عوامل رخ داد خطا تنها در اثر فیبر و گره نیستند بلکه ممکن است در اثر کاهش توان کانالهای نوری یا قطع آنها، خطا در لیزرها و آشکارسازها و یا در اثر عوامل خطی یا غیر خطی سیستمهای DWDM رخ دهد. بطور کلی بخش حفاظت در سیستمهای DWDM باید شامل موارد زیر باشد:

- مونیتورینگ کلیه خطاها و آسیب‌ها
- تشخیص دقیق و موثر خطاها و آسیب‌ها
- گزارش مکانیزم عملکرد مدیریت خطا
- سیگنالینگ موثر و قابل اطمینان برای اطلاع به دیگر گره‌های شبکه
- مدیریت پهنای باند و الگوریتم مسیریابی موثر
- معماری شبکه با طرح استقرار مجدد سریع

بطور مشابه کارآیی هر توپولوژی شبکه‌ای به پارامترهای زیادی وابسته است. که بعضی از آنها در زیر آورده شده است.

- تعداد گره‌ها
- قابلیت انعطاف^۱، قابلیت ارتجاعی^۲ و قابلیت بخش شدن^۳ شبکه
- تکامل یکپارچه^۴
- حداکثر ظرفیت ترافیک
- سرویس استقرار مجدد و قابلیت اجتناب از آسیب^۵
- کیفیت سرویس دهی^۶ و بهای سرویس دهی^۷
- پشتیبانی ترافیک بصورت بلادرنگ
- پشتیبانی ترافیک تغییرپذیر
- قابلیت اطمینان
- شبکه ارتجاعی^۸
- چالاکی^۹ و پاسخ دهی شبکه
- تعداد فیبرهای لینک بین گره‌ها
- ترجیح در فروش (به طور مثال، ممکن است توپولوژی حلقه ترجیح داده شود، زیرا با شبکه‌های نصب شده SONET/SDH هم خانواده است و یا توپولوژی مش ترجیح داده شود به علت توانایی ماندگاری بهتر^{۱۰})

اولین نمونه سیستمهای DWDM با توپولوژی نقطه-به-نقطه و با هدف اصلی افزایش پهنای باند فیبر نوری ارائه شدند. اگر چه بزودی مشخص شد که سیستمهای DWDM راه‌حلی

¹ Flexibility

² Elasticity

³ Scalability

⁴ Seamless Evolution

⁵ Disaster Avoidance Capability

⁶ Quality of Service

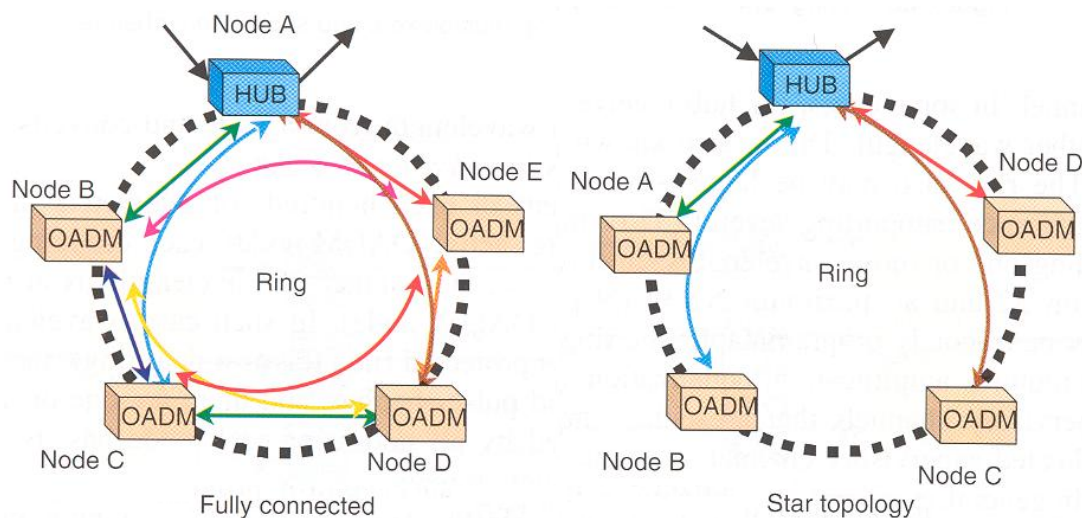
⁷ Cost of Service

⁸ Resilience

⁹ Agility

¹⁰ Better Survivability Capability

برای بهینه سازی بهای دیگر توپولوژیها نظیر نقطه-به-نقطه با چندین افزودن/برداشتن، حلقه و یا مش عرضه می کنند. مطابق شکل (۵۵) توپولوژیهای نقطه-به-نقطه، ستاره و گره تمام اتصالی به صورت توپولوژی فیبر حلقوی فیزیکی DWDM عرضه می شود. پس توپولوژی فیبر حلقوی یک اصطلاح کلی است، زیرا توپولوژیهای حلقوی متفاوت DWDM نیازها و پیچیدگیهای^۱ متفاوتی دارند. برای مثال یک DWDM حلقوی ممکن است: یک حلقوی تک فیری کوچک با چند طول موج، یک حلقوی دو فیری دو جهته خود ترمیمی^۲ (BSHR/2) اندازه متوسط و یا یک حلقوی چهار فیری دو جهته خود ترمیمی (BSHR/4) بزرگ باشد.



شکل ۵۵: بازیابی توپولوژیهای گره و ستاره به صورت توپولوژی حلقوی

چنین حلقههایی دارای گرههای متفاوت با پیچیدگیها و نیازهای متفاوتی هستند. گرهها ممکن است تک مالتی پلکسر افزودن کاستن نوری (OADM)، چند طول موجی و یا ترکیب بندی استاتیک یا دینامیک باشند. آنها ممکن است به تجهیزات جانبی مثل تقویت کننده نوری، جبران ساز پاشندگی و غیره نیاز داشته باشند و یا نیاز نداشته باشند. بعلاوه DWDM برای شبکههای مش نیز قابل اجرا است، شبکههایی که عموماً مناطق وسیع جغرافیایی با گرههایی با ظرفیت اتصال عرضی زیادی را پوشش می دهند.

¹ Complexities

² Two Fiber Bidirectional Shelf Healing Ring

هر یک از این توپولوژی‌ها توانایی حفاظت و استقرار مجدد را دارند. این توانایی‌ها در سطوح لینک، کانال، Payload مشتری، مالتی پلکس و غیره است. استاندارد ITU-T G.872 فریم سربار را برای کارکرد کانال نوری و مدیریت OCh-OAM که برای محلی کردن خطاها، ایزوله کردن خطاها و ارائه مکانیزمی برای سوئیچینگ حفاظت اتوماتیک بکار می‌رود، ارائه می‌کند.

۱.۸. توپولوژی نقطه-به-نقطه

توپولوژی نقطه-به-نقطه برای اتصال بین دو استفاده کننده بنا شد. که شامل جفت فرستنده گیرنده و یک مسیر نوری بین دو نقطه است. طرحی از این توپولوژی در شکل (۵۶) آورده شده است. توپولوژی نقطه-به-نقطه بسته به طول کابل نوری از چند صد متر تا چند هزار کیلومتر قابل انجام است. از اینرو توپولوژی نقطه-به-نقطه (PtP) در انواع مسافت کوتاه^۱ (SH) (به طول چند کیلومتر)، مسافت متوسط^۲ (MH) (به طول چند ده کیلومتر)، مسافت طولانی^۳ (LH) (به طول چند صد کیلومتر) و مسافت فوق طولانی (ULH) (به طول چند هزار کیلومتر) استفاده می‌شود. بعلاوه انواع مسافت خیلی کوتاه^۴ (VSH) (به طول چند صد متر) و مسافت فوق العاده کوتاه^۵ (USH) (به طول چند متر) نیز وجود دارد. ولیکن معمولاً در شبکه‌های ارتباطی DWDM از شبکه‌های PtP مسافت متوسط تا مسافت فوق طولانی استفاده می‌شود، چون شبکه‌های نقطه-به-نقطه مسافت طولانی DWDM اقتصادی هستند و بیشترین پهنای باند را به فیبر منتقل می‌کنند. شبکه‌های PtP مسافت فوق طولانی برای ارتباطات بین قاره‌ای و زیر اقیانوسی استفاده می‌شود، از اینرو به جدیدترین تکنولوژی^۶ فوتونیک، تقویت کننده‌های نوری، جبران کننده‌های پاشندگی، متعادل کننده‌ها و ... نیاز دارند. امروزه سیستمهای DWDM نقطه-به-نقطه در رقابت برای نرخ بیت بالاتر برای هر کانال (40 Gbps و بیشتر)، چگالی بالاتر کانالهای نوری (فاصله بین کانالها کمتر از 50 GHz) بروی یک فیبر، تعداد بیشتر کانال (۱۶۰ کانال و بیشتر) بروی یک فیبر، لینکهای طولانی تر بین تقویت کننده‌های نوری و فیبرهایی با مشخصات انتقالی ممتاز هستند.

¹ Short Haul

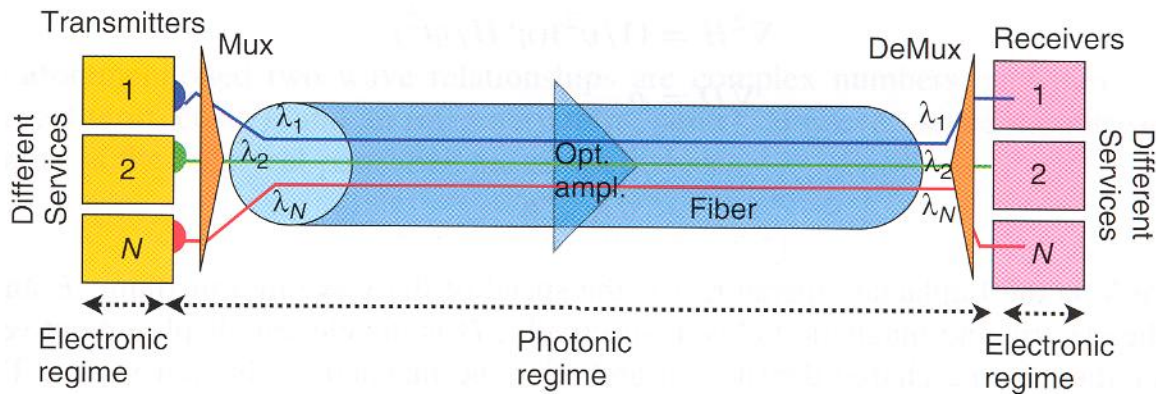
² Medium Haul

³ Long Haul

⁴ Very Short Haul

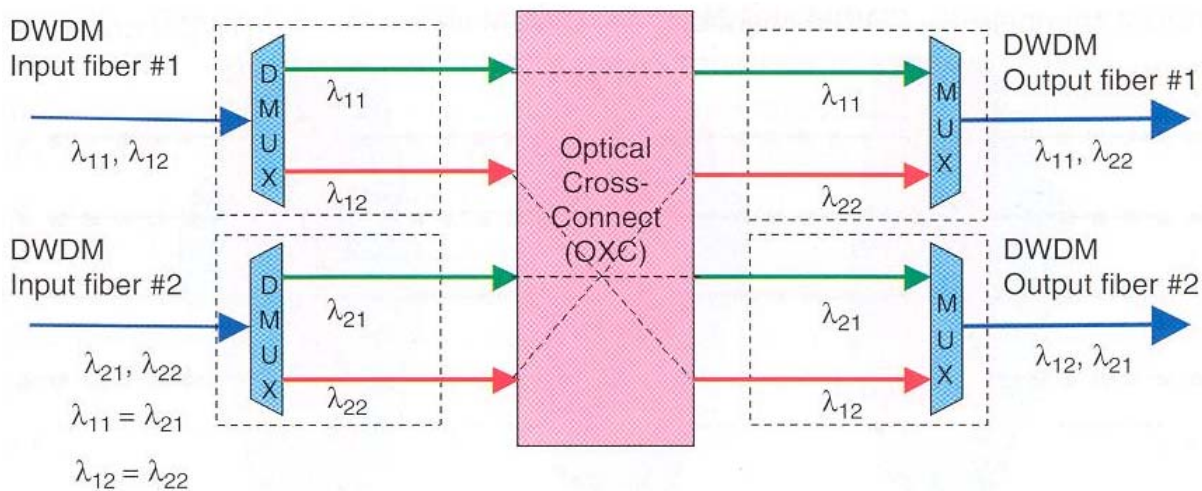
⁵ Ultra Short Haul

⁶ State-of-The-Art



شکل ۵۶: طرح توپولوژی نقطه به نقطه DWDM

سیستمهای مسافت فوق طولانی نقطه-به-نقطه DWDM در صورتی که شامل مراکز بین خطی با قابلیت افزودن و برداشتن با سوئیچینگ نوری بین دو نقطه انتهایی باشند (شکل ۵۷)) صرفه اقتصادی بهتری خواهند داشت. سیگنالینگ هوشمند مورد نیاز و پروتکل سوئیچینگ در ITU-T G.841 برای حفاظت حلقوی بخش/اشتراک ترکیبی^۱ (MS/SPRing) ارائه شده است.

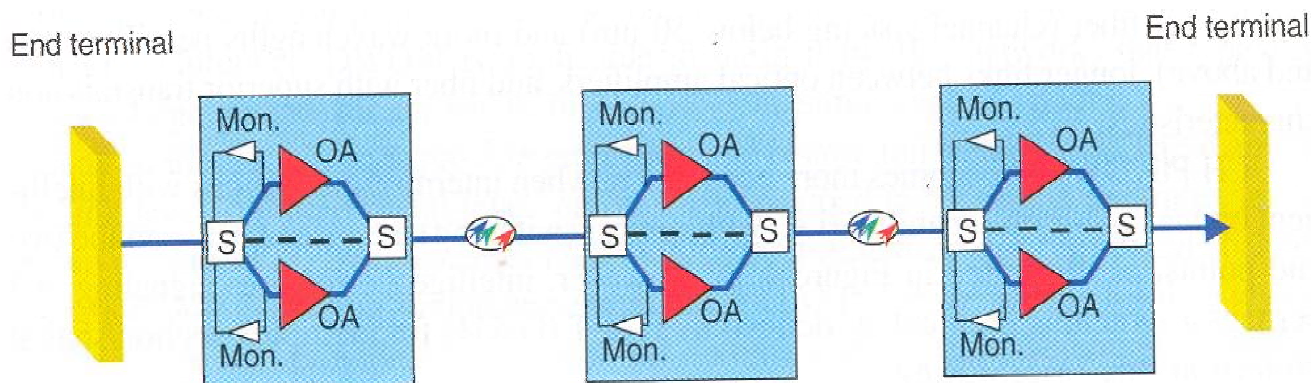


شکل ۵۷: اتصال عرضی در DWDM

یک نکته حیاتی در سیستمهای نقطه-به-نقطه مسافت طولانی و مسافت فوق طولانی وجود دارد و آن مساله استقرار مجدد است. هر قطعه‌ای که در مسیر قرار دارد ممکن است خراب

^۱ Multiplex-Section/Shared Protection Ring

شود. چون برای هر قطعه‌ای زمان خرابی^۱ (FIT) تعریف می‌شود. تعداد زیاد قطعات استفاده شده در لینک احتمال رخداد خرابی را افزایش می‌دهند. از اینرو شبکه باید استراتژی‌هایی برای تشخیص و جبران خطا داشته باشد. یکی از چنین استراتژی‌هایی افزونگی^۲ است (به طور مثال اگر دو تقویت کننده به طور موازی با هم کار کنند). نمونه‌ای از چنین سیستمی در شکل (۵۸) آمده است. در این روش قطعه آشکارساز همواره سیگنال خروجی دو قطعه را بررسی می‌کند به محض تنزل و ایجاد خطا قطعه موازی سالم را بوسیله سوئیچ نوری جایگزین می‌کند. در این طرح استراتژی ذکر شده قادر است قطعه دچار خطا شده را بای‌پس^۳ کند.



شکل ۵۸: استراتژی افزونگی برای تقویت کننده بین خط در توپولوژی نقطه به نقطه

چنین روشی هنگامی که فیبر بین مسیر دچار مشکل می‌شود (بریده می‌شود) امکان پذیر نیست چون نمی‌توان فیبر را بای‌پس کرد. راه حل این مشکل در معماری شبکه‌ای با مسیرهای متفاوت است. بطور مثال بخشی از شبکه LH که در شکل (۵۹) آورده شده است را توجه کنید. این طرح برای حفاظت دارای دو مسیر متفاوت است. ترافیک مسیر C1 ترافیک گذری^۴ است و سوئیچهای SW11، SW12 و SW13 ترافیک C1 را نقاط عبور می‌دهند. سوئیچ SW12 برای ترافیک مسیر C2 به عنوان افزودن-برداشتن نوری نیز عمل می‌کند.

¹ Failure In Time

² Redundancy

³ Bypass

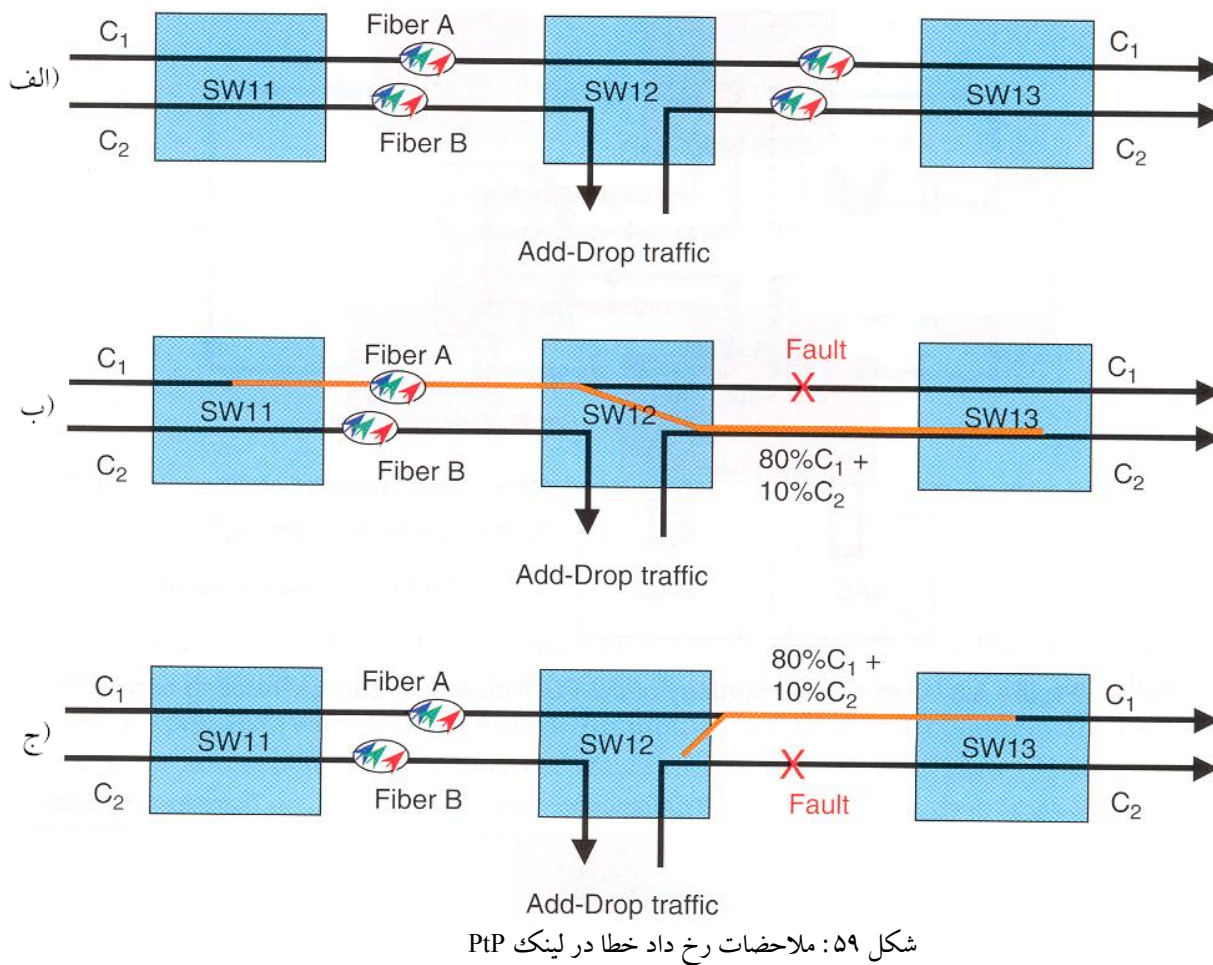
⁴ Termed Through Traffic

در وضعیتی که انسدادی رخ نداده است کارآیی شبکه به سیستم و قوانین مهندسی شبکه وابسته است. چنین قوانینی ممکن است ۴۰٪ ترافیک را برای افزودن-برداشتن و ۶۰٪ ترافیک را برای گذر مشخص کند و ترافیک را به صورت یک بخش اولویت بالا^۱ و باقیمانده ترافیک تا ۹۰٪ را به عنوان اولویت پایین^۲ در نظر بگیرد (حد حاشیه ۱۵٪-۱۰٪ مناسب است). اگر انسدادی رخ دهد سیستم ترافیک اولویت پایین را حذف می کند و ترافیک را به اولویت بالا اختصاص می دهد. برای مثال اگر فرض کنیم در فیبر A ترافیک مسیر C1 شامل ۸۰٪ اولویت بالا و ۱۰٪ اولویت پایین و در فیبر B ترافیک مسیر C2 شامل ۱۰٪ اولویت بالا و ۸۰٪ اولویت پایین باشد، حال اگر مسیر فیبر A دچار مشکل شود، پهنای باند به صورت ۸۰٪ ترافیک اولویت بالا C1 بروی فیبر B بعلاوه ۱۰٪ ترافیک اولویت بالای C2 و در نهایت ۱۰٪ نیز برای ترافیک اولویت پایین C1 یا C2 تخصیص می یابد (شکل ۵۹-ب)). اگر خطا در فیبر B رخ دهد، ترافیک مسیر C1 عبور می کند و ۱۰٪ ترافیک اولویت بالای مسیر C2 به فیبر A اضافه می شود (شکل ۵۹-ج)).

در این مثال انتخاب طول موج را در نظر نگرفتیم، با سوئیچ طول موج فیبر A بروی فیبر B و یا بالعکس، مدیریت طول موج خیلی بحرانی خواهد بود و تصادم طول موجها نبایست رخ دهد و یا باید از مبدل های طول موج استفاده کرد، که مدیریت طول موج را بسیار پیچیده می کند.

¹ High Priority

² Low Priority

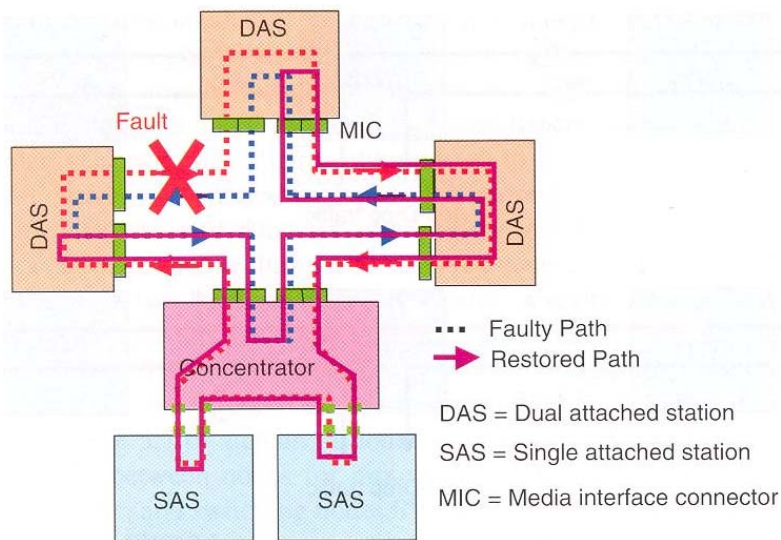


۲.۸. توپولوژی حلقوی

توپولوژی حلقوی از شبکه محلی FDDI^۱ که شامل دو حلقه فیبر است، الهام گرفته شده است. مطابق شکل (۶۰) اگر در شبکه FDDI یک فیبر قطع شود، این خطا در ایستگاه اول تشخیص داده خواهد شد. بعد از رخداد خطا در دو سر فیبر قطع شده دو گره تشکیل می شود و حلقه توسط فیبر ثانویه تشکیل می شود. تشخیص و بای پس کردن فیبر قطع شده در لایه فیزیکی بطور اتوماتیک صورت می گیرد و اصطلاحاً به آن خود ترمیمی^۲ گفته می شود.

^۱ Fiber Distributed Data Interface

^۲ Self Healing



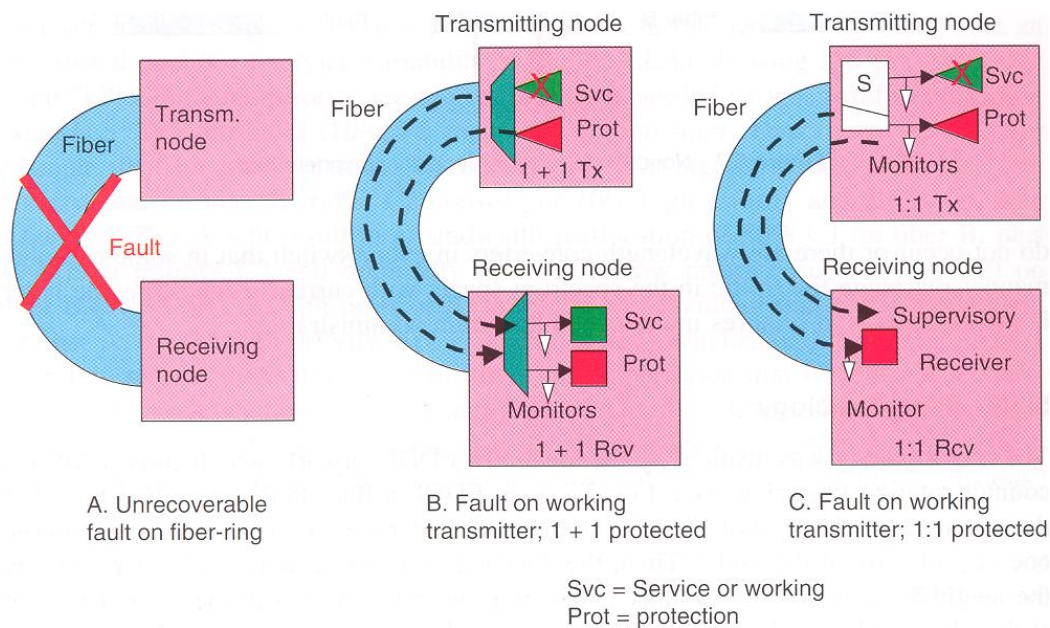
شکل ۶۰: استراتژی ترمیم خودکار در FDDI با دو فیبر

۱,۲,۸. حلقه یکطرفه تک-فیبر^۱

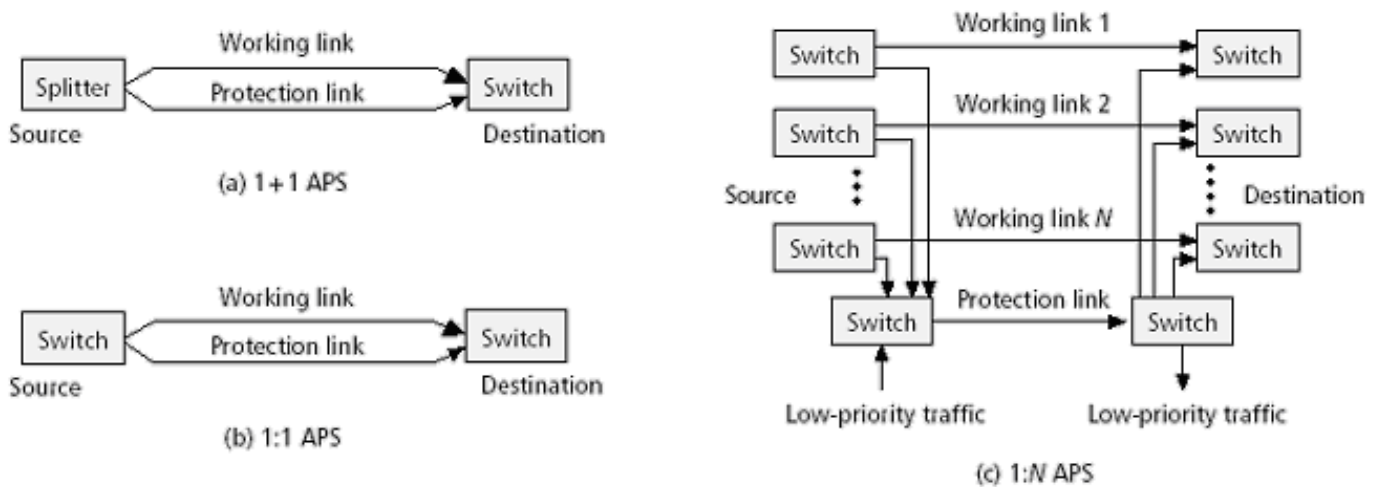
در شبکه‌های DWDM حلقوی یکطرفه تک-فیبر (1F) امکان حفاظت در صورت بروز مشکل در فیبر مثل قطع شدگی وجود ندارد. ولی امکان ایجاد حفاظت در بخشهای فرستنده و گیرنده امکان پذیر است. برای مثال یک حلقه فیبری را با قابلیت حفاظت فرستنده-گیرنده بصورت 1+1 یا 1:1 در نظر بگیرید. به محض اینکه خطایی در فرستنده در حال کار^۲ تشخیص داده شود، به فرستنده حفاظتی سوئیچ می‌شود. این طرح برای حالت حفاظت 1:1 مناسبتر است، زیرا به منابع اضافه نیازی ندارد، اما به پروتکل حفاظتی اتوماتیک روی کانال سوپروایزری (نظارتی) نیاز دارد. در طرح دیگر قسمت فرستنده بروی دو طول موج ارسال دارد. یک طول موج در حال کار و دیگری برای حفاظت است. به محض اینکه فرستنده در حال کار دچار مشکل شود، گیرنده تشخیص می‌دهد و طول موج حفاظتی را انتخاب می‌کند، این طرح برای حالت حفاظت 1+1 مناسبتر است چون به دو منبع احتیاج دارد. اما حفاظت سوئیچینگ اتوماتیک است و به پروتکلی روی کانال سوپروایزری نیازی ندارد. طرحی از این دو روش و روش 1:N در شکلهای (۶۱ و ۶۲) آمده است.

^۱ Single-Fiber Unidirectional Ring

^۲ Working



شکل ۶۱: طرح حفاظت برای حلقه یکطرفه تک-فیبر



شکل ۶۲: طرحهای حفاظت 1+1، 1:1 و 1:N

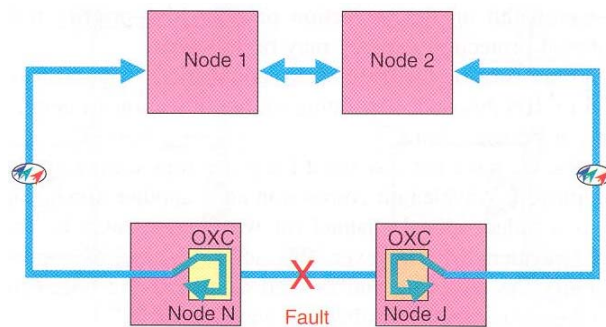
۲.۲.۸. حلقه دوطرفه تک-فیبر^۱

در حلقه دوطرفه تک-فیبری اگر گره‌های حلقه، توانایی حلقه‌زنی برگشتی^۲ کلیه کانالهای نوری را داشته باشند، امکان حفاظت وجود دارد (شکل (۶۳)). در یک طرح نیمی از طول موجها برای

^۱ Single-Fiber Bidirectional Ring

^۲ Looping Back

کانالهای در حال کار و نیمی دیگر برای حفاظت در نظر گرفته می شوند. این طرح حفاظت مناسبی برای فیبر در سطح کانال دارد، اما به دو برابر منابع احتیاج دارد. در طرح دیگر تمام کانالها در یک جهت استفاده می شوند و هرگاه خطایی در یک کانال رخ دهد، آن کانال حلقه زنی برگشتی می شود. در این طرح نیز حفاظت مناسبی برای فیبر در سطح کانال صورت می گیرد، اما مشروط بر این که ادوات نوری دو جهته باشند.



شکل ۶۳: طرح حفاظت برای حلقه دوطرفه تک-فیبر

کاربرد حلقه های تک-فیبر در سیستمهای CWDM شهری با ۸ الی ۱۶ کانال و با نرخ بیت 622 Mbps و یا در حد Gbps است. و راه حلی ارزان قیمتی برای شبکه های شهری کوچک، درون سازمانی و فضاهای کوچک در حدود چند کیلومتر است.

۸, ۲, ۳. حلقه دو-فیبر^۱

حلقه دو-فیبری (2F) طرح حفاظت ساده تر و سراسر است 1+1 نسبت به حلقه تک-فیبر دارد. همچنین می دانیم که حلقه سوئیچینگ-مسیر یکطرفه^۲ 1+1 (UPSR 1+1) خیلی مشابه FDDI است. به هر حال آنها به دو فیبر و فرستنده-گیرنده مجزا برای هر جهت و کانال سوپروایزری حفاظتی نیاز دارند. زیرا طرح پیشرفته حفاظتی دارد. این نوع حلقه برای شبکه های شهری کوچک و متوسط مناسب است و بسته به نوع کاربرد، دارای ۸ تا ۳۲ طول موج و نرخ بیت 1 Gbps یا 2.5 Gbps در فواصل تا ۸۰ کیلومتر و یا با استفاده از تقویت کننده در مسافت های بیشتر کاربرد دارد (شکل (۶۴-الف)).

^۱ Two-Fiber Ring

^۲ Unidirectional Path-Switching Ring

۴,۲,۸. حلقه چهار-فیبر^۱

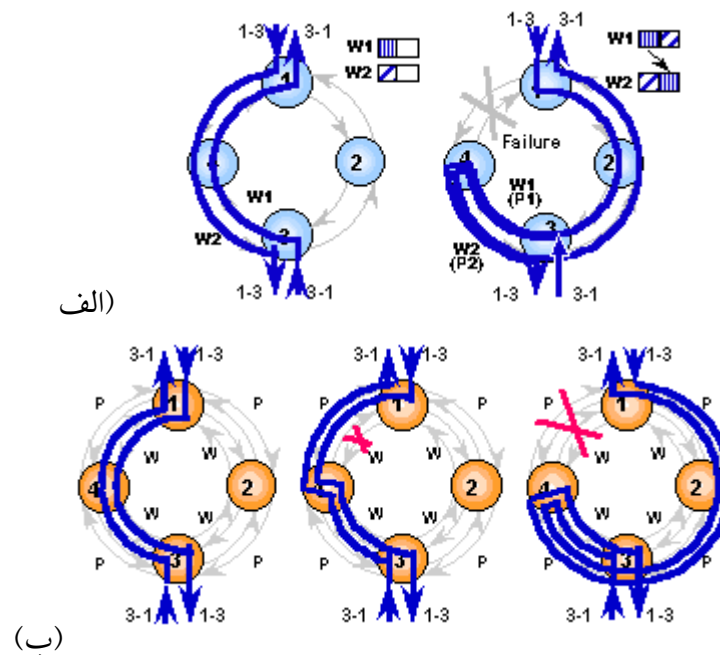
حلقه چهار-فیبری (4F) طرح حفاظتی حلقه سوئیچینگ-مسیر دوطرفه^۲ 1+1 (BPSR/4) دارد. طرح BPSR/4 1+1 شامل دو عدد زوج فیبر، که یک زوج فیبر در حال کار و زوج فیبر دیگر برای حفاظت در نظر گرفته می شود. همچنین برای هر زوج فیبر به کانال سوپروایزری حفاظتی نیاز دارد. هنگامی که یک فیبر دچار خطا می شود، در یک طرح، با ترکیب بندی مجدد به صورت دو-فیبری (2F) خطا بای پس شود. در طرح دیگر ترافیک از زوج فیبر در حال کار دچار خطا شده به زوج فیبر حفاظتی منتقل می شود، در این طرح در صورتی که زوج فیبر حفاظتی ترافیک اولویت پایین داشته باشد، کل ترافیک با اولویت پایین یا مازاد بخشی از آن که پهنای باند ترافیک اولویت بالا را پر می کند، حذف می شود. در طرح سوم، ممکن است ترکیب طرحهای حفاظتی بکار رود. حلقه چهار فیبری برای کاربردهای شهری وسیع با ۴۰ کانال و نرخ بیت 2.5 Gbps یا 10 Gbps و بسته به ترکیب تقویت کننده، در فواصل در حدود ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر مناسب است (شکل (۶۴-ب)). مقایسه ای بین این دو در جدول (۳) آمده است [۲۶].

جدول ۳: مقایسه ای بین روشهای حفاظت دو فیبر و چهار فیبر

Protection	Method	Capacity	Reliability	Control	No. of NEs	Cost
2F MS-SPRing	Loop back	Medium	Good	Complex	16	Medium
4F MS-SPRing	Loop back + Line switch	Large	Excellent	Complex	16	Higher

¹ Four-Fiber Ring

² Bidirectional Path-Switching Ring



شکل ۶۴: طرحهای حفاظت (الف) دو فیبر و (ب) چهار فیبر

۵,۲,۸. حفاظت حلقه-به-حلقه^۱

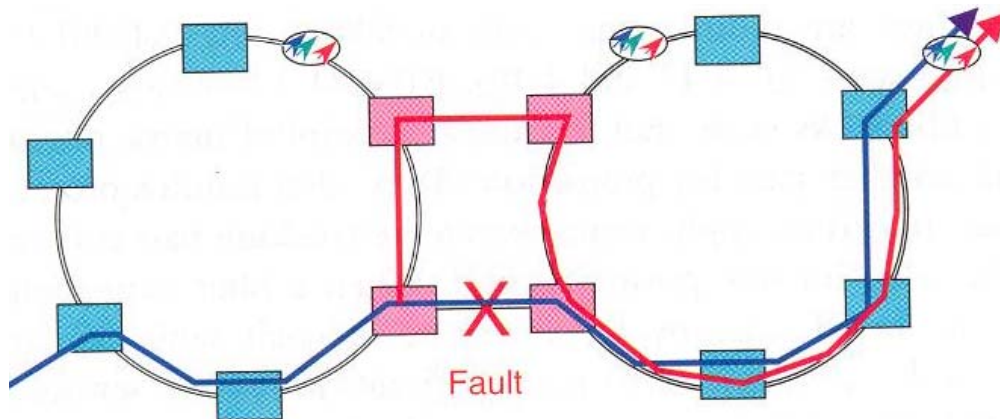
در ادامه حفاظت فیبر یا کانال نوری در حال کار در یک شبکه حلقوی، حفاظت از فیبر و یا کانال نوری بین دو شبکه حلقوی متصل شده به یکدیگر را بررسی می‌کنیم. اگر دو شبکه حلقوی توسط یک فیبر به یکدیگر متصل شوند. آشکارا مشخص است چنین ساختاری حفاظت مناسب نخواهد داشت. از اینرو مطابق شکل (۶۵) معمولاً دو شبکه حلقوی توسط دو لینک به یکدیگر متصل می‌شوند و لازم است که دو گره در هر حلقه بصورت گره-مرکزی^۲ (هاب) طراحی شوند. پس این نوع حفاظت مشابه حفاظت 1+1 است. چنین ساختار حفاظتی، به اندازه کافی سریع است (حدود 60 ms) ولی سیستم به پیامهای نگهداری^۳ بین دو حلقه نیاز دارد.

بکارگیری مبدل‌های طول موج ابعاد دیگری به طرحهای حفاظت و استقرار مجدد می‌دهد و نیازمند کانال سوپروایزری هوشمندی است که به گیرنده‌های کلیه نقاط بعدی اعلام کند که طول موج کدام کانال تغییر کرده و طول موج جدید چیست.

¹ Ring-to-Ring Protection

² Hub-Node

³ Maintenance Messages



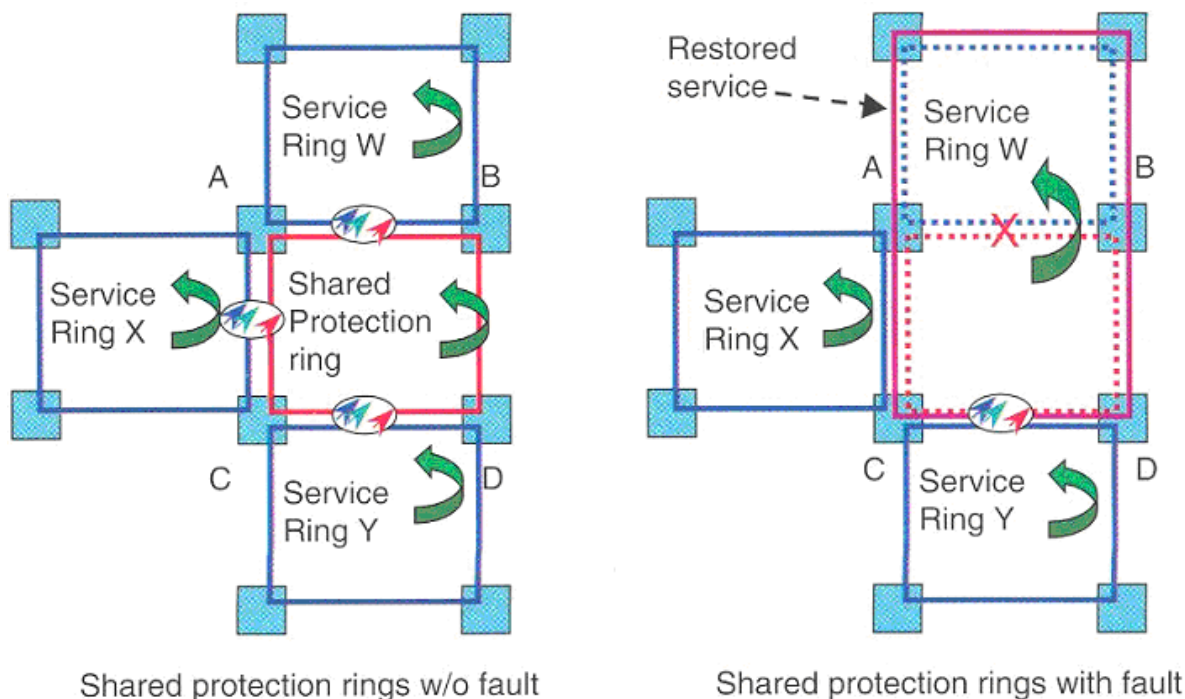
شکل ۶۵: طرح حفاظت حلقه-به-حلقه

۶,۲,۸. حفاظت مشترک چند-حلقه^۱

توپولوژی حفاظتی مشترک چند-حلقه‌ای مطابق شکل (۶۶) که مش-مجازی^۲ نیز گفته می‌شود، طرحی از چند ساختار حلقوی است. بصورتی که توسط یک حلقه حفاظتی مشترک به یکدیگر متصل شده‌اند. این طرح اجازه می‌دهد که یک فیبر توسط بیش از یک حلقه مورد استفاده قرار گیرد. پس در این ساختار اگر خطایی در فیبر رخ دهد، گره‌ها مسیر خطا را با استفاده از مسیر حفاظتی بای‌پس می‌کنند، در حالی که جهت مسیر عبوری ترافیک کلی تغییری نخواهد کرد. به طور مثال بعد از رخداد خطا حلقه W مسیر AC را با حلقه X و مسیر CD را با حلقه Y بطور مشترک استفاده می‌کند، اما جهت مسیر ترافیک هر کدام ممکن است در خلاف جهت مسیر ترافیکی دیگری باشد. این بدین مفهوم است که در این طرح، سیستم انتقال نوری در یک تک-فیبر بصورت دوجته خواهد بود.

^۱ Multi-Ring Shared Protection

^۲ Pseudo-Mesh



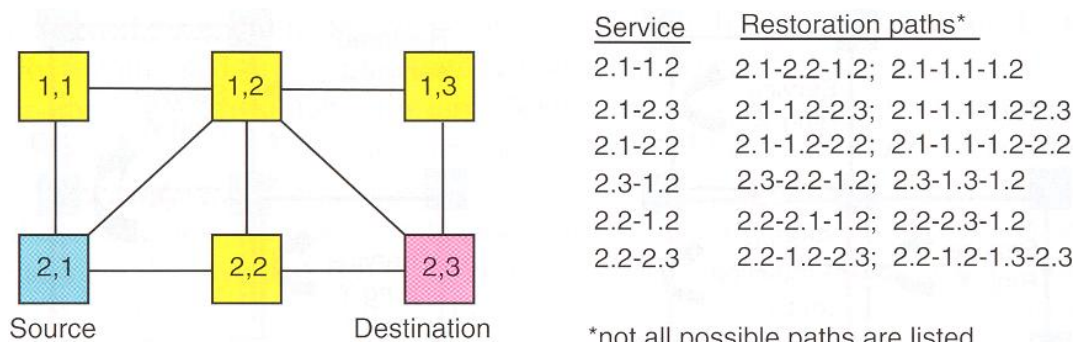
شکل ۶۶: طول حفاظت مشترک حلقه‌ها

۳.۸. توپولوژی مش

اگرچه شبکه‌های انتقال نوری (OTN) از انواع توپولوژی‌ها استفاده می‌کنند، ولی آنها تاکید بیشتری بروی توپولوژی مش دارند، زیرا شبکه‌های زیرساخت از توپولوژی مش استفاده می‌کنند و چون توپولوژی‌های نقطه-به-نقطه شامل تعداد خیلی زیادی Add/Drop شده‌اند، شبکه خیلی مشابه شبکه مش شده است.

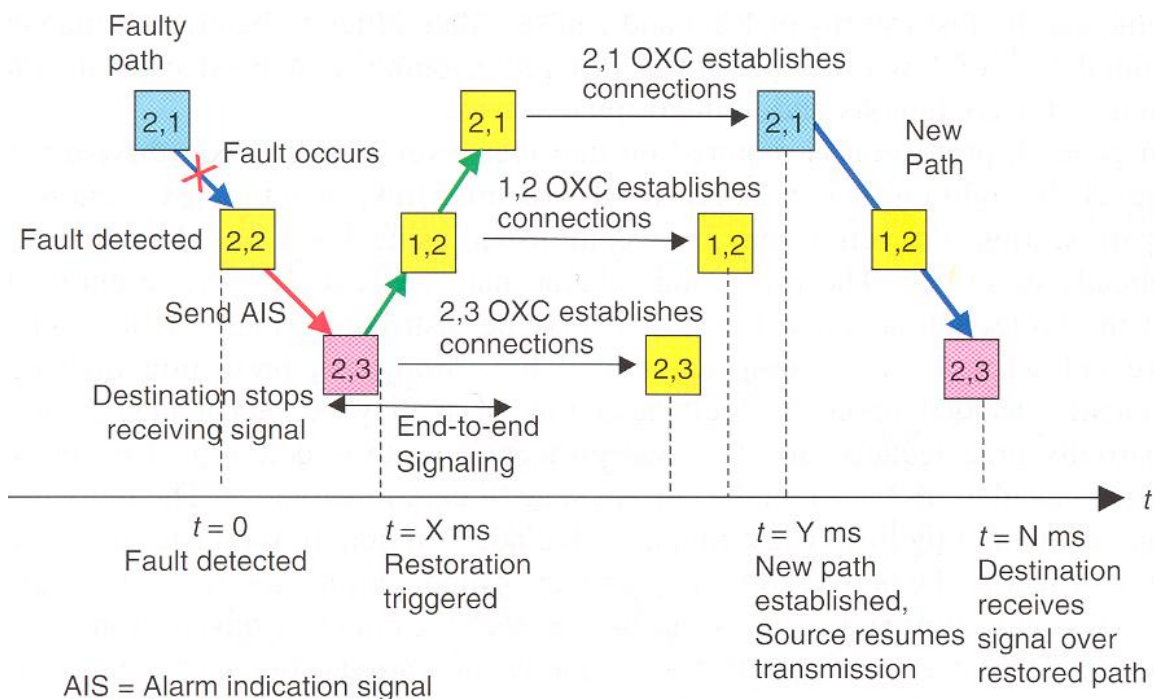
استقرار مجدد توپولوژی مش مزایایی نسبت به اتصال-عرضی نوری دارد و آن توانایی ارتباط کانالهای نوری از هر ورودی به هر خروجی است. این توانایی باعث ایجاد یک مسیر یاب اتوماتیک و هوشمند برای ارتباط یک کانال نوری یا تعداد زیادی کانال نوری بعد از آسیب دیدن بخشی از شبکه می‌شود. بعلاوه قابلیت نمایش هوشمند شبکه توزیع (تشخیص خطا و تنزل) در هر نقطه‌ای با سیگنالینگ سریع و پروتکل بهینه برای سرویس استقرار مجدد را دارد، در نتیجه توپولوژی از روی الگوریتم و یا مسیرهای از پیش تعیین شده بهنگام می‌شود. پس طرح استقرار مجدد خیلی سریع (50 ms یا کمتر) می‌تواند انجام شود و مدیریت پهنای باند موثر و آسانی (حذف ترافیک اولویت پایین به میزان حداقل) دارد. این عوامل باعث شده که یک سرویس ممتد و بدون وقفه با ظرفیت خوب قابل اعتماد ارائه کند.

مطابق حفاظت در سطح کانال، به حفاظت در سطح فیبر نیز احتیاج دارد و بعلاوه حفاظت در بخش، لینک، مالتی پلکس و در مسیر نیز لازم است. حفاظت ممکن است در طرحهای 1+1، 1:1 و یا 1:N انجام شود. برای طرح ساده‌ای از مسیرهای از پیش تعیین شده در توپولوژی شبکه مش به شکل (۶۷) توجه کنید. در این طرح مسیرهای از پیش تعیین شده برای ارتباط بین دو نقطه در صورت بروز خطا آورده شده است و ابتدا مسیرهای کوتاه‌تر ذکر شده‌اند (البته شامل تمام مسیرهای ممکنه نیست). مطابق شکل (۶۷) فرض کنید که مسیر انتقال بین نقاط 2.1 و 2.2 و 2.3 است و خطایی در بین مسیر 2.1 و 2.2 رخ دهد. برای این لینک سه مسیر از پیش تعیین شده مطابق: (الف) مسیر 2.1 به 1.2 به 2.3، (ب) مسیر 2.1 به 1.1 به 1.2 به 2.3 و (ج) مسیر 2.1 به 1.1 به 1.2 به 1.3 به 2.3 مقدور است. در این طرح اگر مسیر (الف) قابل دسترسی باشد به علت مسیر کوتاه‌تر به مسیرهای بعدی (ب) و (ج) ارجعیت دارد.



شکل ۶۷: مسیرهای از پیش تعیین شده در شبکه مش

بطور مثال اگر مسیر (الف) قابل دسترسی باشد، سیگنالینگ مسیر جدیدی را با مقدار دهی اتصالات-عرضی برای ایجاد مسیر مورد نظر، ایجاد می‌کند. شکل (۶۸) مراحل منطقی و ترتیبی از تشخیص خطا تا سوئیچ کردن به مسیر حفاظتی را نشان می‌دهد.

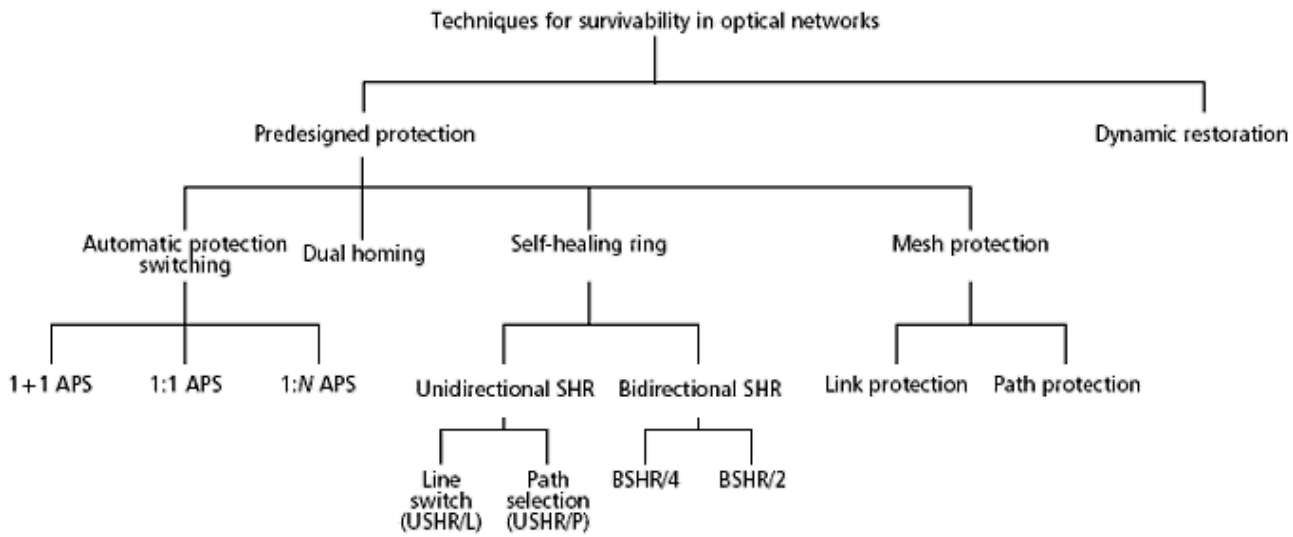


شکل ۶۸: مسیرهای از پیش تعیین شده در شبکه مش

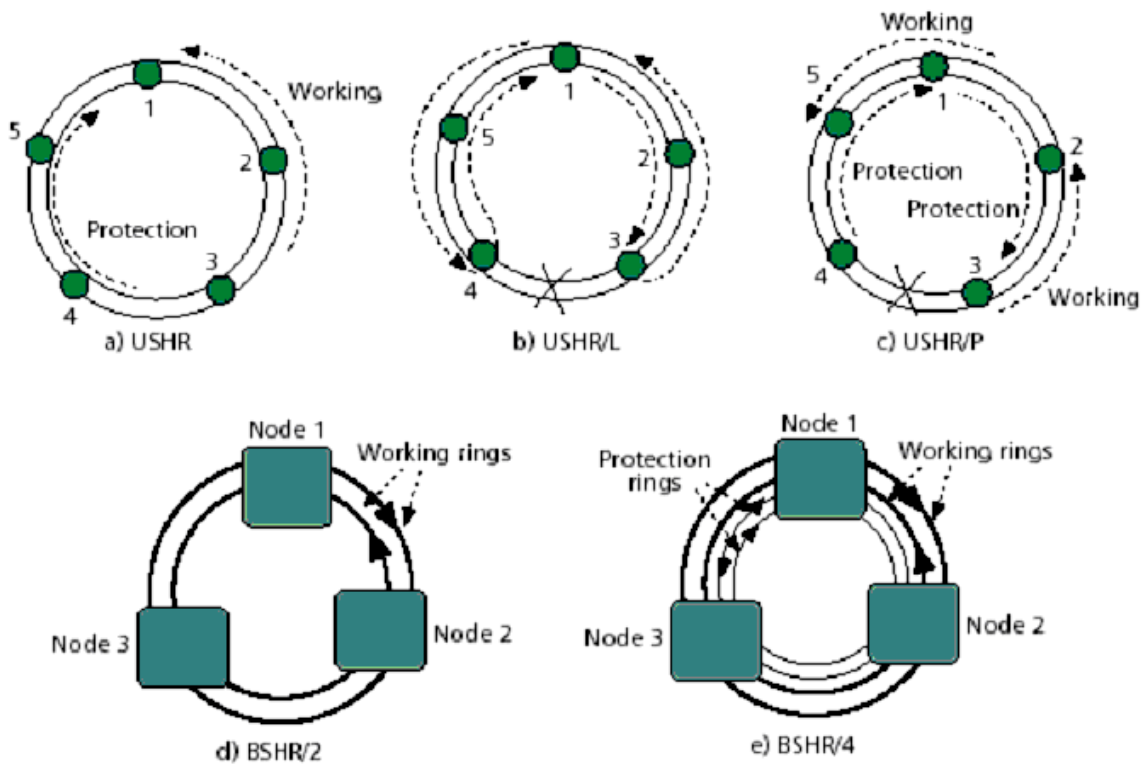
البته در شبکه‌های DWDM وقتی یک مسیر انتخاب می‌شود، مسائل و نکات جامعتری را نیز باید در نظر گرفت. مثل:

- نرخ بیت کانال در لینک (آیا سازگاری نرخ بیت وجود دارد؟)
- چگالی کانال نوری (طول موج) در لینک (فاصله و پهنای طیف هر کانال)
- پهنای باند قابل دسترسی در لینک (کانالهای رزرو شده)
- طول موجهای قابل دسترسی در لینک (آیا امکان تلاقی طول موجها وجود دارد؟، آیا از مبدل طول موج پشتیبانی می‌شود؟)
- نوع فیبر در لینک (آیا فیبر برای طول موجها بهینه است؟)
- توان نوری کانالها در مقایسه با توان کانالهای موجود در لینک (آیا اکولایزر احتیاج است؟، آیا از اکولایزر پشتیبانی می‌کند؟)
- مباحث مربوط به طیف و پلاریزیشن (توان و چگالی کل کانالهای نوری، اثرات خطی و غیر خطی و غیره)

در شکل (۶۹) دسته بندی انواع روشهای حفاظت فیبری و در شکل (۷۰) انواع روشهای حفاظت در شبکه حلقوی فیبری نشان داده شده است [۲۷].



شکل ۶۹: دسته بندی انواع روشهای حفاظت



شکل ۷۰: انواع روشهای حفاظت در شبکه حلقوی

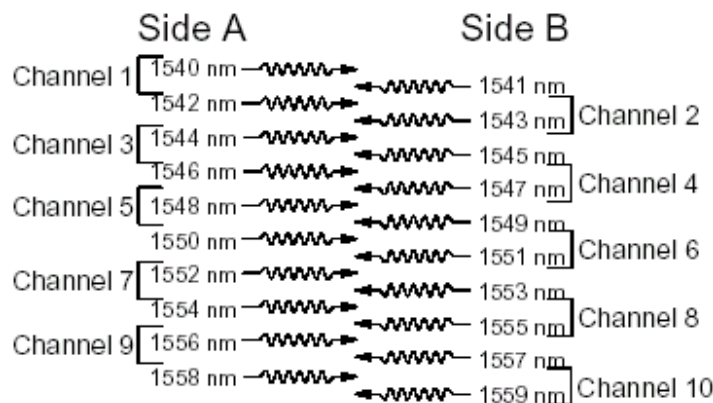
۹. معرفی چند نمونه سیستم WDM

در جدول ۴ چند نمونه از سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف [۲۸] ارائه شده است. جدول شامل نام سازنده، مدل دستگاه، تعداد کانال، فاصله بین کانالها، سیستمهای ورودی قابل پذیرش، حداکثر نرخ بیت قابل انتقال و حداکثر مسافت قابل انتقال است.

جدول ۴: نمونه‌هایی از سیستم WDM شرکتهای مختلف

Model	Company	Number of channel	Channel spacing	Client	Maximum rate	Maximum Distance (km)
Alcatel 1686 WM	Alcatel	16	200 GHz	PDH, STM-1/4/16, 10 Gbps	10 Gbps	900
Alcatel 1640 WM	Alcatel	40/80	100 GHz / 50 GHz	PDH, STM-1/4/16, 10 Gbps	10 Gbps	900
WaveStar OLS-80G	Lucent Technologies	16/32	100 GHz	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet	2,5 Gbps, 10 Gbps	640
WaveStar OLS-1.6T	Lucent Technologies	160	50 GHz	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet	10 Gbps	640
WaveLine MN	Siemens	32/64	-	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM, PDH	2,5 Gbps	100
MTS2	Siemens	40/160/640	50 GHz	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM, PDH	2,5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps	1500
OptiX BWS320G	Huawei Technologies	32	100 GHz	PDH, STM-1/4/16, 10 Gbps	10 Gbps	640
OptiX Metro 6100	Huawei Technologies	32/64	200 GHz / 100GHz	PDH, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, STM-1.4.16.64	10 Gbps	-
ZXWM-32	ZTE Corporation	32	-	PDH, STM-1/4/16, IP, ATM	-	640
XDM 1000	ECI Telecom	40	-	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM, PDH	2,5 Gbps	-
XDM 2000	ECI Telecom	80	-	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM, PDH	2,5 Gbps	-
OPTera Metro 5000	Nortel Networks	32/64	-	STM-1/4/16, Fast Ethernet,	2,5 Gbps	-
OPTera Long Haul 1600	Nortel Networks	160	-	STM-1/4/16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM, PDH	10 Gbps, 40 Gbps	-

- **IBM 9729**: یک سیستم WDM ۲۰ کاناله دوطرفه است، هر واحد فرستنده در طول موج خاص خود ساخته می شود (از لیزرهای با طول موج ثابت استفاده می شود). در این مدل ۱۰ کانال برای ارسال و همزمان ۱۰ کانال برای دریافت با فواصل 1 nm بروی یک فیبر استفاده شده است (شکل ۷۱). چنین سیستمی جهت مصارف شهری طراحی شده است، چون برای سیستمهای مسافت طولانی کانالهای ارسال و دریافت باید جدا شده و به طور مجزا به تقویت کننده EDFA اعمال شوند. عنوان ترانسپوندر در این سیستم ^۱LRC بیان شده است و دارای ۲۰ نمونه متفاوت به ازای هر کانال است [۲۹].



شکل ۷۱: کانالهای WDM سیستم IBM9729

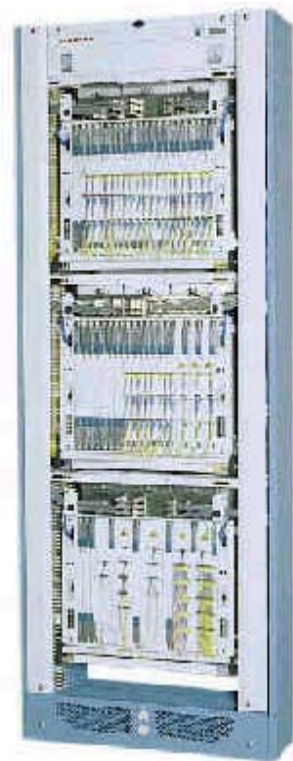
در قسمت گیرنده، آشکار ساز APD نوع InP بکار رفته است و برای فرستنده از دیودهای لیزر DFB با دقت خیلی زیاد استفاده شده است. که مجهز به فیدبک داخلی برای کنترل سطح توان و دما و همچنین، قابلیت تنظیم حدود 1 nm در طول موج خروجی باعث شده که بتوان به صورت خیلی دقیقی طول موج کانال را تنظیم کرد. در فرستنده سطح منطق 0 بالاتر از سطح آستانه لیزر است، پس برای منطق 0 یک سیگنال با سطح کمی ارسال می شود، که باعث می شود پدیده جابجایی سریع طول موج لیزر کاهش یابد. در نهایت سبب بهبود پهنای خط شده از این رو کاهش پاشندگی را به همراه دارد. حداکثر توان به ازای هر کانال و مجموع توان کانالها بایست کمتر از حدی باشد که اثرات غیر خطی فیبر ظاهر شوند. به این دلیل برای هر کانال میزان سطح توان 9 dBm- در نظر گرفته شده است، و مجموع توان کانالها هم به 0 dBm نمی رسد. پس در این سیستم اثرات غیر خطی SRS و SSB چون به سطوح توانی بالاتری نیاز دارند، مساله ساز نخواهند شد.

¹ Laser Receiver Card

- سیستم WDM شرکت NEC : این سیستم ۴۰ کاناله و قابل ارتقاء به ۸۰ کانال است که جزئیات فنی آن در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت NEC

SpectralWave 40/80		Name
NEC Tokyo Japan		Company
80 (C-band+L-band)		Maximum Number of Wavelengths
C-band (1530.3~1562.2 nm)		Operating Wavelength
L-band (1574.5~1608.3 nm)		
STM-64		Line Interface
STM-16		
8 spans × 22 dB (640 km)		System Configuration (2.5 Gbps)
6 spans × 25 dB (540 km)		
5 spans × 30 dB (500 km)		
2 spans × 33 dB (220 km)		
Client Interfaces		
STM-64		
STM-16		
STM-4		
STM-1		
100M~1.25Gbps (PDH, GB Ethernet, Fiber Channel, Digital Video, etc)		
ODM		
20ch add/drop		Selectable wavelength type
4ch add/drop		Fixed wavelength type
Supervisory Channel		
1510 nm ±10 nm		Wavelength
Reliable Performances		
G.664 compliant APR (Automatic Power Reduction) for safety		
APC (Auto Power Control) for each channel upgrade		
AWG (Arrayed Wave-guide Grating) in OMUX for Fail safe		
Keep Alive for the change of the change of the number of wavelength		
B1/J0 byte monitoring		
STM-64 Optical Interface Parameters		
9,953,280 Mbps		Numerical bit rate
Long-haul	Short-haul	Application
1530~1565nm	1530~1565nm	Wavelength
+11 dBm	+2 dBm	Maximum laser power
+9 dBm	-1 dBm	Minimum laser power
-26 dBm	-14 dBm	Minimum sensitivity of Receiver
-9 dBm	-1 dBm	Minimum over load of Receiver
STM-16 Optical Interface Parameters		
2,488,320 Mbps		Numerical bit rate
Long-haul	Short-haul	Application
1530~1565nm	1266~1360nm	Wavelength
+13 dBm	-3 dBm	Maximum laser power
+10 dBm	-10 dBm	Minimum laser power
-28 dBm	-18 dBm	Minimum sensitivity of Receiver
-9 dBm	-3 dBm	Minimum over load of Receiver



ادامه جدول ۵: مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت NEC

STM-4 Optical Interface Parameters		
622,080 Mbps		Numerical bit rate
Long-haul	Short-haul	Application
1480~1580nm	1261~1360nm	Wavelength
+2 dBm	-8 dBm	Maximum laser power
-3 dBm	-15 dBm	Minimum laser power
-32.5 dBm	-23 dBm	Minimum sensitivity of Receiver
1 dBm	1 dBm	Minimum over load of Receiver
STM-1 Optical Interface Parameters		
155,520 Mbps		Numerical bit rate
Long-haul	Short-haul	Application
1270~1360nm	1260~1360nm	Wavelength
0 dBm	-8 dBm	Maximum laser power
-5 dBm	-15 dBm	Minimum laser power
-34 dBm	-23 dBm	Minimum sensitivity of Receiver
-10 dBm	-8 dBm	Minimum over load of Receiver
Interface Parameters		
8 slot × 2.5 Gbps		Interface Capacity
4 slot × 10 Gbps		
8 slot × 2M/34M/45M		
Gigabit Ethernet Interface 1000BASE-SX		
1.25 Gbps ±100ppm		Bit rate
50 μm/62.5 μm MMF		Optical Fiber
770 ~ 860 nm		Wavelength
-9.5 ~ 0 dBm		Average launch power
-17 ~ 0 dBm		Receiver Power
550 m (50 μm MMF) 275m (62.5 μm MMF)		Maximum transmission
9 dB		Extinction ratio
Gigabit Ethernet Interface 1000BASE-LX		
1.25 Gbps ±100ppm		Bit rate
50 μm/62.5 μm MMF, SMF		Optical Fiber
1270 ~ 1355 nm		Wavelength
-11 ~ -3 dBm		Average launch power
-19 ~ -3 dBm		Receiver Power
550 m (MMF) 5 km (SMF)		Maximum transmission
9 dB		Extinction ratio
STM-1 Interface (electrical)		
155.520 Mbps ±20 ppm		Bit rate
75 ohms unbalanced		Impedance
CMI		Code
140 Mbps		
139.264 Mbps ±15 ppm		Bit rate
75 ohms unbalanced		Impedance
CMI		Code
45 Mbps		
44.736 Mbps ±20 ppm		Bit rate
75 ohms unbalanced		Impedance

ادامه جدول ۵: مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت NEC

B3ZS	Code
34 Mbps	
34.368 Mbps ± 20 ppm	Bit rate
75 ohms unbalanced	Impedance
HDB3	Code
2 Mbps	
2.048 Mbps ± 50 ppm	Bit rate
120 ohms balanced 75 ohms unbalanced	Impedance
HDB3	Code
LCT Interface	
RS-232C	Electrical Interface
19200 bps	Bit Rate
8 data bits No parity bit	Format
Full duplex	Communication
1	Number of ports
9-pin D-sub	Connectors
NMS Interface	
Ethernet (10BaseT), DCCr (D1-D3) DCCm (D4-D12)	Qnx and Qecc Interface Physical Interface
TL1/OSI, TL1/OSI over TCP/IP	Protocol

- سیستم WDM شرکت HUAWEI ۱۶: این سیستم کاناله و قابل ارتقاء به ۳۲ کانال است که مشخصات فنی آن در جدول ۶ و مشخصات فنی بخش ترانسپوندر آن در جدول ۷ آمده است.

جدول ۶: مشخصات دقیق سیستم WDM شرکت HUAWEI [۳۰]

OptiX Metro 6100	Name
HUAWEI China	Company
16/32 channel	Number of Wavelengths
11 spans × 9 dB (330 km)	System Configuration
6 spans × 23 dB (432 km)	
Monitoring Channel	
1310 nm or 1510 nm	Wavelength
Client Interfaces	
SDH: STM-1/-4-16	
SONET: OC-3/-12/-48	
ATM POS: STM-4c/-16c	
Ethernet service 100M/GE	
ESCON/FICON/FC: 45 Mbps ~ 1.25 Gbps	

جدول ۷: مشخصات چند نمونه ترانسپوندر شرکت HUAWEI

2×Gigabit Ethernet LDG	Gigabit Ethernet (1.25Gbps) LWE	45M~1.25Gbps LWX	155M/622M/2.5G bps LWM	HUAWEI Transponder
IEEE 802.3Z	IEEE 802.3Z	Any Rate	ITU-T G.957	Accept Standard
ITU-T G.692	ITU-T G.692	ITU-T G.692	ITU-T G.692	Output Standard
3R, Bi-Directional	3R, Bi-Directional	2R, Bi-Directional	3R, Bi-Directional	Function
Modulator	Modulator	Modulator	Modulator	Driver
		2 km	2 km	Transmit Length at 2.5 Gbps
Parameters (PIN)		Parameters (APD)	Unit	Receiver Part (TWC)
-18		-25	dBm	Receiving Sensitivity
>27		>27	dB	Receiving Reflection
0		-9	dBm	Overload Power
1280~1565		1280~1565	nm	Input Wavelength Range
Parameters (Direct Modulated Laser)		Parameters (EA Laser)	Unit	Transmitter Part
MQW-DFB-LD		MQW-DFB-LD		Normal Source Type
0.5		0.2	nm	Optical Spectrum Characteristics
30		35	dB	-Maximum -20dB Bandwidth
ffs		ffs	A	-Minimum SMSR
192.1~195.2		192.1~195.2	THz	-Chirp Central Frequency
$\leq \pm 10$		$\leq \pm 10$	GHz	-Nominal Central Frequency
+7		0	dBm	-Central Frequency Deviation
-10		-10	dBm	Mean launched power
+8.2		+10	dB	-Maximum
1800		12800	ps/nm	-Minimum
Matching G.957		Matching G.957		Minimum Extinction Ratio
				Tolerable
				Eye Pattern
Parameters (Multimode)		Parameters (Monomode)	Unit	Receiver Part (LWM)
-16		-16	dBm	Receiving Sensitivity
>12		>27	dB	Receiving Reflection
-3		-3	dBm	Overload Power
1300		1280~1565	nm	Input Wavelength Range
Parameters (Direct Modulated Laser)		Parameters (EA Laser)	Unit	Transmitter Part

ادامه جدول ۷: مشخصات چند نمونه ترانسپوندر شرکت HUAWEI

MQW-DFB-LD	MQW-DFB-LD		Normal Source Type Optical Spectrum Characteristics -Maximum -20dB Bandwidth -Minimum SMSR -Chirp
0.5 30 ffs	0.2 35 ffs	nm dB A	Central Frequency -Nominal Central Frequency -Central Frequency Deviation Mean Launched Power -Maximum -Minimum Minimum Extinction Ratio Tolerable Eye Pattern
192.1~195.2 $\leq \pm 10$	192.1~195.2 $\leq \pm 10$	THz GHz	
+7 -10 +8.2 1800 Matching G.957	0 -10 +10 12800 Matching G.957	dBm dBm dB ps/nm	
Parameters (multimode)	Parameters (monomode)	Unit	Receiver Part (LWX)
-16 >12 -3 850, 1300	-16 >27 -3 1280~1565	dBm dB dBm nm	Receiving Sensitivity Receiving Reflection Overload Power Input Wavelength Range
Parameters (Direct Modulated Laser)	Parameters (EA Laser)	Unit	Transmitter Part
MQW-DFB-LD	MQW-DFB-LD		Normal Source Type Optical Spectrum Characteristics -Maximum -20dB Bandwidth -Minimum SMSR -Chirp Central Frequency -Nominal Central Frequency -Central Frequency Deviation Mean Launched Power -Maximum -Minimum Minimum Extinction Ratio Tolerable Eye Pattern
0.5 30 ffs	0.2 35 ffs	nm dB A	
192.1~195.2 $\leq \pm 10$	192.1~195.2 $\leq \pm 10$	THz GHz	
+7 -10 +8.2 1800 Matching G.957	0 -10 +10 12800 Matching G.957	dBm dBm dB ps/nm	
Parameters	Unit	Receiver part (LWE,LDG)	
-20*/-17** 12 -3*/0** 1270~1355*/770~860**	dBm dB dBm nm	Receiving Sensitivity Receiving Reflection Overload Power Input Wavelength Range	

در ادامه لیستی از سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف به همراه مختصری از مشخصات فنی آنها در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸: لیست سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف

Company Name	Model	Equipment Type	Application	Maximum no. of wavelengths supported	Wavelength channel spacing (GHz)	Transmission Rates: Minimum	Maximum	Network Capability	Direct Interfaces	Add/Drop Capability
<u>ADVA AG Optical Networking</u>	FSP 500 Managed fiber service platform		Interoffice, MAN, LAN	1-4 per fiber pair		1.5 Mbits/sec	2.5 Gbits/sec	Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, FastEthernet	Passive
<u>ADVA AG Optical Networking</u>	FSP 1000 Optical feeder system		MAN	8 per fiber pair	200	100 Mbits/sec	1.25 Gbits/sec	Linear	SONET/SDH, GbE, Video, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	Passive
<u>ADVA AG Optical Networking</u>	FSP 2000 Scalable enterprise solution		Interoffice	32/64/128/256	200			Linear	ATM, GbE, Other, ESCON, 10-GbE	Passive
<u>ADVA Optical Networking</u>	Fiber service platform	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Interoffice, MAN, LAN	32	200	10 Mbits/sec	10 Gbits/sec	UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Other, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	Passive, Dynamic
<u>Advanced Fibre Communications Inc</u>	TransMAX 1500	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	Interoffice, LAN	8 unprotected, 4 protected		OC-1	10 Gbits/sec	UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, Video, Fibre Channel, ESCON	Dynamic
<u>Alcatel</u>	1640 WM	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Long Distance, Submarine	160	50	STM-16	STM-64		SONET/SDH, GbE, 10-GbE	Dynamic
<u>Alcatel</u>	1686 WM	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Long Distance, Submarine	32	50	STM-16	STM-64		SONET/SDH, GbE, 10-GbE	Dynamic

ادامه جدول ۸: لیست سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف

Company Name	Model	Equipment Type	Application	Maximum no. of wavelengths supported	Wavelength channel spacing (GHz)	Transmission Rates: Minimum	Maximum	Network Capability	Direct Interfaces	Add/Drop Capability
<u>All Optical Networks Inc</u>	MetroScout	Optical Terminal Mux	Interoffice, MAN	8 per fiber pair		1 km	40 km	Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	N/A
<u>Altamar Networks</u>	Titanium Optical Transport System	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	MAN, Long Distance	160	50	2.5	10	BLSR, UPSR, Linear	SONET/SDH, GbE, 10-GbE	Dynamic
<u>Applied Innovation Inc</u>	LuxConnect	Optical Terminal Mux	MAN	8 channels			10	Linear	GbE	N/A
<u>Ceyba</u>	C420 Dynamic Optical Networking System	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Interoffice, Long Distance, Submarine	160	50, 100	10	40	UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, IP, 10-GbE	Passive, Dynamic
<u>CIENA Corp</u>	MultiWave coreStream	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Long Distance	96	25, 50, 100	OC-12 (622 Mb/s)	10 Gb/s	Linear	SONET/SDH, ATM, IP	Dynamic
<u>DITECH Communications Corp</u>	Palette transponder/ TRP MR	Other	MAN, Long Distance	1532.68-1560 nm (per ITU grid)	50, 100, 200	155 Mb/s, 622 Mb/s	1.25 Gb/s, 2.5 Gb/s		SONET/SDH	N/A
<u>DITECH Communications Corp</u>	Palette transponder/ TRP 155	Other	MAN, Long Distance	1532.68-1560 nm (per ITU grid)	50, 100, 200	155 Mb/s	155 Mb/s		SONET/SDH	N/A
<u>DITECH Communications Corp</u>	Optical telemetry system/OTS-1510	Other	Interoffice, MAN, Long Distance, LAN, Other		Other	1510 nm		Other	IP, Other	N/A
<u>Fiber Optic Network Solutions (FONS)</u>	DWDM (4-, 8-, 16-channel)	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	MAN, LAN		50, 100				Fibre Channel	Passive
<u>Fiberdyne Labs Inc</u>	FAM-(xxx)	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	Interoffice, MAN, Long Distance, LAN, Other	72	100, 200					Passive

ادامه جدول ۸: لیست سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف

Company Name	Model	Equipment Type	Application	Maximum no. of wavelengths supported	Wavelength channel spacing (GHz)	Transmission Rates: Minimum	Maximum	Network Capability	Direct Interfaces	Add/Drop Capability
<u>Harmonic Inc</u>	CURBswitch/FCS 9000		MAN	2		100 Mbts/sec	1000 Mbts/sec		GbE, IP	N/A
<u>Ibsen Photonics A/S</u>		Other	MAN, Long Distance	80	50					N/A
<u>JDS Uniphase Corp</u>	Dynamic gain equalizer	Optical line amplifier	Long Distance		25, 50, 100	10 Gbts/sec	40 Gbts/sec			N/A
<u>Koheras A/S</u>	AKUSTIK fiber laser		MAN		25, 50				Fibre Channel	N/A
<u>Laser Comm</u>	Hi-mode dispersion-management device		MAN, Long Distance	Any	25, 50, 100, 200	10 Gbts/sec	40 Gbts/sec	BLSR, UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Other	N/A
<u>Lightconnect</u>	Dynamic channel equalizer	Other	Long Distance, Other	C or L band						
<u>Lightscape Networks</u>	XDM	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Interoffice, MAN, Long Distance, LAN	32/64, 40/80/160	50, 100	2/45 Mbts/sec	10 Gbts/sec	BLSR, UPSR, Linear	SONET/SDH, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	Dynamic
<u>Luminous Networks</u>	PacketWave metro optical access platform	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	Interoffice, MAN	33	100, 200	622 Mbts/sec	2.5 Mbts/sec	Linear	SONET/SDH, GbE, IP, Video	Dynamic
<u>Meriton Networks</u>	3300 OSU (optical services unit)	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	Interoffice, MAN		100	100 Mbts/sec	10 Gbts/sec	UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, ESCON, 10-GbE	Dynamic
<u>Meriton Networks</u>	7200 OADX (optical add/drop switch)	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	Interoffice, MAN, LAN	128 bi-directional wavelengths scalable to 512 bi-directional wavelengths	100	100	2,710	BLSR, UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON	Passive, Dynamic
<u>Meson Fiber Optics</u>	Optimizer ultra 4/8 RFM 4355-8355	Optical Terminal Mux	Interoffice, MAN, LAN	8	100	40 Mbts/sec	1.5 Gbts/sec	Other	SONET/SDH, ATM, GbE, Other	N/A
<u>MetroPhotonics</u>	SurePath multiplexer	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	MAN, Long Distance, Submarine	40	100				Other	Passive, Dynamic

ادامه جدول ۸: لیست سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف

Company Name	Model	Equipment Type	Application	Maximum no. of wavelengths supported	Wavelength channel spacing (GHz)	Transmission Rates: Minimum	Maximum	Network Capability	Direct Interfaces	Add/Drop Capability
<u>MetroPhotonics</u>	SurePath equalizer	Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	MAN, Long Distance	40	100	Transparent		Other		Dynamic
<u>MRV Communications Inc</u>	LambdaDriver/LD1600	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Interoffice, MAN, Long Distance	16	100, 200	10 Mbits/sec	2.5 Gbits/sec	BLSR, UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, Other	Passive
<u>NetTest</u>	MICS Gaussian	Optical Terminal Mux	MAN, Long Distance, Submarine	44	50, 100		10-40 Gbits/sec	Other	Other	N/A
<u>NetTest</u>	MICS flat top	Optical Terminal Mux	MAN, Long Distance	40	50, 100		10-40 Gbits/sec	Other	Other	N/A
<u>NetTest</u>	DynaMics channel equalizer	Other	MAN, Long Distance, Submarine	40	50, 100			Other	Other	N/A
<u>Nortel Networks</u>	OPTera Long Haul 1600	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Long Distance	112	50, 100	GbE	10-GbE	Linear, Other	SONET/SDH, ATM, GbE, 10-GbE	Passive
<u>O-Net Communication Ltd</u>	Optical-line amplifier	Optical line amplifier	MAN, LAN	C-band, All wavelength	100	155 Mbits/sec	2.5 Gbit/sec	Linear	SONET/SDH, ATM	N/A
<u>Opthos</u>	IW1000	Other	MAN	64	100		10 Gbits/sec		SONET/SDH, ATM, GbE, Video, Fibre Channel, IP, ESCON, 10-GbE	Dynamic
<u>Packetlight Networks</u>	PL-16000	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Other	Interoffice, MAN	32	100, 200	DS-3	OC-192	BLSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON	Passive, Dynamic

ادامه جدول ۸: لیست سیستمهای WDM از شرکتهای مختلف

Company Name	Model	Equipment Type	Application	Maximum no. of wavelengths supported	Wavelength channel spacing (GHz)	Transmission Rates: Minimum	Maximum	Network Capability	Direct Interfaces	Add/Drop Capability
<u>Packetlight Networks</u>	PL-16000, PL-1000	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier, Other	Enterprise Storage, DWDM Backbone, Interoffice, MAN	PL-16000: 32 protected, 64 unprotected; PL-1000: 4 protected, 8 unprotected	100, 200	PL-1000: DS-1/E1, PL-16000 - DS-3/E3	OC-192/STM-64, 10GbE	2F/4F BLSR/MS-SPRing, APS/MSP Linear, Other	PDH, SONET/SDH, GbE, Video, Fibre Channel, ESCON, FastEthernet, DS-3, 10-GbE	Passive, Dynamic, Any service to any lambda in any combination
<u>PANDATEL AG</u>	Formux 3000	Optical Terminal Mux	Interoffice, MAN, LAN	32	200	10	2.5 Gbit/sec		SONET/SDH, ATM, GbE, IP	Passive
<u>Red-C Optical Networking</u>	Senior 7000-Dynamic EDFA	Optical line amplifier	MAN, Long Distance	80	100, 200		40 Gbits/sec		SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, ESCON	Dynamic
<u>Sorrento Networks</u>	GigaMux/EP C	Optical Transport, Optical Add/Drop Mux	MAN, Interoffice, LAN extension, Regional, SAN, TDM	64	100	16 Mbits/sec	10 Gbits/sec	Linear, Add-Drop, Ring, Mesh	SONET/SDH, GbE, IP, Digital Video, 1G & 2G Fibre Channel, ESCON	Yes
<u>Telecom Engineering Inc</u>	DWDM TIWM	Other	Interoffice, MAN, Long Distance	Customizable	50, 100, 200, 25	OC-3	OC-192	Other	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	Passive
<u>Tellabs</u>	7100 Optical transport system/7110 Optical transport node	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	Interoffice, MAN, LAN			100	10	UPSR, Linear	SONET/SDH, ATM, GbE, IP, Video, Fibre Channel, ESCON, 10-GbE	Passive
<u>Tellabs</u>	7200 optical transport system	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux, Optical line amplifier	MAN, Long Distance, Submarine	32	100	2.5	10	Linear	SONET/SDH, 10-GbE	Passive
<u>Valdor Fiber Optics Inc/GCT</u>	Thin-film filter DWDM		MAN, Long Distance	80	100, 200					Passive
<u>White Rock Networks</u>	VLX1010 coarse and dense WDM shelf	Optical Terminal Mux, Optical Add/Drop Mux	MAN	8		OC-48 (2.5 Gbits/sec)	OC-48x8 (20 Gbits/sec)	Other	SONET/SDH	

۱۰. قیمت نمونه سیستم و تجهیزات تست و اندازه گیری

لیست قیمت اجزای سیستم DWDM 32Ch شرکت NEC که برنده مناقصه شماره ۷۹/۱۱۵ شرکت مخابرات دیتا ایران شده است در جدول ۹ آمده است [۳۱]. این لسیت شامل قیمت کلیه اجزاء، تجهیزات لازم و هزینه‌های نصب و راه‌اندازی یک سیستم DWDM است.

جدول ۹: لیست قیمت اجزای سیستم DWDM از شرکت NEC

DWDM EQUIPMENT	
DESCRIPTION	Unit Price US\$
-Spectral Wave32	
Terminal AMP SUBRACK	550.00
TX TRANSPONDER SUBRACK	768.00
RX TRANSPONDER SUBRACK	768.00
POWER DISTRIBUTION PANEL TYPE-A	154.00
POWER DISTRIBUTION PANEL TYPE-B	154.00
-Common Units	
EXTERNAL INTERFACE UNIT	31.00
AGENT UNIT	179.00
MANAGER UNIT FOR TERM AMP	294.00
AUXILIARY A UNIT	69.00
VOICE FREQUENCY UNIT	18.00
EXTENTION BUS UNIT	263.00
MANAGER UNIT FOR TXPND	356.00
-Optical Interfaces	
TX OPT AMP UNIT	4,435.00
RX OPT AMP UNIT (22dB)	5,396.00
OPTICAL MULTIPLEXER 1	3,296.00
OPTICAL DEMULTIPLEXER 1	3,296.00
-TRPD	
TRANSPONDER TX UNIT	3,193.00
TRANSPONDER RX UNIT	2,232.00
-Cable kit	
Cable Kit A	54,640.00
FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 10m, OMUX to TX TPND)	22,800.00
FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 0.2m, OMUX to RX TPND)	5,000.00
FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 0.5m, ODMUX to TX AMP)	11,160.00

ادامه جدول ۹: لیست قیمت اجزای سیستم DWDM از شرکت NEC

-Network Management	
INC-100MS Network Management System Application Software for Server Following are hardware for spec for the server SUN ULTRA 60 or equivalent 1G byte RAM(Minimum) 9G byte Hard Disk (Minimum) 3.5 Inch Floppy Disk 644M byte Internal SUN CD2 PLUS 4mm Tape Driver	25,121.00
Application Software for Client Following are hardware for spec for the client PENTIUM 111/500 System Giga byte 6VA + Mother board Intel Pentium 111/500 MHz Spectek 256MB SDRAM Asus 50x CD_ROM Driver Quantum 30G H.D.D Teac 3.5 F.D.D Trident 9750 AGP Graphic Card ATX 300W Mini Tower Case Turbo Media Key board Genius Net Mouse pro LG 15" 575E TCO Digital Monitor	13,680.00
Application Software for LCT Application Software for U-Node Following are hardware for spec for the LCT Toshiba TECRA 8100 Note Book CPU: Intel Pentium 111/700 MHz RAM: 128MB H.D.D: 12GB F.D.D: 3.5" DVD ROM DRIVER Monitor 14.1" TFTCD MODEM 56k/V-90 SER/LPT/USB/TV-OUT/INFRARED	979.00
Application Software for DWDM	835.00
LCT CABLE	75.00
-Database	
Database Design and License fee	62,788.00

ادامه جدول ۹: لیست قیمت اجزای سیستم DWDM از شرکت NEC

-Optical Patch cord (for ODF termination)	
LC-SC Patch cord (GbE)	6,882.00
LC/SC Patch cord (STM-1/4)	22,644.00
FC-PC/SC Patch cord (U-Node, DWDM32, Line)	93,240.00
SC Pigtail (DWDM32, AMP, Line)	4,160.00
SC/SC Optical Adapter (GbE, STM-1/4, DWDM32, Line))	20,176.00
-Consumable Spare Parts (Fuse Set)	
MP200 Fuse	39.00
MP05 Fuse	39.00
-O & M Accessories	
Test Cord Set (STM-1E)	44.00
Fiber Patch Cord FC-FC (2m)	128.00
Fiber Patch Cord FC-LC (2m)	128.00
Fiber Patch Cord FC-SC (2m)	128.00
MT-669N OW Headset	82.00
2W Telephone Set	49.00
-Test Equipment	
MP1570A PDH/SDH Analyzer MP1570A-10 SDH MP1570A-11 SONET MP0121A 2/8/34/139M unit MP0113A Optical 156/622M unit MU150010A 2.5G unit MU150011A 2.5G jitter unit B0448 Soft Case B0336C Carrying Case Z0169 Thermal Paper J0796B DIN Connector J0775D Coaxial Cord 2m (75 ohm) J0776D Coaxial Cord 2m (50 ohm)	65,105.00
MW9070B OTDR MW0972C SMF 1.31/1.55 nm UNIT MZ5018A BATTERY PACK MX3607B OTDR EMULATION SOFTWARE	18,262.00
MS9710C Optical Spectrum Analyzer B0336C Hard Carrying Case J0617B Replaceable Optical Connector (FC) J0618E Replaceable Optical Connector (DIN) Z0312 Printer Paper G0084A	23,072.00

ادامه جدول ۹: لیست قیمت اجزای سیستم DWDM از شرکت NEC

MS9020D w/MA9621A Optical Power Meter	1,836.00
MS0909A Stabilized Light Source	3,992.00
FD440 Chromatic Dispersion Measurement equivalent	57,252.00
-Installation	
Materials	139,501.00
-Training	
O/M course	444,977.00
Installation course	
Planning and Engineering course	
-Three Months O/M	
Installation SV & Commissioning	0.00

قیمت یک سیستم DWDM ۳۲ کاناله که تنها شامل اجرای مورد نیاز بدون هزینه‌های تجهیزات تست، اندازه‌گیری، نصب و آموزش و همچنین بدون در نظر گرفتن قطعات و بردهای یدکی مورد نیاز سیستم از شرکت NEC در جدول شماره ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰: لیست قیمت کل و اجزای یک سیستم DWDM ۳۲ کاناله از شرکت NEC

Amount US\$	Unit Price US\$	Qt'y	NEC DWDM32 Equipment
			Spectral Wave32
550.00	550.00	1	Terminal AMP SUBRACK
768.00	768.00	1	TX TRANSPONDER SUBRACK
768.00	768.00	1	RX TRANSPONDER SUBRACK
154.00	154.00	1	POWER DISTRIBUTION PANEL TYPE-A
154.00	154.00	1	POWER DISTRIBUTION PANEL TYPE-B
2,394.00			Sub-total
			Common Units
31.00	31.00	1	EXTERNAL INTERFACE UNIT
179.00	179.00	1	AGENT UNIT
294.00	294.00	1	MANAGER UNIT FOR TERM AMP
69.00	69.00	1	AUXILIARY A UNIT
18.00	18.00	1	VOICE FREQUENCY UNIT
263.00	263.00	1	EXTENTION BUS UNIT
356.00	356.00	1	MANAGER UNIT FOR TXPND
1,210.00			Sub-total

ادامه جدول ۱۰: لیست قیمت کل و اجزای یک سیستم DWDM ۳۲ کاناله از شرکت NEC

			Optical Interfaces
4,435.00	4,435.00	1	TX OPT AMP UNIT
5,396.00	5,396.00	1	RX OPT AMP UNIT (22dB)
3,296.00	3,296.00	1	OPTICAL MULTIPLEXER 1
3,296.00	3,296.00	1	OPTICAL DEMULTIPLEXER 1
16,423.00			Sub-total
			TRPD
102,176.00	3,193.00	32	TRANSPONDER TX UNIT (CH1~32)
71,424.00	2,232.00	32	TRANSPONDER RX UNIT (CH1~32)
173,600.00			Sub-total
			Cable Kit
54,640.00	54,640.00	1 Lot	Cable Kit A
22,800.00	22,800.00	1 Lot	FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 10m, OMUX to TX TPND)
5,000.00	5,000.00	1 Lot	FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 0.2m, OMUX to RX TPND)
11,160.00	11,160.00	1 Lot	FC-PC Optical Patch Cord (1 Lot of 0.5m, ODMUX to TX AMP)
93,600.00			Sub-total
			Network Management
25,121.00	25,121.00	1	INC-100MS Network Management System Application Software for Server
13,680.00	13,680.00	1	Application Software for Client
979.00	979.00	1	Application Software for U-Node (LCT)
835.00	835.00	1	Application Software for DWDM (LCT)
75.00	75.00	1	LCT CABLE
62,778.00	62,778.00	1	Database Design and License fee
103,468.00			Sub-total
			Optical Patch cord (for ODF termination)
6,882.00	6,882.00	1 Lot	LC-SC Patch cord (GbE)
22,644.00	22,644.00	1 Lot	LC/SC Patch cord (STM-1/4)
93,240.00	93,240.00	1 Lot	FC-PC/SC Patch cord (U-Node, DWDM32, Line)
4,160.00	4,160.00	1 Lot	SC Pigtail (DWDM32, AMP, Line)
20,176.00	20,176.00	1 Lot	SC/SC Optical Adapter (GbE, STM-1/4, DWDM32, Line))
147,102.00			Sub-total

ادامه جدول ۱۰: لیست قیمت کل و اجزای یک سیستم DWDM ۳۲ کاناله از شرکت NEC

			Consumable Spare Parts (Fuse Set)
39.00	39.00	1	MP200 Fuse
39.00	39.00	1	MP05 Fuse
1,287.00			Sub-total
			O & M Accessories
44.00	44.00	1	Test Cord Set (STM-1E)
128.00	128.00	1	Fiber Patch Cord FC-FC (2m)
128.00	128.00	1	Fiber Patch Cord FC-LC (2m)
128.00	128.00	1	Fiber Patch Cord FC-SC (2m)
82.00	82.00	1	MT-669N OW Headset
49.00	49.00	1	2W Telephone Set
559.00			Sub-total
538,434.00			Grand Total

۱۱. تجهیزات و وسایل اندازه گیری

تجهیزات مورد استفاده در سیستمهای WDM عموماً همان تجهیزاتی است که در سیستمهای نوری استفاده می شود از جمله این دستگاهها که کاربرد عمومی و خاص WDM دارند میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

آنالایزر طیف نوری ¹OSA

اندازه گیر توان نوری ²OPM

اندازه گیر نور بازگشتی در حوزه زمانی ³OTDR

اندازه گیر توان نوری بازگشتی ⁴ORL

اندازه گیر و آنالایزر پاشندگی رنگی CD-A

اندازه گیر و آنالایزر پلاریزیشن PMD-A

¹ Optical Spectrum Analyzer

² Optical Power Meter

³ Optical Time Domain Reflectometer

⁴ Optical Return Loss

ولی از جمله تجهیزات خاص سیستمهای WDM می توان به منبع لیزر قابل تنظیم^۱ اشاره کرد. که برای تست وابستگی به طول موج ادوات مختلف شبکه بکار می رود. شکل (۷۲) تصویری از این را نشان می دهد این دستگاه که مدل FLS-2600 از شرکت EXFO است قابلیت تولید طیف لیزر با قابلیت تنظیم 100nm (1510 nm ~ 1610 nm)، میزان تنظیم 1 pm و توان نوری تا 0 dBm را دارد.



شکل ۷۲: تصویری از دستگاه منبع لیزر قابل تنظیم

در جدول ۱۱ لیستی از شرکتهای تولید کننده تجهیزات و وسایل اندازه گیری و تست سیستمهای نوری به همراه مشخصات آنها ارائه شده است [۳۲].

^۱ Tunable Laser Source

جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

Company Name	Model	Application	Wavelength Range, If applicable (nm):	Accuracy (if applicable)	If Software, Operating System	For Network/Element Management, Number of Nodes/Elements Supported	Management Interfaces Supported (e.g., SNMP, TL-1)
EXFO	FTB-5800 chromatic dispersion analyzer	Field/Installation, Network Management	1530-1625	0.1			
EXFO	FTB-9100 optical switch module	Field/Installation, Network Management					
EXFO	FibeVisor RFTS	Field/Installation, Network Management, Element Management	1250-1650				
EXFO	Packet Blazer	Field/Installation	850-1310	Bits	Windows 2000		
EXFO	Visual Guardian (EMS client-server)	Network Management, Element Management			Windows NT/2000/XP	100 nodes, 20 clients	SNMP, TL1, SCPI, CORBA, XML
JDS Uniphase Corp	PDL multimeter (PS3 series)	Lab/Design, Production	980 -1650	$\pm(0.005 \text{ dB} + 5\% \text{ of PDL}) \text{ dB}$			
JDS Uniphase Corp	SWS2000 Swept Wavelength System	Lab/Design, Production	1520-1630 (C and L band), 1420-1530 (S-band)	$\pm 2 \text{ pm}$ (in measurement of	Windows		
JDS Uniphase Corp	Bench-top/rack-mount programmable switches (SB/SC/SCG series)	Lab/Design, Production, Network Management	1270-1670 (SMF), 750-940 (MMF), 850-1350, 1270-1670	$\pm 0.005 \text{ dB}$ (single input), $\pm 0.01 \text{ dB}$ (multiple input)		SB-48 channels (max), SC-180 channels (max), SCG-45 input/90 output channels (max)	GPIB, RS232
Agilent Technologies	86120B/C multiwavelength meters	Lab/Design, Production	700	1650	$\pm 3 \text{ ppm}$		GPIB
Agilent Technologies	86122A multiwavelength meters	Lab/Design, Production	1270	1650	$\pm 0.3 \text{ pm}$		GPIB, LAN
Agilent Technologies	86100B Infinium digital communications analyzer (DCA)	Lab/Design, Production	750	1600			

ادامه جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

Agilent Technologies	N4115A high-speed spectral-loss measurement solution	Lab/Design, Production	1460-1640	Abs. wavelength uncertainty ± 1 pm, rel. IL uncertainty ± 0.03 to ± 0.18 dB	Windows NT, Windows 2000		
Agilent Technologies	8156xA and 8157xA modular optical attenuators	Lab/Design, Production	1200-1700	± 0.1 -dB accuracy, ± 0.001 dB resolution			
Agilent Technologies	8159xA/S modular optical switches	Lab/Design, Production	1270-1650	± 0.005 -dB repeatability			
Agilent Technologies	81910A photonic all-parameter analyzer	Lab/Design, Production	1520-1620	Insertion loss 10 dBm, PDL 30 dBm, group delay 50 fs, differential group delay 80 fsec	Windows 2000/NT		
Alidian Networks Inc	Alluminate EMS (element management system)/L3330-001 EMS Server, L2330-001 EMS Client	Network Management, Element Management			EMS Server: SUN Solaris, EMS Client: Windows 98/NT/2000	Up to 10 network elements per EMS Server license; 1 user per EMS Client license	SNMP (current), TL-1 (future)
Alidian Networks Inc	Alluminate Planner/L5300-001	Lab/Design, Field/Installation			Windows 98/NT/2000		
Alliance Fiber Optic Products Inc	Optical network monitor	Network Management	1528-1568	10	MS	Multiple	RS232 TCP/IP
Anritsu Co	MD1230A data quality analyzer	Lab/Design, Production, Field/Install, Network Management				Supports 320 ports with 10M/100M Ethernet module; data rate to 10Gbps	
APCON Inc	IntellaPatch physical layer switches	Lab/Design, Production	Varies			8,16,32, and 64 ports	SNMP, Windows, Linux
Cercis Inc	52-5-6311NA	Lab/Design, Production, Field/Installation	635-670	<0.05			
Cercis Inc	60-1310	Lab/Design, Production, Field/Installation	1310-1550				
Cercis Inc	6120Q-A-1NA	Lab/Design, Production	850-1650				
Ceyba	M900 LightWave Management Suite	Network Management, Element Management			Sun OS	500	TL1, Cobra
Circadiant Systems Inc	Optical standards tester A3303/2.5-Gbit/sec Layer 1, 2, 3	Lab/Design, Production	1250-1620				

ادامه جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

Circadian Systems Inc	Optical standards tester A3306 10-Gbps Layer 1, 2, 3	Lab/Design, Production	1250-1620				
EXFO Burleigh Products Group	Wavemeter WA-1650	optical wavelength measurement	700 to 1650 nm	+/- 0.0003 nm			
EXFO Burleigh Products Group	Wavemeter WA-7600	optical channel analysis	1270 to 1680 nm	+/- 0.0003 nm			
FastPoint Technologies Inc	FPV-215C-8A Touchscreen	Lab/Design, Production, Field/Installation, Network & Element Management		Pixel-level resolution	Drivers for all major operating systems		
FastPoint Technologies Inc	FX-5421 Lightpen	Lab/Design, Production, Field/Installation, Network & Element Management		Pixel-level resolution	Drivers for all major operating systems		
FiberPro	SOP Analyzer (SA2000)	Lab/Design, Production	1250-1640	DOP	Windows		
General Photonics Corp	In-line polarimeter	Lab/Design, Production, Field/Installation	1500-1620	50 psec $\pm$ 1%			
General Photonics Corp	PMD emulator	Lab/Design, Production, Field/Installation	1500-1620	1.36 psec resolution			
Ixia	LMOC-192 load module	Lab/Design	1310	1550		2 ports	MPLS, BGP-4, OSPF, IS-IS
Kingfisher International	Optical talk sets	Field/Installation	1310-1550	Range 50 dB			
Kingfisher International	Fiber identifiers	Field/Installation	600-800				
Kingfisher International	Visible pens/KI6350	Field/Installation	635				
Kingfisher International	Cold clamps	Field/Installation, Network Management	600-1800	Location of fault within ± 1 micron			
Kingfisher International	Kits testing software	Production, Field/Installation, Network Management	600-1800		Windows 95 and later		
LA Techniques Ltd	Pattern generator LA19-01-01	Lab/Design, Production, Field/Installation					
LA Techniques Ltd	Pattern generator L19-02-01	Lab/Design, Production, Field/Installation					
Laser Sharp Corp	High power laser source HPS series	Lab/Design	1100-1600				

ادامه جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

LIGHTech Fiberoptics Inc	Test and measurement LT3000	Lab/Design, Production	300-1700		Windows 95,98,NT,M E,2000,XP		SNMP
LIGHTech Fiberoptics Inc	Bench-top attenuator LT4000	Lab/Design, Production, Field/Installation	300-1700		Windows 95,98,NT,M E,2000,XP		SNMP
LIGHTech Fiberoptics Inc	Matrix switches/LT2000	Lab/Design, Production	300-1700		Windows 95,98,NT,M E,2000,XP		SNMP
Lightwave Electronics	Optical microwave system OMS 2010	Lab/Design, Production		Optical power	Windows 98		
Luciol Instruments	nu-CD chromatic dispersion analyzer	Field/Installation	1310-1620				
Melles Griot	13 Series optical power meters	Lab/Design, Production	200-20,000	± 3% NIST traceable			IEEE
Melles Griot	Rack-mount series optical power meters	Lab/Design, Production	500-2000	± 3% NIST traceable			
Meriton Networks	8600 NMS (network management system)	Network Management, Element Management			Sun, Solaris, PC	1,000	SNMP, TL-1, Corba
Meriton Networks	9200 OSM (optical services manager)	Network Management			Sun, Solaris, PC	1,000	Corba, XML, TL-1
MK Photonics Inc	EPP2000 InGaAs	Lab/Design, Production	900-1700	±.01	Any		
MK Photonics Inc	EPP2000-C	Lab/Design, Production	200-1100	±.01	Any		
Nanonics Imaging Ltd	Optometronic 2000: No-pigtailing active-alignment solution	Lab/Design, Production	400-2000		Windows 2000		SNMP, TL-1
Net Optics Inc	100 km SM fiber test box/FTB/R-AD-2222-100k	Lab/Design, Production, Field/Install, Network Management	All SM wavelengths			Varies	All common
Net Optics Inc	Combo spyder switch 96278-96280	Network Management			Windows compatible	32	All common
Net Optics Inc	redundant port selector 96260-SX	Network Management	850 (SX), 1310 (LX)			1	All common
NetTest	QuestFiber remote fiber test system	Network Management	OTDR: 1300 to 1650, OSA:1540 to 1620		Windows 2000	200+	SNMP, Corba
NetTest	CMA5000	Gigabit Ethernet					
Network Instruments LLC	Observer/8.x/network monitoring	Network Management			Windows 98/NT/2000/XP	Unlimited	Ethernet, token ring, 802.11 wireless, optical gigabit, FDDI

ادامه جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

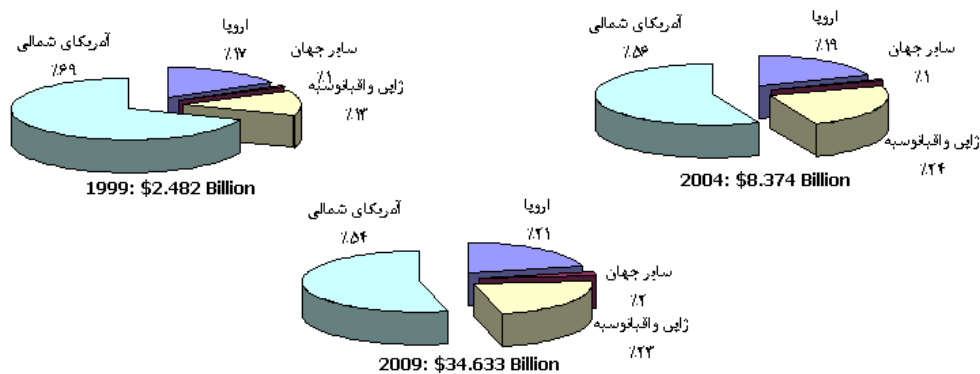
Network Instruments LLC	Gigabit Observer suite system/gigabit analysis	Network Management			Windows 98/NT/2000/XP	Unlimited	Ethernet, token ring, 802.11 wireless, optical gigabit, FDDI
Newport Corp	CoC burn-in	Lab/Design, Production	650-1650				
Newport Corp	Butterfly burn-in	Lab/Design, Production	650-1650				
Newport Corp	ALDCS						
NEXANS	Telecom One	Network Management			Windows NT, 2000; UNIX	Not applicable	
NTT Electronics Corp	ASE light source ASE-1600-CL-B/ASE	Production	1530-1620				
NTT Electronics Corp	ASE light source ASE-1450-S/ASE light source	Production	1450-1510				
NTT Electronics Corp	ASE light source ASE-1500-SCL/ASE light source	Production	1460-1610				
Opcom Ltd	Fiber network simulator	Lab/Design, Production	1310-1550		RS232, GPIB		
OptiConcepts	Fiber spool	Lab/Design, Production, Field/Installation	850-1550				
Optima Research Ltd	nkD-8000	Lab/Design, Production	350-1700		Windows NT, 2000, XP 98		
OZ Optics Ltd	Fiber-optic backreflection meter BM-200	Lab/Design, Production, Field/Installation	1310, 1550	± 0.5			
OZ Optics Ltd	Polarization-dependent loss meter PDL-100	Lab/Design, Production, Network Management	1250, 1650	$\pm 0.005 + 2\%$ of PDL	Windows CE		
PerkinElmer Optoelectronics	CD400 chromatic distribution measurement system	Lab/Design, Production	1290-1650				
PerkinElmer Optoelectronics	OCT8000 passive optical component tester measure of CD, PMO, PDL, IL, RL	Lab/Design, Production	1510-1630				
PerkinElmer Optoelectronics	Chromosn PMO	Lab/Design, Field/Installation, Network Management	1525-1625	Chromatic dispersion 1%, PMD 1.5%			
Prior Scientific Inc	ConnCert automatic fiber end-face inspection system	Production		0.1	Windows 98, Windows 2000, and NT compatible		

ادامه جدول ۱۱: لیست شرکتهای تولید کننده و تجهیزات اندازه گیری و تست سیستمهای نوری

Prior Scientific Inc	Prior Spec II portable fiber-optic inspection microscope	Production, Field/Installation					
Prior Scientific Inc	Fiber-optic bench microscope, for end-face inspection	Lab/Design, Production		0.5			
Racal Instruments Inc	Laser diode test	Lab/Design, Production					
Racal Instruments Inc	Laser diode burn-in and characterization	Lab/Design, Production					
Sensors Unlimited Inc	Near-infrared video camera SU320M	Lab/Design, Production, Network Management, Element Management	900-1700				
Sensors Unlimited Inc	Near-infrared digital camera SU640	Lab/Design, Production, Network & Element Management	900-700				
Spirent Communications	AE 7000 product-line optical-network physical-layer simulator	Lab/Design, Production, Network Management	1530-1620 (varies by product type)	Varies by product type	Microsoft Windows	Users have remote control of network physical optical links and can vary parameters (length, dispersion)	Ethernet IEEE 4888 (instrument bus) SMF physical layer, allows support of all higher-layer protocol
Tektronix Inc	Swept wavelength system OTS9600 ser	Lab/Design, Production	1525-1575	1 pm RMS; 0.2 dB			
Tektronix Inc	PMD/PDL/polarization-measurement system PAT9000B	Lab/Design, Production	960-1700	0.01 psec; 0.02 dB			
Tsunami Photonics Ltd	Close-Grid v1.0	Lab/Design, Production, Field/Installation, Element Management	1500-1650	≤ 1 GHz	Windows 2000		
Varros Telecom	Xpress MS	Network Management, Element Management			Windows NT, Unix, Solaris	No limit	SNMP, TLI, CLI, XML, COBRA, EJB, J2EE, Q3, HTTP, Telnet
Varros Telecom	XpressOPM, and XpressOSM	Network Management, Element Management			Windows NT, Unix, Solaris	No Limit	SNMP, TLI, CLI, XML, CORBA, EJB, J2EE, Q3, HTTP, Telnet
Wilcom Inc	F6230A VFL visual fault locator	Field/Installation	630-670				

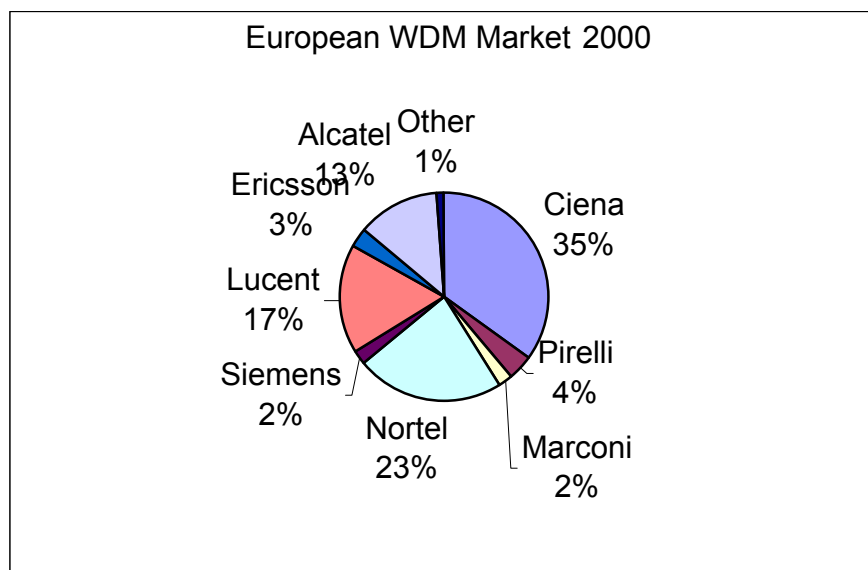
۱۲. پیش‌بینی بازار فروش

نتایج و پیش‌بینی‌های صورت گرفته از بازار فروش ادوات نوری DWDM در سراسر جهان در سال ۱۹۹۹، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ در شکل (۷۳) نشان داده شده است [۳۳].



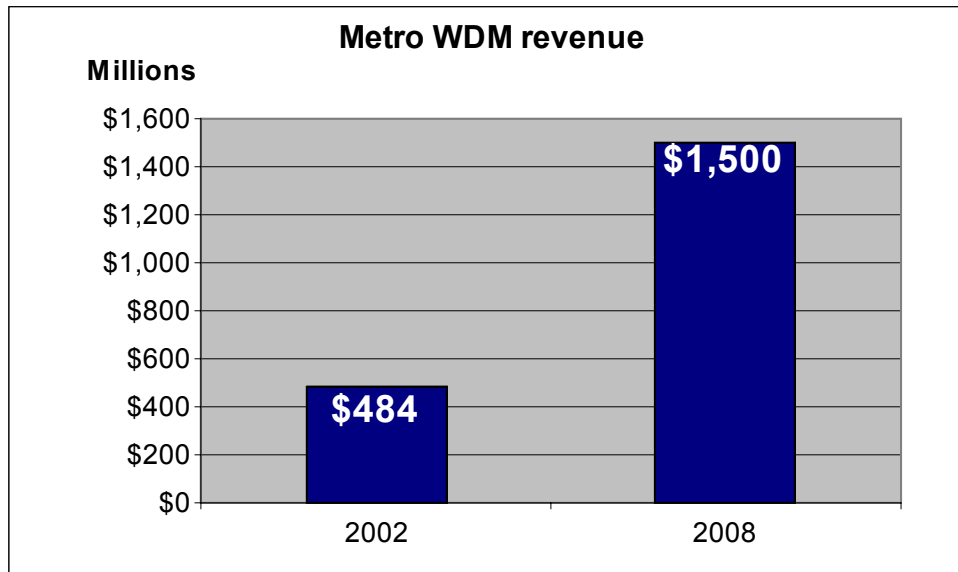
شکل ۷۳: پیش‌بینی فروش جهانی ادوات DWDM در سالهای ۱۹۹۹، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹

فروش سیستمهای WDM در اروپا بر حسب سهم شرکتهای مختلف در نمودار قرصی شکل (۷۴) نشان داده شده است. این نمودار میزان فروش این سیستمها را در سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. مطابق نمودار زیر از شرکتهای مطرح در اروپا می‌توان به Ciena، Nortel، Lucent و Alcatel اشاره کرد [۳۴].



شکل ۷۴: سهم شرکتهای مختلف در فروش سیستمهای WDM در اروپا، سال ۲۰۰۰

بر اساس گزارش سایت اینترنتی IDC که در شکل (۷۵) نشان داده شده است. میزان سود حاصل از فروش سیستمهای WDM شهری در سال ۲۰۰۲ به میزان ۴۸۴ میلیون دلار بوده است و پیشبینی می شود با رشد سالانه ۲۵/۳ درصد، در سال ۲۰۰۸ به یک و نیم بلیون دلار برسد [۳۵].



شکل ۷۵: پیشبینی سود حاصل از فروش سیستمهای WDM شهری

۱۳. مراجع

- [1] A. Shtainhart, R. Segal, and A.Tsherniak, "WDM- Wavelength Division Multiplexing," , <http://www.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>.
- [2] Y. Fujii, J. Minowa, and T. Kanada "Practical two-wavelength multi-Demultiplexer: design and performance," APPLIED OPTICS, Vol22, 1983.
- [3] P.M.FONASH, "Wavelength Division Multiplexing(WDM) Networks," Technical Information Bulletin 00-3,National Communication System, 2000.
- [4] J.P.LAUDE, Wavelength Division Multiplexing, Prentice-Hall, 1994.
- [5] G.Stoll, and S. Loreto, "Telecom 101 for the Utility Industry," Utility Telecom, 2000.
- [6] A. R. Dutton, *Understanding Optical Fiber Communication*, Artech House Inc., 2001.
- [7] "Optical Network," The International Engineering Consortium, Alcatel, 2000.
- [8] "Technical Specification of ZXWM-32", ZTE Corporation, 2001.
- [9] - , "FOCUS 6200 product Description Doc", Tellabs No: pd009-issue 2, 2000.
- [10] Iridian Spectral Technologies Ltd., "Gain Flattening Filter Tutorial ," http://www.iridian.ca/products/Tutorials/products_aboutGFF.htm, 2002.
- [11] G. Levesque and V. Oliver, Guide to WDM Technology and Testing, EXFO, 2000.
- [12] S. wadhvani and T. J. Erickson, "the Light at the End of the Fiber," www.tamirfishman.com/download/optical_components.pdf, 1999.
- [13] Taihan Electric Wire Co., "Optical Fiber Fixed Attenuator(OFFA)," http://www.taihan.com/taihan_eng/prod/wire/comm_FO2_s3.asp?curMenu=wire, 2000.
- [14] S. Cohen, "Novel VOAs provide more speed and utility," *Laser Focus World*, Nov. 2000.
- [۱۵] علی پوراسلامی، طراحی و پیاده سازی قسمت دریافت یک لینک WDM، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۱۳۸۱
- [۱۶] علی امامی، طراحی و پیاده سازی قسمت ارسال یک لینک WDM، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۱۳۸۱
- [17] http://www.transmode.se/app_notes/pdf/app_hybrid_c-d.pdf
- [18] O. Krauss, *DWDM and Optical Networks*, Siemens, 2002
- [19] Technical Description of NEC SpectralWave 40 Channels, NEC Corporation, 2000
- [20] S. V. Kartalopoulos, *DWDM Networks Devices and Technology*, Wiley interscience, 2003

- [21] Y. Tamura, H. Maeda, N. Satoh, and K. Katoh, "Single-Mode Fiber WDM in the 1.2/1.3 μm Wavelength Region," IEEE, J.L.T. Vol.LT-4, 1986.
- [22] "Advanced Photonic (Sub) Systems," IST-OPTIMIST, 2001, <http://www.ist-optimist.org>.
- [23] V. Dhurka, "Wavelength Division Multiplexing-System Level", www.cienciafisica.com/publicaciones01/WDM/wdm013.pdf, 2001.
- [24] G. Levesque and V. Oliver, Guide To WDM Technology & Testing, exfo, 2000.
- [25] S. V. Kartalopoulos, *DWDM Networks Devices and Technology*, John Wiley & Sons Inc, 2003.
- [26] --, SDH FAQ (Frequently Asked Questions), <http://www.nec-optical.com/faq/sdh.html>, 2000
- [27] D. Zhou & S. Ramaniam, Survivability in Optical Networks, IEEE Network, pp16-23, Nov 2000.
- [28] <http://www.osp.ru/lan/2001/07-08/044tab4.htm>
- [29] T. Kearby, R. Beiderbeck, "IBM 9729 Optical Wavelength Division Multiplexer", <http://www.redbooks.ibm.com/pubs/pdfs/redbooks/sg242138.pdf>
- [30] Technical Manual (TM), V1.00R001, HUAWEI Technology Co., Ltd., 2001
- [31] Price Summary for Iran TCI Tender No.79/115 Optical Metropolitan Area Network Equipment, NEC Corporation, 2002
- [32] Other Test, Measurement & Network Management Products, <http://lightwave.365media.com/lightwave/searchResult.asp?cat=481964&d=443&st=1>, April 2003
- [33] Dense Wavelength Division Multiplex Products , ElectroniCast Corporation, <http://www.electronicast.com>
- [34] Market Research of Advanced Technologies for Telecommunication, RHK, <http://www.Rhk.com>.
- [35] New growth drivers have emerged in metro WDM market, http://lw.omessage.com/lrd35_AACitwAAIWgB, Lightwave Direct, May 22, 2003

واژه نامه انگلیسی به فارسی

Access Nodes	نقاط دسترسی
Active switches	سوئیچ های فعال
Agility	چالاکی
Array Waveguide Grating (AWG)	گریتینگ آرایه موجرها
Bar-state	اتصال مستقیم
Better Survivability Capability	توانایی ماندگاری بهتر
Bi-direction	دوطرفه
Bi-directional	دوطرفه
Bidirectional Path-Switching Ring	حلقه سوئیچینگ-مسیر دوطرفه
Bit Error Rate (BER)	نرخ خطای بیت کم
Bus topology	توپولوژی باس
Client signal	سیگنال مشتری
Complexities	پیچیدگی های
Cost of Service	بهای سرویس دهی
Cross-Phase Modulation (XPM)	مدولاسیون فاز متقاطع
Cross-state	اتصال عرضی
Diffraction Grating (DG)	گریتینگ پراش
Disaster Avoidance Capability	قابلیت اجتناب از آسیب
Dispersion Compensation Module (DCM)	ماژول جبران کننده پاشندگی
Doped Fiber Amplifiers (DFA)	تقویت کننده فیبر آلاینده
Elasticity	قابلیت ارتجاعی
Electromagnetic interference	تداخل امواج الکترومغناطیسی
Erbium Doped Fiber Amplifier	تقویت کننده EDFA
Ethernet	اترنت

Fabry-Perot Amplifier	تقویت کننده فابری-پرو
Failure In Time	زمان خرابی
Fiber Bragg Grating (FBG)	گریتینگ براگ فیبری
Flexibility	قابلیت انعطاف
Four-Fiber Ring	حلقه چهار-فیبر
Four-Wave Mixing (FWM)	ترکیب چهار موج
Hub station	ایستگاه هاب
In-line optical amplifier	تقویت کننده هاینوری بین خط
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)	لیزر
Light path	مسیر نوری
Local Area Network	شبکه های LAN
Long Haul	مسافت بلند
Looping Back	حلقه زنی برگشتی
Maintenance Messages	پیامهای نگهداری
Medium Haul	مسافت متوسط
Mesh topology	توپولوژی حلقوی
Metropolitan Area Network	شبکه های MAN
Metropolitan Network topology	توپولوژی شهری
Multimedia	مالتی مدیا
Multimode	چند مد
Multiplex-Section/Shared Protection Ring	حفاظت حلقوی بخش/اشتراک ترکیبی
Multi-Ring Shared Protection	حفاظت مشترک چند-حلقه
Passive routes	روترهای غیر فعال
Point-to-Point topology	توپولوژی نقطه به نقطه
Polarization Maintaining Fiber	پلاریزاسیون PMF
Praseodymium Doped Fluoride Fiber Amplifiers	تقویت کننده PDFFA

Priority	اولویت
Pseudo-Mesh	مش-مجازی
Pump wavelength	پمپ طول موج
Quality of Service	کیفیت سرویس دهی
Raman conversion	تبدیل رامن
Redundancy	افزونگی
Resilience	شبکه ارتجاعی
Ring-to-Ring Protection	حفاظت حلقه-به-حلقه
Scalability	قابلیت بخش شدن
Seamless Evolution	تکامل یکپارچه
Self Healing	خود ترمیمی
Self-Phase Modulation (SPM)	مدولاسیون خود فازی
Semiconductor laser amplifiers	تقویت کننده لیزر نیمه هادی
Short Haul	مسافت کوتاه
Short-haul	مسافت کوتاه
Single mode	تک مد
Single-Fiber Bidirectional Ring	حلقه دوطرفه تک-فیبر
Single-Fiber Unidirectional Ring	حلقه یکطرفه تک-فیبر
Star topology	توپولوژی ستاره
State-of-The-Art	جدیدترین تکنولوژی
Stimulated Brillouin Scattering (SBS)	پراکندگی بریلیون برانگیخته
Stimulated Raman Scattering (SRS)	پراکندگی رامن برانگیخته
Stokes	استوکس
Telemedicine	پزشکی راه دور
Termed Through Traffic	ترافیک گذری
Thin Film Filter (TFF)	فیلترهای لایه نازک

Time Division Multiplexing (TDM)	مالتی پلکس کردن به روش تقسیم زمانی
Transparent	ترانسپرت
Traveling-Wave Amplifier (TWA)	تقویت کننده موج متحرک
Tree topology	توپولوژی درختی
Two Fiber Bidirectional Shelf Healing Ring	حلقه دو فیبری دوجهته خود ترمیمی
Two-Fiber Ring	حلقه دو-فیبر
Ultra Short Haul	مسافت فوق العاده کوتاه
Uni-direction	یکطرفه
Unidirectional Path-Switching Ring	حلقه سوئیچینگ-مسیر یکطرفه
Very Short Haul	مسافت خیلی کوتاه
Wavelength converters	مبدل طول موج
Wavelength Division Multiplexing (WDM)	مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج
Wide Area Network topology	توپولوژی شبکه گسترده
Working	در حال کار

واژه نامه فارسی به انگلیسی

Ethernet	اترنت
Cross-state	اتصال عرضی
Bar-state	اتصال مستقیم
Stokes	استوکس
Redundancy	افزونگی
Priority	اولویت
Hub station	ایستگاه هاب
Cost of Service	بهای سرویس دهی
Stimulated Brillouin Scattering (SBS)	پراکندگی بریلیون برانگیخته
Stimulated Raman Scattering (SRS)	پراکندگی رامن برانگیخته
Telemedicine	پزشکی راه دور
Polarization Maintaining Fiber	پلاریزاسیون PMF
Pump wavelength	پمپ طول موج
Maintenance Messages	پیامهای نگهداری
Complexities	پیچیدگی های
Raman conversion	تبدیل رامن
Electromagnetic interference	تداخل امواج الکترومغناطیسی
Termed Through Traffic	ترافیک گذری
Transparent	ترانسپرت
Four-Wave Mixing (FWM)	ترکیب چهار موج
Erbium Doped Fiber Amplifier	تقویت کننده EDFA
Praseodymium Doped Fluoride Fiber Amplifiers	تقویت کننده PDFFA
Fabry-Perot Amplifier	تقویت کننده فابری-پرو
Doped Fiber Amplifiers (DFA)	تقویت کننده فیبر آلاینده

Semiconductor laser amplifiers	تقویت کننده لیزر نیمه هادی
Traveling-Wave Amplifier (TWA)	تقویت کننده موج متحرک
In-line optical amplifier	تقویت کننده هاینوری بین خط
Single mode	تک مد
Seamless Evolution	تکامل یکپارچه
Better Survivability Capability	توانایی ماندگاری بهتر
Bus topology	توپولوژی باس
Mesh topology	توپولوژی حلقوی
Tree topology	توپولوژی درختی
Star topology	توپولوژی ستاره
Wide Area Network topology	توپولوژی شبکه گسترده
Metropolitan Network topology	توپولوژی شهری
Point-to-Point topology	توپولوژی نقطه به نقطه
State-of-The-Art	جدیدترین تکنولوژی
Agility	چالاکی
Multimode	چند مد
Ring-to-Ring Protection	حفاظت حلقه - به - حلقه
Multiplex-Section/Shared Protection Ring	حفاظت حلقوی بخش / اشتراک ترکیبی
Multi-Ring Shared Protection	حفاظت مشترک چند - حلقه
Four-Fiber Ring	حلقه چهار - فیبر
Two Fiber Bidirectional Shelf Healing Ring	حلقه دو فیبری دوجته خود ترمیمی
Single-Fiber Bidirectional Ring	حلقه دوطرفه تک - فیبر
Two-Fiber Ring	حلقه دو - فیبر
Bidirectional Path-Switching Ring	حلقه سوئیچینگ - مسیر دوطرفه
Unidirectional Path-Switching Ring	حلقه سوئیچینگ - مسیر یکطرفه
Single-Fiber Unidirectional Ring	حلقه یکطرفه تک - فیبر

Looping Back	حلقه زنی برگشتی
Self Healing	خود ترمیمی
Working	در حال کار
Bi-direction	دوطرفه
Bi-directional	دوطرفه
Passive routes	روترهای غیرفعال
Failure In Time	زمان خرابی
Active switches	سوئیچ های فعال
Client signal	سیگنال مشتری
Resilience	شبکه ارتجاعی
Local Area Network	شبکه های LAN
Metropolitan Area Network	شبکه های MAN
Thin Film Filter (TFF)	فیلترهای لایه نازک
Disaster Avoidance Capability	قابلیت اجتناب از آسیب
Elasticity	قابلیت ارتجاعی
Flexibility	قابلیت انعطاف
Scalability	قابلیت بخش شدن
Quality of Service	کیفیت سرویس دهی
Array Waveguide Grating (AWG)	گریتینگ آرایه موجرها
Fiber Bragg Grating (FBG)	گریتینگ براگ فیبری
Diffraction Grating (DG)	گریتینگ پراش
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)	لیزر
Dispersion Compensation Module (DCM)	ماژول جبران کننده پاشندگی
Time Division Multiplexing (TDM)	مالتی پلکس کردن به روش تقسیم زمانی
Wavelength Division Multiplexing (WDM)	مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج
Multimedia	مالتی مدیا

Wavelength converters	مبدل طول موج
Self-Phase Modulation (SPM)	مدولاسیون خود فازی
Cross-Phase Modulation (XPM)	مدولاسیون فاز متقاطع
Long Haul	مسافت بلند
Very Short Haul	مسافت خیلی کوتاه
Ultra Short Haul	مسافت فوق العاده کوتاه
Short Haul	مسافت کوتاه
Short-haul	مسافت کوتاه
Medium Haul	مسافت متوسط
Light path	مسیر نوری
Pseudo-Mesh	مش-مجازی
Bit Error Rate (BER)	نرخ خطای بیت کم
Access Nodes	نقاط دسترسی
Uni-direction	یکطرفه
