

انتقال بسته های حاوی اطلاعات در پروتکل اینترنت (IP) با استفاده از سیستم های فیبر نوری مالتی پلکس کننده چگال تقسیم طول موج (DWDM)

محمد فرداد

دانشگاه گیلان

mohammad.fardad@gmail.com

چکیده - این مقاله مفهوم انتقال بسته های پردازش نشده پروتکل اینترنت (IP) بر روی یک لایه نوری را مورد بررسی قرار می دهد ، با توجه به افزایش روز افزون تقاضا برای ازدیاد پهنای باند، این امر با به کار گیری سیستم های مالتی پلکس کننده چگال تقسیم طول موج (DWDM) انجام می گیرد ، با توجه به این نکته مقدمه ای کوتاه بر سیستم های (DWDM) و اجزای سازنده آن که سیستم هایی تماماً نوری بوده و نیاز به تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی برای پردازش و تقویت ندارند ، ارائه شده و مزایای این سیستم ها برای چنین انتقالی ، با استفاده از مقایسه آن با دیگر سیستم های انتقال مورد بحث قرار می گیرد . همچنین روش هایی برای کاهش تلفات در این سیستم ها ارائه می گردد.

کلید واژه- پهنای باند -شبکه نوری همزمان (SONET)- مالتی پلکس کننده چگال تقسیم طول موج (DWDM)- مالتی پلکس تقسیم زمانی (TDM)

۱- مقدمه

حمل می کنند در ساده ترین حالت ، DWDM سیستمی متشکل از کانال های نوری موازی می باشد که هر کدام طول موجی اندکی متفاوت نسبت به دیگری دارد ، اما همه فقط از یک محیط انتقال استفاده می نمایند. این تکنیک جدید می تواند ظرفیت شبکه های موجود را بدون نیاز به کابل کشی مجدد افزایش داده و هزینه های ارتقای شبکه را به طور چشمگیری کاهش دهد. استفاده از DWDM به فراهم کنندگان خدمات این اجازه را می دهد که سرویس هایی همچون e-mail ، video و multimedia را بر بستر اینترنت و از طریق حالت انتقال غیر همزمان (ATM=Asynchronous Transfer Mode) همچنین صدا را از طریق شبکه های فیبر نوری همزمان (SONET=Synchronous Optical Network) و همچنین فرآیند (SDH=Synchronous Digital Hierarchy) ارائه

امروزه پهنای باند زیادی برای فراهم کردن خدمات مورد تقاضای کاربران شبکه نیاز است. انتقال مولتی مدیا، ویدئو کنفرانس، سیستم های VOIP، کنترل از راه دور موشک، عمل های جراحی از راه دور، پخش زنده مسابقات حساس، e-learning ، e-commercial و سایر خدماتی که بر بستر اینترنت صورت می پذیرد بی شک نیاز به پهنای باند وسیعی دارند. از این رو ارائه دهندگان خدمات مداوماً به دنبال راهی برای نیل به این هدف هستند. یک از این راهها که جدیداً مورد استفاده قرار گرفته DWDM است . مالتی پلکس کردن چگال تقسیم طول موج (Dense Wavelength Division Multiplexing) فرآیند مالتی پلکس کردن سیگنال هایی با طول موج متفاوت در یک تک فیبر می باشد. از طریق این عمل تعداد زیادی فیبر مجازی در هر کابل ایجاد می گردد که هر کدام سیگنال متفاوتی را

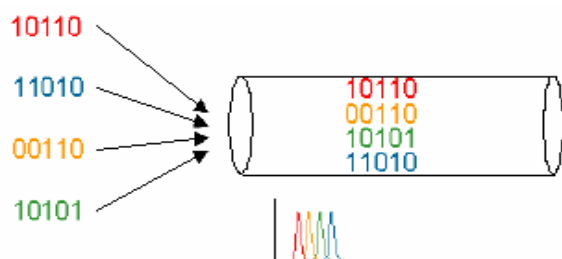
10Gbps است.

و اما انتخاب سوم استفاده از DWDM است که در بخش بعدی شرح داده می شود.

۳- مالتی پلکس چگال تقسیم طول موج

۳-۱- شرح عملکرد سیستم DWDM

در این حالت برای افزایش ظرفیت فیبر موجود در ابتدا فرکانس هایی (یا طول موج هایی λ) مشخص از میان یک باند طراحی شده فرکانسی را به سیگنال های نوری ورودی اختصاص می دهند و سپس سیگنال های به دست آمده را به درون فیبر مالتی پلکس می کنند. از آنجایی که هرگز سیگنال های ورودی در لایه نوری محدود نمی شوند رابط می تواند مستقل از نرخ بیت و شکل سیگنال ها باشد که این امر به خدمات دهندگان این اجازه را می دهد که بدون تغییر تجهیزات موجود در شبکه به سادگی تکنولوژی DWDM را به کار گیرند. نحوه عملکرد سیستم DWDM در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲: Dense Wavelength Division Multiplexing

در واقع اگر فیبر را به صورت یک بزرگراه با چند خط ارتباطی در نظر بگیریم DWDM از تمام خطوط ارتباطی استفاده می کند در حالیکه TDM فقط از یک خط استفاده کرده و فقط تعداد بیت های عبوری از همان خط را افزایش می دهد. در واقع در این حالت سرعت بیت ها افزایش می یابد. یکی از مزایای DWDM این است که سیگنال های ورودی می توانند دارای نرخ انتقال متفاوت (156.25Mbps, 625Mbps, 1.25Gbps, ...) و همچنین فرمت های مختلف (SONET, ATM, data, ...) باشند. از طریق ساختار DWDM می توان به ظرفیتی بالغ بر 40Gbps دست یافت. و این در حالی صورت می پذیرد که عملکرد، قابلیت اطمینان و استحکام سیستم حفظ می شود.

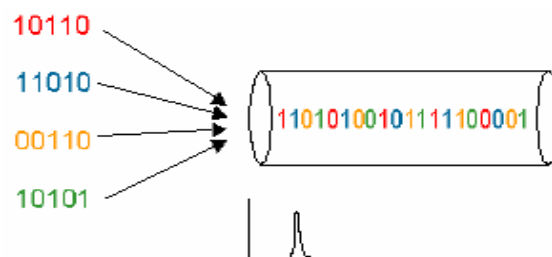
کنند، با وجود این حقیقت که تمام این اشکال انتقال IP, ATM و SONET/SDH با استفاده از DWDM میتوانند بر روی یک لایه نوری و به طور همزمان منتقل گردند. این یکی شدن این اجازه را به خدمات دهنده ها می دهد تا با سهولت بیشتری به تقاضای مشتریان روی یک شبکه پاسخ دهند.

پایه سازی پروتکل اینترنت با استفاده از DWDM به معنای ارسال بسته های اطلاعات بر روی یک لایه نوری است که از ظرفیت این لایه با استفاده از فناوری DWDM استفاده بهینه شده است. استفاده از این لایه های نوری سبب ایجاد شبکه های تمام نوری می گردد، این امر موجب ارائه خدماتی از یک سر شبکه به سر دیگر می شود که به طور کامل در حوزه نور بوده و نیاز به تبدیل به سیگنال الکتریکی ندارند. انتقال مستقیم IP از طریق DWDM می تواند نرخ بیتی در حدود 10Gbps را فراهم نماید.

۲- روش های افزایش ظرفیت

یکی از ابتدایی ترین روش ها افزایش تعداد فیبر است، اما قرار دادن فیبر جدید لزوماً موجب توانایی سرویس دهنده در ارائه خدمات جدید و بهره گیری از ظرفیت مدیریت شده پهنای باند بر روی یک لایه نوری یکپارچه نمی شود.

انتخاب دوم افزایش نرخ انتقال بیت با استفاده از روش مالتی پلکس تقسیم زمانی (TDM) است. TDM ظرفیت را با استفاده از برش زمان به فاصله های کوچک تر افزایش می دهد. به طوری که در یک ثانیه تعداد بیت بیشتری می تواند منتقل گردد. شکل ۱، TDM را نشان می دهد:



شکل ۱: Time Division Multiplexing

اشکال این روش این است که، هنگامی که خدمات دهنده از این روش استفاده می کند باید برای تامین نرخ بیت بالاتر، ظرفیت بیشتری را نسبت به آنچه که در ابتدا نیاز بود خریداری نماید. در این حالت حداکثر نرخ انتقال اطلاعات

کننده طول موج واقعی باید نسبت به نرخ بیت و شکل سیگنال واکنش نشان دهد از مشخصه های مهم دیگر آن زمان شروع به کار سریع ، نسبت سیگنال به نویز بالا، سطوح اصلاح شده توان ورودی حساسیت به قطبیت سیگنال ورودی می باشد. قسمت بعدی WADM است که مسئول مدیریت ترافیک WDM بر روی فیبر است بهره گیری عملی از پهنای باند فیبر هنگامی به دست می آید که قادر باشیم کانال های مورد نظر را به صورت انفرادی حذف و اضافه کنیم بدون آنکه که مجبور باشیم دوباره تمام کانال های WDM را تولید نماییم کانال هایی که اضافه و یا حذف می گردند باید دوباره توسط WADM پیکره بندی گردند. قسمت بعدی اتصال تقاطع نوری (OXC) است که ارتباط عملکردی بین N ورودی و N خروجی را فراهم می نماید مدیریت آسان پهنای باند توسط (OXC) قابل دستیابی است یک OXC هنگامی موثرتر است که شامل یک سویچ نوری مستقل از نرخ بیت و شکل سیگنال ها باشد. از طرفی این سیستم نیاز به مدیریت شبکه در لایه نوری دارد که OXC با توجه به ساختارش به آسانی قادر است مونیتورینگ ، تدارک و آماده سازی و ترمیم سیگنال لایه فوتونی را انجام دهد. قسمت بعدی دیگر مدخل نوری است ساختاری که اغلب ترافیک لایه نوری از آن می گذرد.

۴- کاهش تلفات

تجزیه (پراکندگی) نور توسط فیبر و ویژگی غیر خطی بودن سبب اتلاف در کانال های نوری می شود دو روش برای کم شدن اتلاف در زیر آمده است:

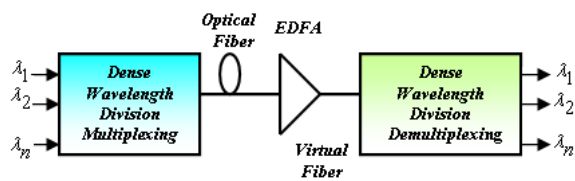
۴-۱- جبران سازی دینامیکی

انباشتگی تلفات ناشی از پراکندگی در یک کانال نوری پر سرعت را می توان به دو روش جبران نمود، یا با استفاده از یک فیبر جبران کننده پراکندگی (DCF) و یا با استفاده از (Non-linearly chirped fiber Bragg grating). علت استفاده از حالت غیر خطی به دلیل این است که پراکندگی جمع شونده موجود در کابل با زمان تغییر می کند.

۴-۲- تغییر الگوی بیت برای حذف تداخل

مالتی پلکس و دی مالتی پلکس کننده های طول موج ایده آل نیستند و به طول موج های ناخواسته اجازه می دهند که

۳-۲- شرح اجزا سیستم DWDM



شکل ۳: اجزای سیستم DWDM

سیستم DWDM از واحدهایی مانند تقویت کننده نوری، تبدیل کننده های طول موج (wavelength converters)، wavelength Add/Drop multiplexer (WADM) و اتصالات تقاطع نوری (optical cross connect) تشکیل شده است. این سیستم بر روی یک فیبر نوری که حامل شبکه نوری است عمل می نماید و آن یک کانال باریک در حدود 1nm است قسمت دیگر بلوک های مالتی پلکس کننده و دی مالتی پلکس کننده اند. قسمت بسیار مهم تقویت کننده نوری است. EDFA=Erbium Doped Fiber Amplifier) تکنولوژی ای که اجازه می دهد حجم بالای داده با سرعت زیاد منتقل گردد. تقویت کننده نوری در یک باند فرکانسی خاص برای فیبر موجود حالت بهینه دارد، در این باند فرکانسی تقویت سیگنال های موج نوری بدون تبدیل آن ها به فرم الکتریکی امکان پذیر است. این تقویت کننده ها در شبکه های بلند که تلف کلی در آن ها زیاد است مورد استفاده واقع می شوند همچنین تقویت کننده های نوری باند وسیعی وجود دارند که می توانند سیگنال های نوری ۱۰۰ کانال (طول موج) از نور را تقویت نمایند. شبکه ای که دارای چنین تقویت کننده ای است به آسانی قادر است یک ترابایت اطلاعات را انتقال دهد در چنین سرعتی انتقال تمام کانال های تلویزیونی جهان و یا نیم میلیون فیلم در یک زمان ممکن است. در رنج 1530-1563nm silica-based Optical Amplifier، با استفاده از فیلتر مناسب و همچنین fluoride-based OA نیز قابل استفاده اند هر چند قیمت fluoride-based بالا بوده و قابلیت اطمینان آن در دراز مدت مورد تأیید قرار نگرفته است. بنابراین بهترین گزینه برای داپ کردن همان عنصر Er_{68} می باشد. شکل نویز، کنترل خودکار بهره، پهنای باند و یکنواختی بهره مشخصه های تقویت کننده نوری مورد استفاده در یک سیستم اند. تبدیل کننده های طول موج به منظور تبدیل طول موج ورودی به طول موجی است که در پهنای باند کاری سیستم قرار داشته باشد یک تبدیل

جایگزینی header های تمام نوری راه حلی برای به روز کردن اطلاعات در بسته های داده ساختار یافته بر مبنای طول موج است (به عنوان مثال اصلاح مسیر یابی اطلاعات) در حالتی که فقط یک header با طول موج یکسان داریم این امر با استفاده از اتصال یک برچسب موج پیوسته (CW) به ابتدای بسته ای که حامل header جدید است صورت می پذیرد. این موج پیوسته عملکرد سیستم را کاهش می دهد اما این مزیت را دارد که از صحت طیفی بسته محافظت به عمل می آورد.

هنگامی که header مستقل از طول موج باشد، جایگزینی را می توان بدون اعمال برچسب موج پیوسته و با سرعت 1Gbps به انجام رساند. در این حالت header جدید توسط مدولاسیون نوری یک موج پیوسته که توسط flag خود بسته تولید شده است، به وجود می آید. با این عمل یکسان بودن طول موج header جدید و طول موجی که در بسته اصلی وجود داشت تضمین می گردد. این روش تولید برچسب موج پیوسته پیچیدگی های خاصی را به بسته اعمال می کند اما ساختار کلی بسته حفظ می گردد.

۷- یکپارچه سازی لایه نوری

در این بخش درباره راههای مختلف افزایش پهنای باند شبکه و تحلیل آن ها بحث می کنیم. علت تمایل در به کارگیری DWDM برای IP با توجه به مقایسه آن با معماری موجود SONET نیز توجیه می گردد

۷-۱- نیاز به DWDM در پیاده سازی IP

برای فهمیدن علت نیاز به پیاده سازی مستقیم IP بر روی DWDM در ابتدا بهتر است با محدودیت های SONET آشنا شویم. SONET استاندارد برای اتصال سیستم های انتقال دهنده فیبر نوری است و زمانبندی درست بسته های داده در انتقال به روش TDM، نرخ مالی پلکس شدن، مرتب کردن ترافیک، مونیتورینگ خطا و ترمیم سیگنال را تضمین می نماید. اما SONET اصولاً برای سیستم های انتقال صوت طراحی شده است. پروتکل استاندارد که توسط سیستم های SONET استفاده می گردد به صورت شکل ۴ است:

با سیگنال های نرمال وارد سیستم شوند. این تداخل همزمان را می توان با اعمال تغییر الگوهای بیت به سیگنال اصلی و نسخه متداخل آن حذف نمود.

۵- انتقال نوری

انتقال به معنای تبدیل داده های الکترونیکی (بیت ها) به اطلاعاتی به فرم موج های نوری و سپس ارسال آن از طریق فیبر است. در حالتی که IP با استفاده از DWDM پیاده سازی می شود، بسته های پردازش نشده به نور تبدیل شده و از طریق فوتون ها منتقل می شوند. که این لایه انتقالی به پارامترهای مختلفی وابسته است:

۵-۱- فاصله بندی کانال (Channel Spacing)

مینیمم فاصله فرکانسی بین دو سیگنال مختلف مالی پلکس شده را فاصله بندی کانال می گویند. پهنای باند کاری تقویت کننده نوری و قابلیت گیرنده در تفکیک دو طول موج نزدیک به هم محدودیت هایی را بر فاصله بندی کانال ایجاد می کند. با توجه به محدودیت های فوق، استاندارد جهانی برای سیستم های DWDM، 100GHZ است.

۵-۲- جهت سیگنال (Signal Direction)

یک فیبر نوری می تواند سیگنال را در هر دو جهت انتقال دهد. بر مبنای این مشخصه، یک سیستم DWDM را می توان به دو روش پیاده سازی نمود: یک جهته و دو جهته، که انتخاب یکی از این دو با توجه به موجود بودن فیبر و پهنای باند مورد نیاز صورت می پذیرد.

۶- سوئیچینگ بسته ای (Packet Switching)

سیستم های DWDM قادر به سوئیچینگ در حوزه نور می باشند بدون اینکه مجبور شوند سیگنال را به حوزه الکتریکی تبدیل کنند. این امر باعث کاهش تاخیر در سوئیچ ها و افزایش عملکرد سیستم می شود. سوئیچینگ به معنای خواندن یک بخش از سیگنال در ابتدای مسیر (header) و اصلاح کردن مسیر سیگنال (بسته حاوی داده) به طور مناسب است در مرحله اصلاح کردن سوئیچ نباید یک قسمت و یا تمام سیگنال را تغییر دهد. اگر سیستم های DWDM قادر به انجام چنین کاری باشند سوئیچینگ در حوزه نور با امنیت انجام می پذیرد.

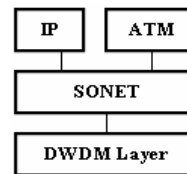
شود که ترمیم سیگنال، پیش بینی و مسیر یابی سریعتر با سهولت انجام پذیرد.

۷-۲- اینترنت نوری

انتقال نوری، شبکه بندی انتقال و لایه های خدمات اضافی را به کار می گیرد تا به کمک هم روشی کامل و قابل تعمیم ارائه دهند. عملکرد لایه نوری را می توان به دو بخش تقسیم نمود بخش اول لایه انتقال (Transport Layer) است که مسئول پهنای باند، قابلیت اطمینان و کنترل سطح ترافیک طول موج است. بخش دوم لایه سرویس (Service Layer) می باشد که مسئول دستیابی به سرعت، نرخ مورد کاربرد، امنیت و سرویس (VOIP=Voice Over Internet Protocol) می باشد. این دو لایه وظایف چهار لایه SONET را انجام می دهند. لایه انتقال همانند لایه فیزیکی پایین تر عمل می نماید و لایه سرویس همانند لایه بالاتر عمل می نماید در مدل DWDM بخش SONET روشی را برای انتقال نوری فراهم می نماید که سعی می کند به قابلیت اطمینان و عملکردی مشابه آنچه که در معماری استاندارد SONET برای TDM مطرح شد دست یابد. با داشتن یک لایه هوشمند نوری می توان به عملکردی سریع برای ترمیم سیگنال دست یافت که قادر به پاسخگویی تقاضا برای افزایش پهنای باند است. در این حالت ترمیم سیگنال لایه نوری به سرعت انجام می پذیرد و هیچ هم پوشانی ای با مکانیزم لایه سرویس ندارد. هنگامی که یک ارتباط برقرار می شود لایه DWDM باید مسیری مطمئن و مهندسی ترافیک داده عبوری را فراهم نماید. مهندسی ترافیک بین لایه IP و لایه انتقال نور توسط پروتکل (MPLS=MultiProtocol Label Switching) انجام می پذیرد. همچنین با استفاده از تکنولوژی DWDM پیش بینی خودکار مسیر از ابتدا به انتهای طول موجی خاص در مدت زمان کوتاهی امکان پذیر است. همچنین در حالتی که یک خرابی فیزیکی رخ دهد پروتکل مسیر یابی طول موج قادر خواهد بود مسیر های عبور کننده از سرتاسر قاره را در کمتر از 50ms ترمیم نمایند.

۸- معماری سیستم IP/DWDM

لایه DWDM در تطابق با استاندارد های گسترده صنعتی طراحی شده است و دارای دو رهیافت مختلف است: Close



شکل ۴: پروتکل ابتدایی SONET بر مبنای DWDM

همان طور که مشاهده می شود یک سیستم SONET را می توان به چهار لایه تقسیم نمود. این چهار لایه به منظور تقسیم وظایف مورد استفاده قرار می گیرد. لایه ATM به عنوان تکنولوژی در دسترس مورد استفاده قرار می گیرد و سرعت آن به 625Mbps محدود می گردد. لایه IP در این مورد به عنوان سطح داده (data plane) عمل کرده و دارای سرعتی کمتر از 156Mbps می باشد. مشکلات چنین سیستم چند لایه ای به مراتب از مزیت های آن بیشتر است. هم پوشانی عملکردی یکی از چنین مشکلاتی است. هنگامی که خطایی اتفاق می افتد هر کدام از لایه ها سعی در انجام بازسازی سیگنال به طور جداگانه دارند که این امر سبب خرابی بیشتر در سیستم می شود. رابط SONET در حالتی دارای مزیت است که ترافیک نرخ بیت ثابت باشد. اما در اینترنت با ترافیک نرخ بیت غیر قابل پیش بینی مواجه ایم. وجود ظرفیت بالا در سیستم نیاز به مالتی پلکس زمانی و مرتب سازی ترافیک را مرتفع می سازد. بنابر این در این حالت سیستم چند لایه موجب رکود می گردد. سیستم SONET قادر نیست پیش بینی سریعی را ارائه دهد و برای محافظت از سیستم نیاز به فیبرهای اضافی دارد. تمام این مشکلات طراحی دوباره سیستم را بدون داشتن لایه های زیاد الزام آور می کند.

برای حل مشکلات فوق روش پیشنهادی انتقال مطمئن بسته های IP از طریق یک شبکه فیبر نوری منطبق بر سیستم DWDM است. در این حالت لایه انتقال دهنده تمام نوری بوده و بنابرین سرعت بالای انتقال داده را میسر می سازد. این حالت مطلوب تر است زیرا از هزینه های لازم برای تجهیزات SONET/AMT اجتناب می شود.

استفاده از تکنولوژی DWDM در پیاده سازی IP باعث افزایش پهنای باند می شود و رکود سیستم را کاهش می دهد. سیستم در سرعت 10Gbps دارای عملکرد رضایت بخشی خواهد بود. سرریز بیت که در لایه های SONET و AMT وجود دارد حذف می شود. معماری جدید موجب می

- تلورانس خرابی مطلوب
- سهولت و سرعت در مسیر یابی طول موج
- مدیریت و کنترل شبکه
- شفافیت در ارائه سرویس ها
- قابلیت اتصال به دیگر سیستم ها و ارتقای شبکه
- افزایش کیفیت خدمات

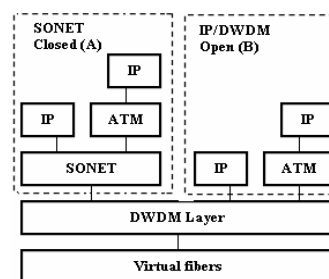
۱۰- نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله پیامدهای متعدد پیاده سازی انتقال بسته ها ی داده (data packets) پروتکل اینترنت (IP) با استفاده از یک شبکه تمام نوری مورد بحث قرار گرفتند. به کار گیری سیستم های DWDM در پیاده سازی IP موجب سهولت در مدیریت شبکه ، آشکار سازی خطا ، مسیر یابی مجدد و سریع برای سیگنال های معیوب، ارتقای سیستم و... می گردد. از طرفی با توجه به اینکه سیستم های DWDM بر بستری تمام نوری کار می کنند نیاز به تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی نمی باشد که این امر باعث جلوگیری از تلفات، اعوجاج ، پراکندگی و نویزی شدن سیگنال شده و ضمن بالا بردن سرعت سیستم از هزینه های اضافی جهت تجهیزات مبدل اجتناب می گردد . مزیت دیگر این سیستم ها پهنای باند بالایی می باشد که به سبب وجود اجزای نوری قابل دست یابی است. سیستم های DWDM در سال های اخیر رشد تکنولوژیکی قابل ملاحظه ای داشته اند و به عقیده متخصصان ، در آینده ای نزدیک باز هم شاهد پیشرفت این سیستم ها خواهیم بود.

مراجع:

- [1] Adams, M.J. , "An Introduction to Optical Waveguide", John Wiley & Sons ,1981
- [2] Keiser, G.E. , "Optical Fiber Communication" ,McGraw-Hill, 1983
- [3] <ftp://ftp.netlab.ohio-edu/pub/course>
- [4] <http://networks.cs.ucdavis.edu/users/mukhreje/book/toc.html>
- [5] <http://www.webproforum.com>
- [6] Joseph Copulas , "Fiber Optic communication", 1982

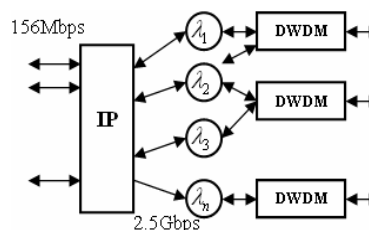
و Open که در شکل ۵ نمایش داده شده اند:



شکل ۵: معماری شبکه DWDM

معماری Closed برای این طراحی شده است که سیستم های SONET بهتر سرویس دهند. این روش ظرفیت سیستم SONET را با بهره گیری از تکنولوژی و تجهیزات DWDM در ترمینال استاندارد SONET افزایش می دهد.

روش دوم IP/DWDM است ، این روش معماری باز (Open) نامیده می شود که علت این نامگذاری آن است که این سیستم به SONET و یا سایر سیستم های TDM متصل نیست. در این حالت شبکه ای تمام نوری داریم که با آن می توان به سرعت بالایی دست یافت. تقاطع های نوری (OXC) و مالتی پلکسر ها به منظور مدیریت طول موج و ترمیم سیگنال به کار می روند. سیستم هایی که به منظور مدیریت به کار می روند متغیر با زمان هستند. در حالتی که یک خرابی فیزیکی رخ می دهد سیگنال از طریق مسیر فیزیکی دیگری دوباره مسیر یابی می شود. شبکه های موجود بین مسیر های IP باعث تسریع این عمل می شوند. شکل ۶ بلوک دیاگرام این شبکه ها را نشان می دهد.



شکل ۶: شبکه انتقال طول موج

بنا بر این حالت معماری Open به همراه شبکه فوق می تواند یک پیاده سازی عملی برای سیستم های IP بر مبنای سیستم DWDM باشد .

۹- پیامدهای استفاده از IP/DWDM

- آشکار سازی خطا