

استفاده از فناوری مالتی پلکس تقسیم طول موج در ارتباطات فیبر نوری (DWDM)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

کد مقاله: ۱۹۷۹۴

مهدی رضاتبار^{۱*}، یاسره یوسف تبار^۲

چکیده

روش ادغام سیگنال بر اساس تقسیم فشرده طول موج (DWDM) فناوری جدیدی است که قادر است با استفاده از عناصر نوری، چندین طول موج مدوله شده مجزای نور را در یک فیبر واحد ارسال کند و نرخ انتقال داده را به اندازه قابل توجهی افزایش دهد که قبلاً امکان پذیر نبوده است. این فناوری از یک طرف، قابلیت انتقال ترافیک پرفریمیتی تا چندین ترابیت بر ثانیه را از طریق یک زوج فیبر دارد و از طرف دیگر از آنجایی که روی هر فیبر، تعدادی کانال ارتباطی (معادل با تعداد طول موج‌ها) وجود دارد، هرکانال می‌تواند نوع خاصی از ترافیک (مثلاً ترافیک ATM در یک کانال، صوت و اینترنت در کانالهای دیگر و غیره) را حمل کند. بدین ترتیب با استفاده از تکنولوژی DWDM به یک نرخ بیت حداکثری و نیز سرویس‌های چندگانه روی یک شبکه نائل می‌شویم.

واژگان کلیدی: TDM, WDM, CWDM, DWDM, OADM

۱- کارشناس ارشد مهندسی IT، شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)، mrezatabar@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، نرم افزار، دانشگاه مازندران

در سیستم‌های ارتباط امروزی برای فراهم کردن خدمات مورد تقاضای کاربران جهت پشتیبانی از سرویس‌های گوناگون از قبیل اینترنت، ویدئو کنفرانس، پخش زنده مسابقات حساس، سیستم‌های VoIP^۱ و ... بی‌شک پهنای باند زیادی مورد نیاز می باشد. برای نیل به این هدف، یکی از راه‌هایی که جدیداً مورد استفاده قرار گرفته فناوری DWDM^۲ می باشد که با ادغام سیگنال‌هایی با طول موج متفاوت در یک فیبر نوری، در عمل تعداد زیادی فیبر مجازی در هر کابل ایجاد می‌گردد که هر کدام سیگنال متفاوتی را حمل می‌کنند. این تکنیک می‌تواند ظرفیت شبکه موجود را بدون نیاز به کابل کشی مجدد افزایش داده و هزینه‌های ارتقای شبکه را به طور چشمگیری کاهش دهد.

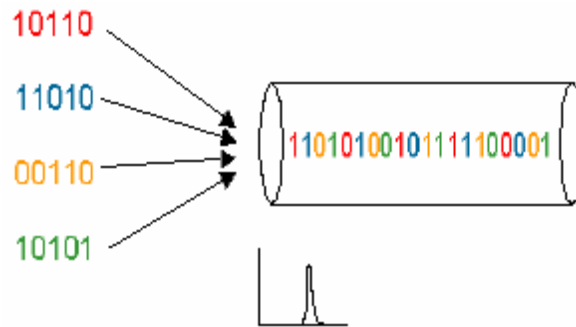
۲- راه‌های افزایش ظرفیت انتقال در شبکه‌های فیبر نوری

- استفاده از کابل‌های نوری جدید.
- استفاده بهینه از پهنای باند فیبرهای موجود که به دو روش استفاده از مالی پلکسینگ تقسیم زمان TDM^۳ و استفاده از مالی پلکسینگ تقسیم طول موج WDM^۴ امکان پذیر می‌باشد.

برای افزایش ظرفیت شبکه، می‌بایست راه حلی انتخاب شود که اقتصادی باشد و کاربر را برای استفاده از آن ترغیب کند. اولین راه حلی که به ذهن می‌رسد، استفاده از تعداد بیشتری فیبر برای دسترسی به پهنای باند بالاتر است که این کار اصلاً به صرفه نیست؛ چرا که یک راه حل کاملاً سخت افزاری است که با صرف هزینه و وقت زیاد همراه است. ضمن آنکه استفاده از تعداد فیبر بیشتر، الزاماً امکان ارائه خدمات جدید را برای ISP^۵ها فراهم نمی‌آورد.

راه حل دوم افزایش ظرفیت، استفاده از مالی پلکسینگ زمانی TDM است که با تقسیم بندی زمانی، امکان ارسال اطلاعات بیشتر را بر روی فیبر فراهم می‌آورد به عبارتی ظرفیت را با استفاده از برش زمان به فاصله‌های کوچک تر افزایش می‌دهد به طوری که در یک واحد زمانی تعداد بیت بیشتری می‌تواند منتقل گردد. این روش به طور معمول بر روی شبکه‌های فعلی مخابرات استفاده می‌شود؛ اما در آینده نزدیک برای دسترسی به سرعت ۴۰ Gb/s پس از ۱۰ Gb/s تنها با روش TDM امکان پذیر نخواهد بود و مستلزم پیشرفت تکنولوژی ساخت قطعات الکترونیکی است. در شکل ۱ مالی پلکسینگ تقسیم زمان نشان داده شده است (V. Alwayn, 2004).

روش TDM هم اکنون در شبکه‌های انتقال براساس SONET^۶ که استاندارد آمریکای شمالی و SDH^۷ که استاندارد بین‌المللی است به کار می‌رود. قابل ذکر است که SONET و SDH استانداردهایی هستند که برای سیگنال‌های دیجیتالی تعریف شده‌اند و سرعت ارتباطات، ساختار بسته‌ها و رابط‌های نوری را استاندارد می‌کنند. (E. Lowe, 1998)



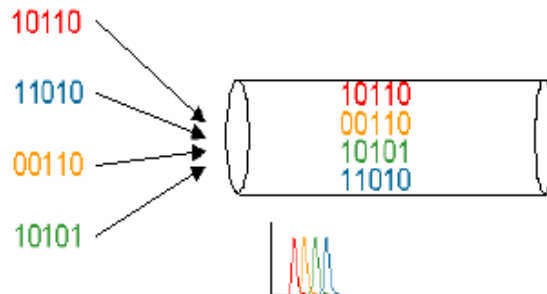
شکل ۱- مالی پلکسینگ تقسیم زمان

راه حل سومی نیز برای ISPها وجود دارد و آن استفاده از روش WDM است. در این روش، به هر یک از سیگنال‌های نوری ورودی، یک طول موج و یا یک فرکانس خاص داده می‌شود و سپس تمام سیگنال‌ها بر روی یک فیبر ارسال می‌شوند. از آنجا که هر یک از این طول موج‌ها مستقل از یکدیگر هستند و بر روی هم هیچ گونه تاثیری ندارند، این امکان را به ISPها می‌دهند تا از امکانات موجود شبکه به طور بهینه بهره‌گیرند و بتوانند از تکنولوژی‌های مختلف استفاده کنند.

1. Voice over IP
 2. Dense Wavelength Division Multiplexing
 3. Time Division Multiplexing
 4. Wavelength Division Multiplexing
 5. Internet Service Provider
 6. Synchronous Optical Network
 7. Synchronous Digital Hierarchy

در این روش اگر فیبر را به صورت یک بزرگراه با چند خط ارتباطی در نظر بگیریم از تمام خطوط ارتباطی استفاده می شود در حالی که TDM فقط از یک خط استفاده کرده و فقط تعداد بیت های عبوری از همان خط را افزایش می دهد. در نتیجه در این حالت سرعت بیت ها افزایش می یابد. در شکل ۲ مالتی پلکسینگ تقسیم طول موج نشان داده شده است.

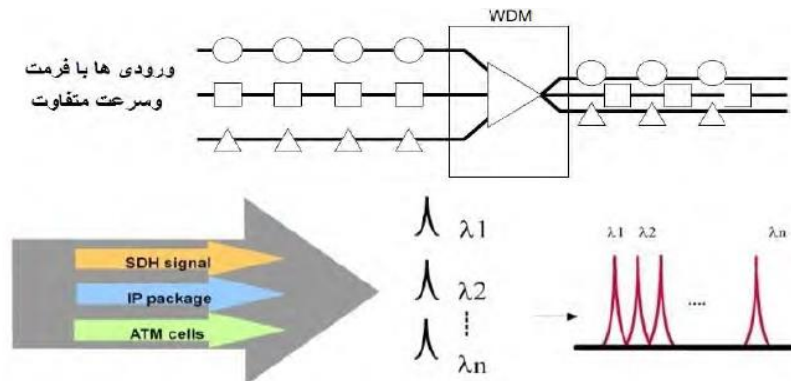
روش WDM را می توان به رشته های رنگارنگی تشبیه کرد که کنار هم قرار می گیرند تا یک طناب نازک را به وجود آورند که در آن هر یک از رشته های رنگین معرف یک طول موج می باشد و گیرنده وسیله ایست که عمل معکوس تهیه طناب را انجام می دهد یعنی طناب را از هم باز می کند تا دوباره به صورت رشته های رنگارنگ درآیند.



شکل ۲- مالتی پلکسینگ تقسیم طول موج

در واقع، WDM چندین سیگنال نوری را ترکیب می کند و آن ها را به صورت یک مجموعه، تقویت و ارسال می کند که این امر موجب افزایش ظرفیت خواهد شد. هر یک از این سیگنال ها می توانند سرعت های مختلف نظیر 3-OC¹, OC-12, OC-24 و فرمت های گوناگون ATM², IP³ و SONET را داشته باشند. در شکل ۳ افزایش نرخ بیت با استفاده از روش WDM نشان داده شده است (V.Alwayn, 2004).

اما آنچه که WDM را این چنین پرازش و مفید ساخته است، تقویت کننده هایی هستند که سیگنال نوری را بدون تبدیل به سیگنال الکتریکی تقویت می کنند. این تقویت کننده ها پهنای باند مشخصی دارند و در این پهنای باند می توانند تا ۱۰۰ طول موج را تقویت کنند. تقویت کننده EDFA⁴ از جمله این تقویت کننده ها می باشد که در باند طول موجی ۱۵۶۰-۱۵۳۰ نانومتر استفاده می شود در این نوع تقویت کننده که به تقویت کننده های نوری اریبومی موسوم می باشند، از عنصر اریبوم که یک فلز خاکی است استفاده می شود و خواص لیزری در ۱/۵۵ میکرومتر دارد و باعث تقویت پالس های نوری در این محدوده می شود و کاربرد فراوانی در شبکه های مخابراتی بویژه تقویت کنندگی در مسافت های طولانی دارند (Stamatios V. Kartalopoulos, 2002).



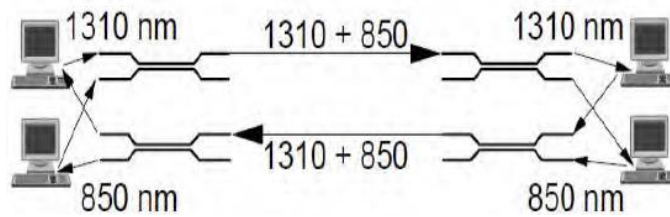
شکل ۳- افزایش نرخ بیت با استفاده از روش WDM

۳- خصوصیات روش WDM

به طور کلی می توان خصوصیات روش WDM را به صورت زیر برشمرد:
 - فراهم آوردن سرعت های بالا بر روی یک فیبر تکی.

1. Optical Carrier
2. Automated Teller Machine
3. Internet Protocol
4. Erbium Doped Fiber Amplifier

- امکان استفاده از تجهیزات فعلی شبکه.
 - امکان استفاده از فرمت های متفاوت نظیر SONET، IP و ATM با سرعت های متفاوت.
 - ارائه خدمات جدید به کاربران براساس اختصاص طول موج که روشی کاملاً نرم افزاری است.
- در شکل ۴ یک سیستم WDM با دو کانال نشان داده شده است.



شکل ۴- سیستم WDM با دو کانال

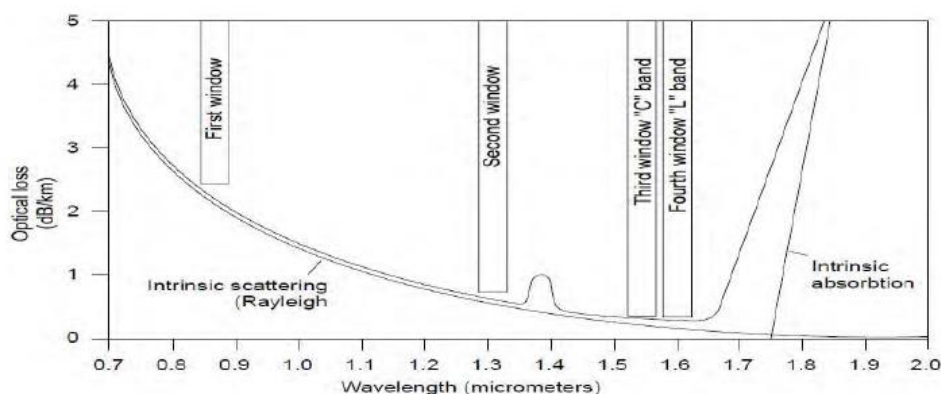
گام بعدی افزایش ظرفیت، استفاده همزمان از دو روش WDM و TDM است. در روش TDM، افزایش ظرفیت با افزایش سرعت بر روی یک خط ارتباطی انجام می شود در حالی که در روش WDM، این کار با استفاده از طول موج های مختلف و در واقع افزایش خطوط ارتباطی صورت می گیرد. بنابراین با ترکیب این دو روش، می توان به ظرفیت بالاتر بر روی یک فیبر دست یافت و این امکان را همواره فراهم آورد تا با پیشرفت تکنولوژی ساخت قطعات الکترونیکی، آن را به طور موثری در افزایش سرعت شبکه های نوری به کار گرفت (Stamatios V. Kartalopoulos, 2002).

۴. باندهای طول موجی انتقال اطلاعات بر روی فیبر نوری

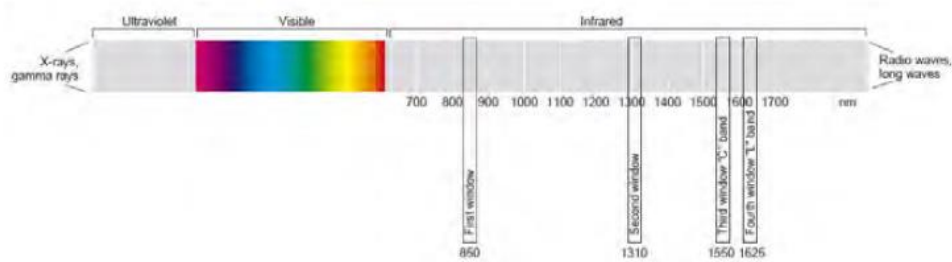
محیط انتقال در شبکه های نوری، فیبر نوری است و باند طول موجی که می توان برای ارسال اطلاعات استفاده کرد بین ۱۲۶۰ تا ۱۶۲۵ نانومتر، یعنی پنجره های دوم و سوم مخابرات نوری است که در شکل ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، پنجره اول مخابرات نوری در طول موج ۸۵۰ نانومتر و پنجره های دوم و سوم به ترتیب در طول موج های ۱۳۰۰ نانومتر با کمترین پاشندگی و ۱۵۵۰ نانومتر با کمترین تلفات هستند. این باند طول موجی که از آن برای انتقال اطلاعات بر روی فیبر استفاده می شود، به ۵ باند (طبق جدول ۱)، تقسیم می شود که در روش های مختلف WDM به کار گرفته می شوند (V.Alwayn, 2004).

جدول ۱- باندهای طول موجی انتقال اطلاعات بر روی فیبر

نام باند	محدوده طول موج (برحسب نانومتر)
O-Band	۱۲۶۰ - ۱۳۶۰
E-Band	۱۳۶۰ - ۱۴۶۰
S-Band	۱۴۶۰ - ۱۵۳۰
C-Band	۱۵۳۰ - ۱۵۶۵
L-Band	۱۵۶۵ - ۱۶۲۵



شکل ۵- پنجره های مخابرات نوری



شکل ۶- افت سیگنال نوری

۵. تقسیم بندی سیستم WDM

در سیستم WDM، دو نوع تقسیم بندی وجود دارد:

۱. CWDM^۱ (مالتی پلکس طول موج غیرمتراکم)

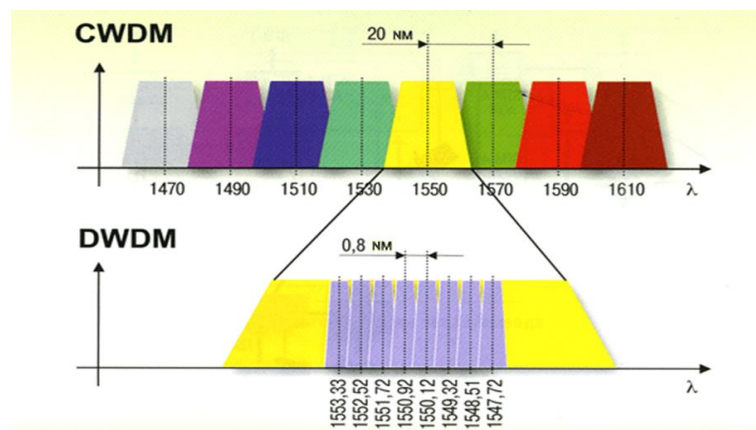
۲. DWDM^۲ (مالتی پلکس طول موج متراکم)

در هر دو روش CWDM و DWDM از ادغام چندین طول موج نور لیزر برای انتقال سیگنال در یک فیبر استفاده می‌شود و تفاوت اساسی آنها در فاصله کانالها از یکدیگر می‌باشد. فاصله CWDM عریض تر از DWDM می‌باشد. برای استفاده حداکثری از ظرفیت فیبر در روش WDM، باید فاصله بین طول موج‌هایی را که برای انتقال اطلاعات استفاده می‌شود، کم نمود تا اطلاعات بیشتری را بر روی یک فیبر ارسال کرد.

در روش CWDM فاصله بین کانال‌ها ۲۰ نانومتر است و در باندهای O، E، S، C و L به کار گرفته می‌شود. در این محدوده، طول موجی با ۸ تا ۱۶ کانال که هر یک پهنای باندی تا ۲/۵ گیگابیت در ثانیه (مطابق با STM16) دارند، فراهم می‌آورد و می‌توان به پهنای باندی تا ۴۰ گیگابیت در ثانیه (Gb/s) بر روی یک فیبر تکی دست یافت.

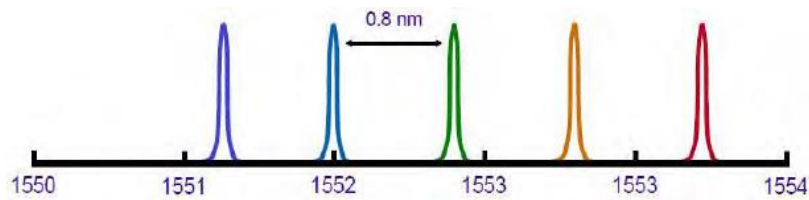
روش DWDM در باند C و L به کار می‌رود و بین ۳۲ تا ۱۶۰ کانال با فاصله‌های باریک‌تر از ۰/۸ نانومتر، ۰/۴ نانومتر و یا ۰/۲ نانومتر ایجاد می‌شود که با این تعداد کانال، به پهنای باند بسیار بالایی می‌توان دست یافت. اما لازم به ذکر است که این روش فقط برای ارسال اطلاعات برای فواصل دور مناسب است، زیرا تجهیزات جانبی این روش مانند نوع فیبر، لیزر، تکرارکننده‌ها^۳ و... از خصوصیاتی برخوردار هستند که میزان هزینه را به شدت افزایش می‌دهند، به طوری که قیمت تمام شده برای هر کانال، فقط برای ارسال اطلاعات به فواصل دور و شبکه‌های گسترده WAN^۴ به صرفه خواهد بود. در شکل ۷ فاصله بین کانال‌ها در سیستم‌های CWDM و DWDM و در شکل ۸ فاصله بین کانال‌های یک سیستم DWDM نشان داده شده است (Ramaswami et al., 2009).

شکی نیست که DWDM دارای عملکرد بهتر برای انتقال تعداد بیشتری از طول موج‌های متعدد بر روی یک فیبر می‌باشد.



شکل ۷- فاصله بین کانال‌های سیستم‌های CWDM و DWDM

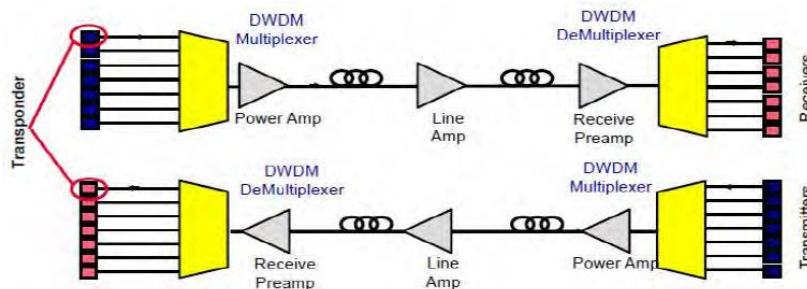
1. Coarse Wavelength Division Multiplexing
2. Dense Wavelength Division Multiplexing
3. Optical Repeater
4. Wide Area Network



شکل ۸- فاصله بین کانال های یک سیستم DWDM

۶. اجزای اصلی سیستم DWDM

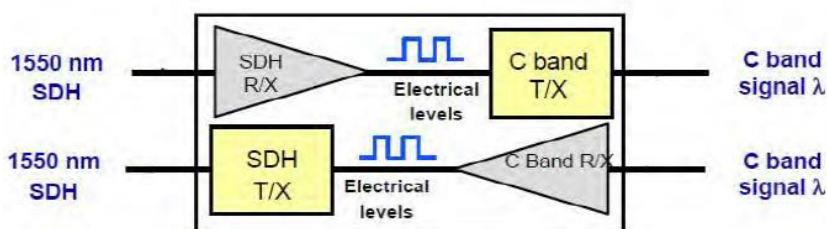
در شکل ۹ اجزای اصلی یک سیستم DWDM نشان داده شده است و در ادامه به تشریح هر یک از اجزاء پرداخته می‌شود.



شکل ۹- اجزای اصلی یک سیستم DWDM

۶-۱- ترانسپوندر

در ابتدای بخش، ترانسپوندر^۱ قرار دارد. انواع رشته بیت های دارای فریمینگ متفاوت همچون SONET, SDH, ATM, IP با سرعت‌های متفاوت وارد ترانسپوندر می‌شوند. این ورودی‌ها نوری^۲ و دارای یک طول موج یکسان می‌باشند، ابتدا تبدیل به سیگنال الکتریکی می‌شوند، سپس سه عمل اصلاح زمانبندی^۳، شکل دهی مجدد^۴ و تقویت و بازسازی^۵ یا اصطلاحاً عملیات 3R انجام می‌شود. در نهایت تبدیل به نور دارای طول موج استاندارد DWDM می‌شوند. لذا از علامت^۱ OEO یعنی نوری - الکتریکی - نوری برای نمایش آن استفاده می‌شود. شکل ۱۰ عملکرد آن را نشان می‌دهد (Ramaswami et al., 2009).



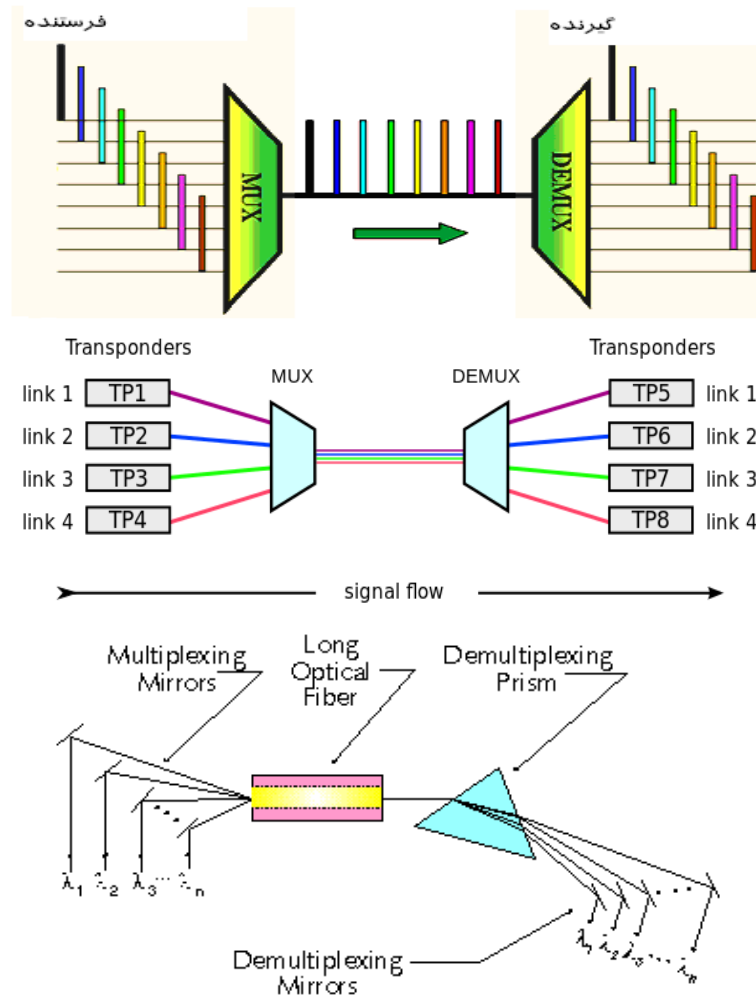
شکل ۱۰- عملکرد واحد ترانسپوندر

۶-۲. مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری (ماکس و دی ماکس)

1. Transponder
2. Optical
3. Retiming
4. Reshaping
5. Re-Amplification
6. Optical-Electrical-Optical

در مرحله بعد از ترانسپوندر، مالتی پلکسر نوری^۱ انجام می‌شود مثلاً به کمک یک منشور، نورهای ورودی مالتی پلکسر که از خروجی ترانسپوندرها آمده و هر یک دارای طول موج متفاوتی می‌باشند، با یکدیگر مخلوط شده و در قالب یک نور رنگی خارج می‌شوند (Ramaswami et al., 2009).

در سمت مقابل هم عملیات عکس توسط دی مالتی پلکسر نوری^۲ انجام می‌شود. شکل ۱۱ نحوه عملکرد مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری را نشان می‌دهد (Stamatios V. Kartalopoulos, 2002).



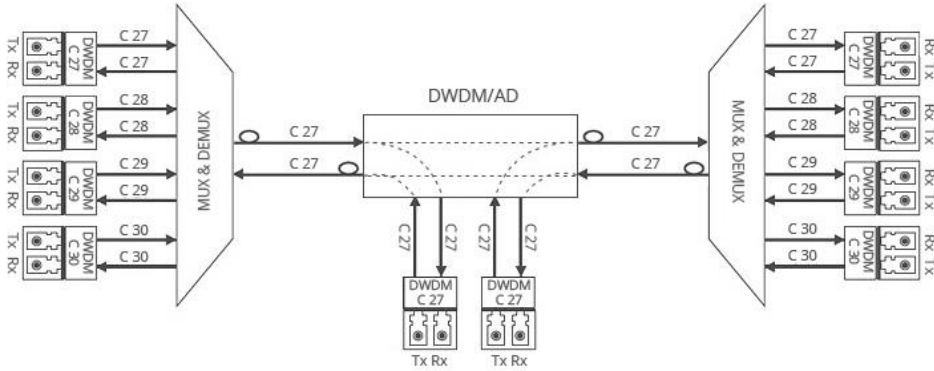
شکل ۱۱- مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری

۳-۶. مالتی پلکسر سوار/پیاده کننده نوری^۳

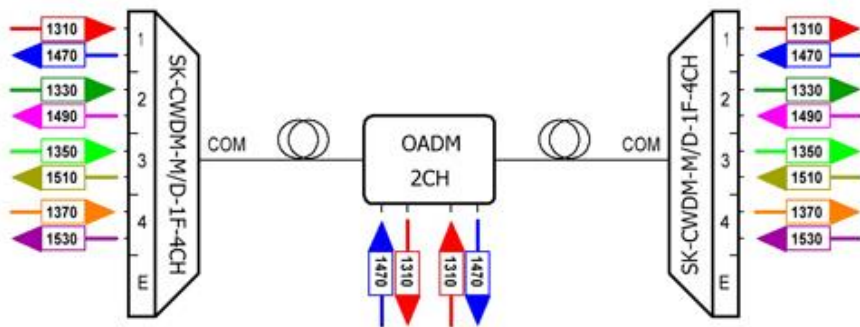
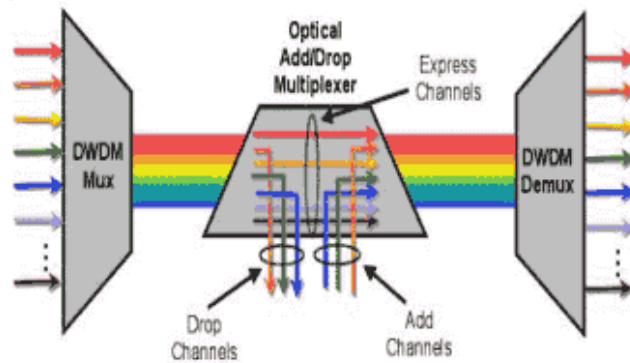
این عنصر نوع خاصی از مالتی پلکسر نوری می‌باشد که برای دسترسی به سیگنال‌های منفرد DWDM بدون اینکه آنها را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل نماید، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pedro, J., and Pato, S., 2012).

عملکرد اصلی این نوع مالتی پلکسر، برداشتن انتخابی طول موج‌ها از مسیر (محتوای داده موجود در این طول موج‌ها به فیبر دیگری انتقال داده می‌شود) و عبور بقیه طول موج‌ها و اضافه کردن همان تعداد طول موج‌ها با محتوای داده متفاوت (از فیبری که اضافه می‌شود) در همان جهت است. نحوه عملکرد این نوع مالتی پلکسر در شکل ۱۲ نشان داده شده است (Jean-Pierre Laude, 2002).

1. Optical Multiplexer (OMUX)
2. Optical De-Multiplexer (ODEMUX)
3. Optical Add/Drop Multiplexers (OADM)



1-Channel Duplex Add/Drop MUX/DEMUX



شکل ۱۲- مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر حذف/اضافه کننده نوری

۷. نتیجه گیری

نکته اساسی و تعیین کننده در پوشش بهینه و بیشینه ارتباطات مخابراتی، دستیابی به نرخ بیت بیشتر و پشتیبانی انواع سرویس ها می باشد که برای نیل به این هدف با ابداع فناوری DWDM، افزایش ظرفیت فیبر نوری با انتقال n کانال 10 Gb/s روی یک فیبر فراهم گردید. به کارگیری سیستم های DWDM موجب سهولت در مدیریت شبکه، آشکار سازی خطا، مسیریابی مجدد و سریع برای سیگنال های معیوب، عدم وابستگی به پروتکل خاص، توسعه آسان شبکه بدون نیاز به فیبر جدید و تنها با اضافه نمودن طول موج و هزینه کم و ... گردیده است. از طرفی با توجه به اینکه این سیستم ها بر بستری تمام نوری کار می کنند، این امر باعث جلوگیری از تلفات، اعوجاج، پراکندگی و نویزی شدن سیگنال شده و باعث بالا بردن سرعت انتقال می گردد. مزیت دیگر این سیستم ها پهنای باند بالایی می باشد که به سبب وجود اجزای نوری قابل دست یابی است.

منابع

1. E. Lowe, (1998). Current European WDM Deployment Trends, IEEE Communications Magazine, pp. 46-50, DOI: 10.1109/35.648756.
2. Jean-Pierre Laude, (2002). DWDM Fundamentals, Components, and Applications, ISBN: 9781580535601.
3. Pedro, J., and Pato, S. (2012). Impact of Add/Drop Port Utilization Flexibility in DWDM Networks, Journal of Optical Communications and Networking, 4(11), B142, DOI: 10.1364/jocn.4.00b142.
4. Ramaswami, Rajiv, K. Sivarajan, M. Kaufmann, and G. Sasaki, (2009) Optical networks: a practical perspective, pp.573-623.
5. Stamatios V. Kartalopoulos, (2002). DWDM: Networks, Devices, and Technology, ISBN: 978-0-471-26905-2.
6. Stamatios V. Kartalopoulos, (2002). Introduction to DWDM Technology, . ISBN: 978-0-780-35399-2.
7. V.Alwayn, (2004). Optical Network Design and implementation, Cisco Press.

