مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال ششم، شماره ۵۸، اردیبهشت ۱۴۰۳
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

افزایش ظرفیت فیبرهای نوری با استفاده از سیستم‌های WDM

پوهنیار عنایت الله عرفانی [۱] ، پوهنیار بشیر احمد نیازی [۲]

[۱] استاد پوهنحی انجنیری پوهنتون بلخ (نویسنده مسئول)
[۲] استاد پوهنحی ساینس پوهنتون بلخ

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 می‌کنند از این رو از پهنای باند بسیار بالای فیبر نوری استفاده بهینه نمی‌کنند. سیستم‌های مالتی پلکس به روش تفکیک طول موج (WDM) برای انتقال اطلاعات از چندین طیف نوری در یک فیبر استفاده می‌کنند که باعث می‌شود ظرفیت انتقال در فیبرهای موجود برابر تعداد کانال‌های ارسالی به‌روی یک فیبر افزایش یابد به‌طوری که این افزایش ظرفیت انتقال در نمونه‌های تجاری این گونه سیستم‌ها به ۱۶۰ کانال و حتی بیشتر هم می‌رسد که به‌خوبی جوابگوی افزایش حجم ترافیک سیستم‌های ارتباطی در اثر افزایش تقاضا و گسترش خدمات ارتباطی دنیای امروز است. به همین دلیل تحقیق و بررسی این گونه سیستم‌ها برای توسعه آن بسیار مهم و حیاتی می‌باشد. در این مقاله به بررسی این سیستم‌ها، انواع آن و معایب و مزایای این گونه سیستم ها می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: باندوید، تقویت کننده نوری، طول موج، فیبرنوری، مالتی پلکس کردن.

[۱۱] Wavelength Division Multiplexing

مقدمه

مزیت شبکه‌های بر پایه فیبرهای نوری این است که، فیبرهای نوری می‌توانند دیتا را با سرعت نور انتقال دهند و کارکرد این آله‌های نوری ساده می‌باشد. اما فیبرهای نوری به خودی خود مفید واقع نمی‌شوند زیرا این آله‌های نوری فقط می‌توانند یک کانال با یک طول موج مشخص را در عین زمان از خود عبور دهند، پس پهنای باند و ظرفیت آن جواب‌گوی تقاضای امروزه برای انتقال اطلاعات و دیتا نمی‌باشد .

برای حل این مشکل و پاسخگویی به افزایش پهنای باند بدون اضافه کردن فیبر جدید، دو راه حل وجود دارد:
روش اول دستیابی به سیستم‌های با نرخ بیت بالاتر بر روی یک کانال نوری موجود است؛ که تکنیک مالتی پلکس کردن به روش تقسیم زمانی TDM[۲] نام دارد. تکنیک‌های TDM به طور گسترده‌ای در سیستم‌های ارتباطی نوری موجود به‌کار رفته اند، که ذاتاً برای مالتی پلکس کردن و دی مالتی پلکس کردن به مدارات الکترونیکی وابسته هستند . لذا به‌خاطر محدودیت‌های فرکانسی مدارات الکتریکی و محدودیت‌های فیزیکی ناشی از پاشندگی و اثرات غیر خطی فیبر نوری گستره توسعه اینگونه شبکه‌ها محدود می‌شود.

روش دوم که موضوع اصلی این مقاله نیز می‌باشد تکنیک مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج WDM نام دارد.
در این روش امکان انتقال همزمان چندین کانال نوری حاوی اطلاعات مختلف بر روی یک فیبر نوری وجود دارد، دو یا بیش از دو سیگنال نوری که دارای طول موج‌های متفاوتی هستند با یکدیگر ترکیب شده و به‌طور همزمان در یک فیبر انتقال می‌یابند. این سیگنال‌ها سپس با توجه به طول موج خود در انتهای مسیر از یکدیگر تفکیک می‌شوند . به بیان ساده‌تر WDM روشی برای حداقل دو برابر کردن پهنای باند فیبر است. برای مقایسه یک بزرگ‌راه را در نظر بگیرید که در اینجا یک فیبر نقش یک بزرگ‌راه چند بانده را بر عهده دارد. سیستم های TDM سنتی تنها از یک باند این بزرگ‌راه استفاده می‌کنند و ظرفیت را با حرکت سریعتر بروی این باند منفرد افزایش می‌دهند. در شبکه‌های نوری استفاده از WDM مترادف با دسترسی به باندهای استفاده نشده بزرگ‌راه برای دستیابی به حجم قابل توجهی از ظرفیت بهره برداری نشده است، در نتیجه سیستم WDM مزیت بزرگی برای شبکه‌های مخابراطی در بستر فیبرهای نوری می‌باشد بنابر این مطالعه و تحقیق در مورد این سیستم‌ها برای رفع مشکلات و بهینه‌سازی آن‌ها امری بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد(پوراسلامی, ۱۳۸۲).

پیشینه تحقیق

به دلیل اهمیت موضوع و کاربردهای فراوان سیستم‌های مالتی پلکس کردن به روش تفکیک طول موج در دنیای امروزه، دانشمندان و محققان در این زمینه تحقیقات بسیار نموده اند.

Klaus Grobe و Michael Eiselt دو همکار و دانشمندانی هستند که در دو دهه گذشته در این زمینه تحقیقات و آزمایش‌های بسیاری را انجام داده اند و در سال ۲۰۱۳ کتاب(مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج: راهنمای کاربردی انجنیری) را چاپ و نشر نموده اند. Achyut K. Dutta از دیگر دانشمدانی است که در دو دهه گذشته در مورد سیستم‌های wdm و آله‌های نوری آن تحقیقات و آزمایش‌های بسیاری را انجام داده است، ایشان دستگاه مالتی پلکسر را مورد مطالعه قرار داده و دقت آن را افزایش داد. او به همراه Masahiko Fujihara در سال ۲۰۰۳ کتاب(تکنالوژی مالتی پلکس کردن به روش

[۲] Time Division Multiplexing

تفکیک طول موج: شبکه های نوری) را چاپ و نشر نموده اند. اگرچه مقالاتی که در این زمینه به چاپ رسیده اند، به جنبه‌های مختلف این سیستم‌ها نپرداخته اند، بنا کوشش نموده‌ام همه جوانب و بخش‌های سیستم‌های WDM را به صورت کامل مورد بررسی و مطالعه قرار دهم (GROBE & EISELT: 2013).

فیبرهای نوری و مزایای آن در انتقال اطلاعات

عبارت فیبر نوری در حوزه شبکه‌های ارتباطی می‌تواند معنای وسیع‌تری داشته باشد و برای اشاره به فناوری‌ها و شبکه‌های مبتنی بر فیبر نوری نیز به کار رود. در این صورت، منظور از" فیبر نوری" فناوری و رسانه‌ای است که با انتقال اطلاعات به شکل پالس‌های نوری در رشته‌ها یا فیبرهای شفاف شیشه‌ای یا پلیمری سروکار دارد، این پالس‌ها در طول موج‌های استاندارد مخابرات فیبر نوری ۱۵۵۰□□، ۱۴۹۰□□و ۱۳۱۰□□ قرار دارند. فیبر نوری در مقایسه با کابل مسی از پهنای باند، سرعت انتقال و برد بیشتری برخوردار است. فیبر نوری در خطوط اینترنت، تلویزیون کابلی و تلفن کاربرد گسترده‌ای دارد(Keiser, 2004).

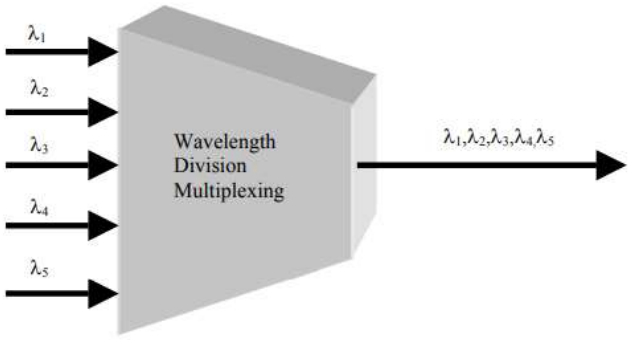
هر تار یا رشته فیبر نوری دارای هسته‌ای از جنس شیشه یا پالستیک شفاف است که در واقع مسیر حرکت نور است. "هسته" شیشه‌ای را لایه شیشه‌ای دیگری احاطه کرده است که به آن "غلاف" می‌گویند. این رشته‌ها را هر تعداد که باشند، روکش محافظ دیگری پوشانده است که "ضربه‌گیر"نام دارد. و سرانجام لایه دیگری موسوم به "روکش خارجی" کل این مجموعه را محافظت می‌کند. ممکن است برخی از فیبرهای نوری بین غالف و روکش ضربه‌گیر، روکش میانی نیز داشته باشند. همچنین ممکن است دارای دو روکش ضربه‌گیر باشند (Weik, 1989).

ساده‌ترین نوع فیبر نوری، مدل تک مود است. فیبرهای نوری تک مود عموما هسته‌ای به قطر کمتر از ۱۰ میکرو متر دارند. می‌توان گفت که سیگنال نوری تنها در یک حالت و در وسط هسته فیبر حرکت می‌کند. برای مسافت های طولانی در حدود ۱۰۰ کیلومتر و ارسال حجم زیادی از اطلاعات ، از فیبر نوری تک مود استفاده می‌شود. نوع دیگر فیبرهای نوری، مالتی مود نامیده می‌شوند. در این نوع از فیبرهای نوری، سیگنال آپتیکی در چند حالت مختلف می‌تواند از طریق فیبر ارسال شود. قطر هسته این فیبرها برابر ۵۰ میکرومتر و قطر غلاف برابر ۱۲۵ میکرومتر است. فیبرهای مالتی مود شامل فیبرهای با ضریب شکست پله‌ای و فیبرهای با ضریب شکست تدریجی هستند. فیبرهای مالتی مود برای فواصل کوتاه نظیر شبکه های LAN مناسب هستند در حالیکه پاشندگی مود باعث محدودیت استفاده آنها در فواصل بلند و یا در سیستم‌های چند طول موجی می‌شود (Jamro, 2009).

یکی از بهترین مزایای استفاده از فیبر های نوری در انتقال اطلاعات این است که فیبرهای نوری در محیط‌های مخاطره آمیزتری همچون زیر آب و بین اقیانوس‌ها نیز به کار گرفت. برآورد شده است که حدود ۹۹ درصد دیتاهای بین المللی از طریق فیبرهای نوری منتقل می‌شوند. بسیاری از کابل‌های فیبر نوری، کشورها و قاره ها را از زیر دریاها و اقیانوس ها به هم متصل کرده اند (Hayes, 2000).

اصول مالتی پلکس کردن به روش تقسیم طول موج(WDM)

مالتی پلکسی تقسیم طول موج (WDM) به یک طرح چندگانه سازی و انتقال در فیبرهای مخابراتی نوری اشاره دارد که در آن طول موج‌های مختلف، که معمولاً توسط چندین لیزر ساطع می‌شوند، به طور مستقل مدوله می‌شوند (یعنی اطلاعات مستقلی را از فرستنده‌ها به گیرنده‌ها منتقل می‌کنند). سپس این طول موج‌ها با استفاده از فیلترهای WDM غیرفعال (مالتی پلکسر) در فرستنده مالتی پلکس می‌شوند و به همین ترتیب با استفاده از فیلترهای مشابه یا تشخیص منسجم که معمولاً شامل یک نوسان ساز محلی (لیزر) قابل تنظیم است، در گیرنده جدا یا دی مولتی پلکس می‌شوند، به طور خلاصه می‌توان گفت، انتقال همزمان پالس‌های نوری، منابعی با طول موج‌های متفاوت نظیر λ_1 ،λ_2 ،λ_3 ،λ_4 ....λ_n شکل(۱) درون یک فیبر اساس کار مالتی پلکس نوری یا WDM است (GROBE & EISELT, 2013).



شکل۱. تصویر مالتی پلکس کردن چندین طول موج بر روی یک فیبر نوری

سیستم‌های WDM پیشرفته دارای پهنای باندی برابر پهنای باند تقویت کننده اربیوم هستند. در آینده استفاده از تقویت کننده‌های اربیوم باعث افزایش پهنای باند می‌شود. سیستم می‌تواند شامل تعداد زیادی کانال با نرخ بیت کم، یا تعداد کمی کانال با نرخ بیت بالا باشد. حد اکثر 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 (پوراسلامی, ۱۳۸۲).

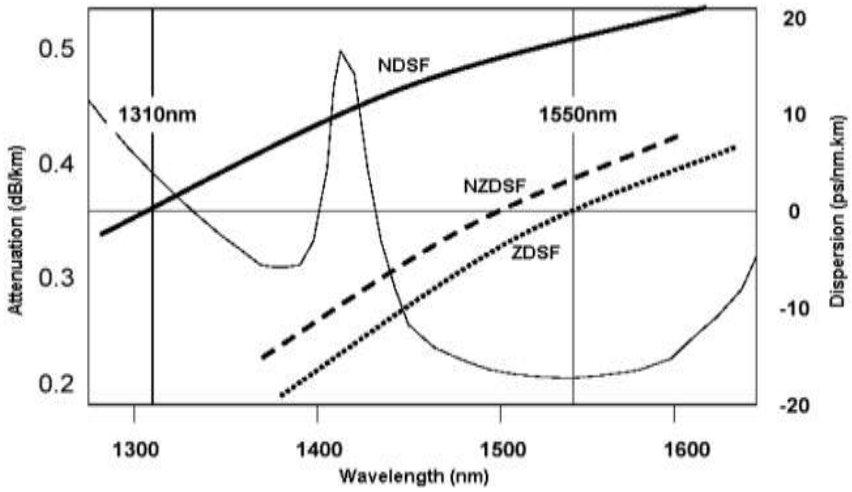
فیبر نوری مناسب تکنولوژی WDM

فیبر های مالتی مود برای فواصل کوتاه نظیر شبکه های LAN مناسب هستند در حالیکه پاشندگی مود باعث محدودیت استفاده آنها در فواصل بلند و یا در سیستم‌های چند طول موجی می‌شود. اما فیبرهای تک مود 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 مود شده است.

فیبرهای تک مود به دو دسته اصلی فیبرهای بدون جابجایی پاشندگی و فیبرهای با پاشندگی جابجا شده، تقسیم می‌شوند که خود DSF[۳] ها شامل فیبر با پاشندگی جابجا شده صفر و فیبر با پاشندگی جابجا شده غیر صفر هستند. در فواصل کوتاه تا متوسط معمولاً از فیبرهای NDSF[۴] و در فواصل طولانی از فیبرهای DSF استفاده می‌شود.

بهترین نوع فیبرهای تک مود برای سیستم‌های چند طول موجی، فیبرهای NZDSF[۵] هستند. این فیبرها توازنی بین پارامترهای پاشندگی، تضعیف و آثار غیرخطی به‌وجود آورده اند. از مزایای این فیبرها امکان استفاده آنها در طول موج ۱۵۵۰ 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 فیبرهای ZDSF[۶] برای سیستم های DWDM مشکل ساز بود، در این فیبرها کمتر شده است. از نظر تضعیف با توجه به آنکه هر دو در ۱۵۵۰ nm کار میکنند، رفتار یکسانی دارند.

در شکل۲ منحنی انواع فیبرهای تک مود با توجه به تضعیف و پاشندگی آن‌ها بر حسب طول موج نشان داده شده است.



شکل۲ . منحنی انواع فیبرهای تک مود با توجه به تضعیف و پاشندگی آن‌ها بر حسب طول موج(Dutta, 2013).

نوع خاصی از فیبرهای تک مود NZDSF، فیبرهای با سطح موثر بزرگ LEAF[۷] هستند. در سیستم‌های با نرخ انتقال اطلاعات بالا، بیشترین توانی که میتواند از داخل فیبر عبور کند حائز اهمیت است. در این فیبرها با بالا بردن سطح مقطع موثر هسته فیبر اجازه عبور توان بیشتر را می‌دهند بنابراین بهترین نوع فیبر برای سیستم‌های WDM و DWDM[۸]، فیبرهای NZDSF با

[۳] Dispersion-Shifted Fiber

[۴] Non- Dispersion-Shifted Fiber

[۵] Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber

[۶] Zero Dispersion-Shifted Fiber

[۷] Large Effective Area Fibers

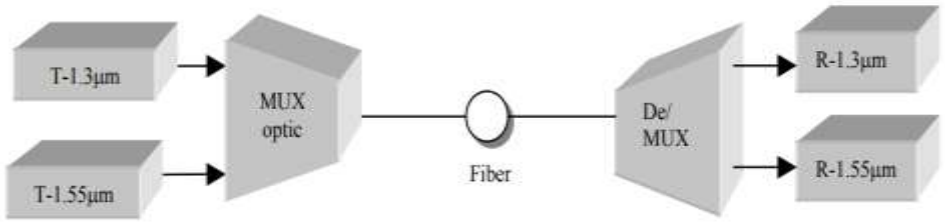
[۸] Dense wavelength Division Multiplexing

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 (Dutta, 2013).

انواع سیستم های WDM

WDM

در تکنولوژی WDM مالتی پلکس تقسیم طول موج، ظرفیت انتقال فیبر نوری فقط دو برابر می‌شود و در این سیستم‌ها دو کانال نوری با هم ترکیب می‌شوند. در این تکنولوژی فاصله طول موج کانال‌ها از یکدیگر زیاد است به طوری که یک کانال با طول موج ۱۳۱۰ nm با کانال دیگری با طول موج در محدوده با تلفات کمتر فیبر بین محدوده طول موج های ۱۵۲۸ nm و ۱۵۶۰nmترکیب و به روی فیبر ارسال می‌شود. همچنین در این سیستم میتوان طول موج یکی از کانال‌ها را با طول موج ۸۵۰ nmجایگزین کرد. بلوک دیاگرام نمونه‌های از این سیستم در شکل۳ نشان داده شده است، در سمت ارسال دو کانال اطلاعاتی توسط واحد فرستنده نوری به دو طول موج نوری۱,۳ µm و۱,۵۵ µm تبدیل می‌شوند. در ابتدای خط انتقال این دو طول موج توسط یک واحد مالتی پلکسر دو کاناله نوری بر روی یک فیبر انتقال داده می‌شوند. 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 ۱,۳ µm و ۱,۵۵ µm آشکار شده و سیگنال اطلاعات استخراج می‌شود (پوراسلامی, ۱۳۸۲).

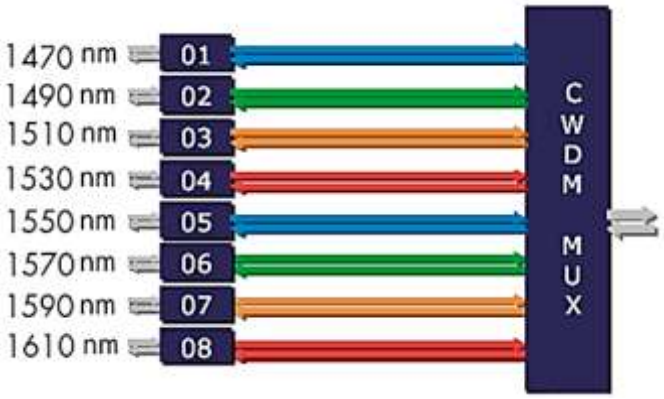


شکل ۳بلوک دیاگرام سیستم WDM دو کاناله(پوراسلامی, ۱۳۸۲)

CWDM

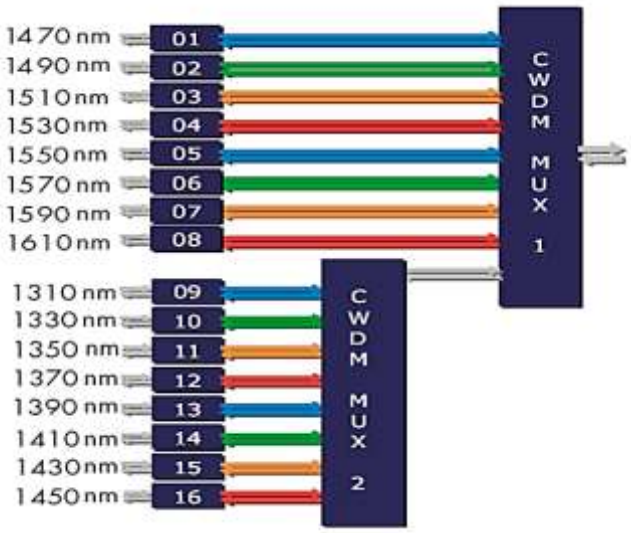
در تکنولوژی[۹]CWDM مالتی پلکس تقسیم طول موج، ظرفیت انتقال فیبر نوری چهار، هشت و یا شانزده برابر می‌شود و در این سیستم‌ها چندین کانال نوری با فاصله ۲۰ nm با هم ترکیب می‌شوند. سیستم‌های CWDM هشت کاناله طبق استاندارد ITU-TG694.2 در دو محدوده طول موجی بین ۱۶۱۰nm~ ۱۴۷۰nm و ۱۴۵۰nm ~ ۱۳۱۰nm با فاصله طول موج ۲۰ nm قرار دارند. شکل٤ نمونه ۸ کاناله از این سیستم ها را در باند یک نشان می‌دهد.

[۹]Course wavelength Division Multiplexing



شکل۴ سیستمCWDM ۸کاناله (Dutta, 2013)

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. شکل۵ ساختار CWDM 16 کاناله را نشان می‌دهد.



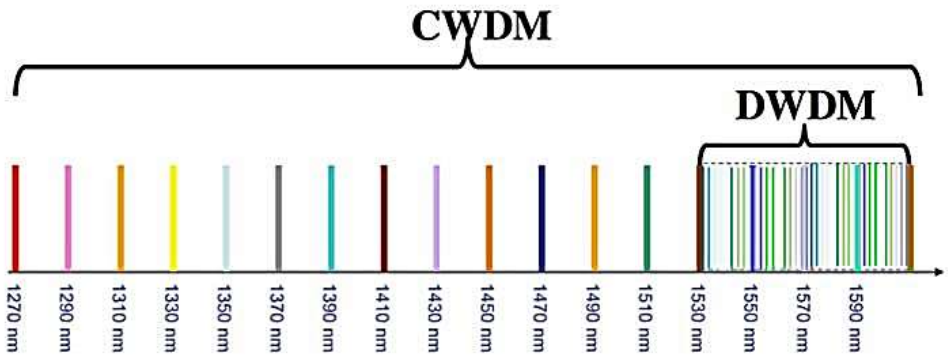
شکل ۵ سیستم CWDM ۱۶ کاناله(پوراسلامی, ۱۳۸۲).

قابلیت انعطاف این تکنولوژی این امکان را می‌دهد که برای بیشتر کردن ظرفیت انتقال سیستم، تکنولوژی DWDM را با این سیستم ترکیب کرد. چون سیستم‌های DWDM در محدوده طول موجی nm ۱۵۵۰ هستند. در این روش می‌توان بجای هر یک از دو کانال nm ۱۵۳۰ و nm ۱۵۵۰ از سیستمCWDM ، ۸ کانال DWDM قرار داد. که با این ترکیب می‌توان به

ظرفیت ۳۰ کانال با تکنیکDWDM روی CWDM رسید. چنین ساختارهای 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 (پوراسلامی, ۱۳۸۲).

DWDM

در تکنولوژیDWDM[1] تقسیم طول موج با کثافت زیاد، ظرفیت انتقال فیبر با ترکیب طول موج‌های مختلف در پنجره ۱۵۱۰ nm، چندین برابر افزایش می‌یابد و با استفاده از تقویت کننده‌های نوری فاصله انتقال طولانی را می‌پوشاند. فاصله بین کانال‌ها در سیستم DWDM نظر به سیستم‌های مختلف ۰,۲□□ الی ۸□□ می‌باشد. در این روش از طول موج‌های پنجره ۱۳۱۰ nm استفاده نمی‌شود، علت آن این است که تقویت کننده‌های نوری مرسوم تقویت کننده‌های EDFA هستند و این تقویت کننده‌های نوری فقط قادر به تقویت طول موج‌های نوری در محدوده پنجره ۱۵۱۰ nm می باشند. برای تقویت سیگنال در اثر افت فیبر در فواصل طولانی، به علت اینکه کلیه طول موج‌ها در محدوده ۱۵۱۰ nm هستند. می‌توان 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 پر هزینه است که با استفاده از تقویت کننده‌های EDFA در سیستم‌هایDWDM این نیاز برطرف شده است. در شکل۶ سیستم CWDM و DWDM مقایسه شده و می‌بینیم که سیستم‌های DWDM به دو باند تقسیم میشوند: باند C و باند L و هر باند در محدوده کاری خاصی استفاده می‌شود (Dutta & Fujiwara, 2004).



شکل۶. مقایسه سیستم DWDM و CWDM (Fujiwara, 2004).

نتیجه گیری

با شروع قرن بیست و یکم و پیدایش کمپیوترها شبکه‌های انتقال دیتا و اطلاعات دیجیتال مانند انترنت توسعه پیدا کردند. با پیشرفت کمپیوترهای مدرن و افزایش جمعیت، روز به روز تقاضا برای انتقال دیتا، ویدیو، تصویر، صوت و متن افزایش یافته قسمی که نیاز به بهبود عملکرد و ظرفیت اینگونه سیستم‌ها احساس می‌شود.

[1] Dens Wavelength Division Multiplexing

اواخر قرن بیستم در نتیجه تحقیق در مورد خواص نور دانشمندان توانستند آله نوری را اختراع کنند که می‌تواند نـور را در خود هدایت کند و آنرا فیبر نوری نامگذاری کردند. از آنجایی که سرعت نور از سرعت برق بیشتر اسـت، ایـده اسـتفاده از فیبر نوری برای ساخت شبکه‌های ارتباطاتی نوری ایشان را واداشـت در ایـن زمیتـه تحقیـق کننـد. سیسـتم‌های نـوری اولیـه می‌توانست یک کانال نوری در یک طول موج، توسط یک فیبر انتقال دهند. اما ظرفیت اینگونه سیستم‌ها بسیار کـم و ناکارآمـد است. به همین دلیل روش مالتی پلکس کردن با تقسیم طول موج توسعه داده شد. در این روش دو یا تعداد بیشتری کانـال در طول موج‌های مختلف از طیف‌های ۱,۳ میکرومتر ۱,۵۵ میکرومتر توسط آله‌ای به نام مالتی پلکسر ترکیب شده و در یک فیبـر واحد انتقال می‌یابند. سپس در انتهای شبکه کانال‌ها توسط دی مالتی پلکسر از هـم جـدا شـده، سـیگنال‌ها در گیرنـده نـوری دریافت می‌شوند.

علت استفاده از طیف‌های ۱,۳ و ۱,۵۵ میکرومتر، تضعیف کمتر سیگنال نوری در ایـن طـول موج‌هـا می‌باشـد. در دو دهه گذشته سیستم‌های WDM گسترش پیدا کردند. ادوات نوری که برای عملکرد بهتر این سیستم‌ها ضروری اسـت، سـاخته شده است. امروزه شبکه‌های WDM به دو روش CWDM و DWDM به صورت گسـترده اسـتفاده می‌شـوند و زیـر سـاخت اصلی انترنت جهانی را تشکیل می‌دهند. ظرفیت سیستم‌های WDM به ۲۰۰ گیگابیت برثانیه رسیده است و می‌تواند بـه طـور همزمان ۱۶۰ کانال نوری در یک فیبر نوری واحد انتقال دهد. هنوز هم توسعه این سیستم‌ها نـوری ادامـه دارد و در سـال‌های آینده ظرفیت آن بیشتر خواهد شد.

Reference

1- Dutta, A., & Fujiwara, M. (2004). WDM Technologies: Optical Networks. Academic Press.

2-Dutta, N., & Wang, Q. (2013). Semiconductor optical amplifiers. World Scientific Publishing Company Incorporated.

3-GROBE, K., & EISELT, M. (2013). Wavelength Division Multiplexing: A Practical Engineering Guide. New Jersey: John Wiley & Sons.

4-Hayes, J. J. (2000). Fiber Optics Technician's Manual, 2nd Edition. http://e-library.ittelkom-jkt.ac.id/index.php?p=show_detail&id=450.

5-Jamro, M. (2009). Optical fiber communications: Principles and Practice. Pearson Education.

6-Keiser, G. (2004). Optical Communications essentials. John Wiley & Sons, Inc.

7-Weik, M. (1989). Fiber Optics Standard Dictionary. Springer.

۸- پوراسلامی, ع. (۱۳۸۲). سیستم های ارتباط نوری بخش دوم: سیستم های .WDM تهران: جهاد دانشگاهی صنعتی شریف.

Abstract

Today, due to the increase in demand for the transmission of large amounts of information, optical communication systems have received attention due to their high potential for information transmission. But optical communication systems only send an optical signal in optical fiber as a transmission medium, so they do not make optimal use of the very high bandwidth of optical fiber. Wavelength Division Multiplexing (WDM) systems use several optical spectrums in one fiber to transmit information, which increases the transmission capacity of existing fibers by the number of channels sent on one fiber, so that this increase in transmission capacity in Commercial examples of such systems reach 160 channels and even more, which is a good answer to the increase in the traffic volume of communication systems due to the increase in demand and the expansion of communication services in today's world. For this reason, the research of such systems is very important for its development. And it is vital. In this article, we examine these systems, their types, and the disadvantages and advantages of these types of systems.

Key Words: Bandwidth, optical amplifier, wavelength, fiber optics, multiplexing.