دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

چندپخشی در شبکه‌های WDM تمام نوری با سوئیچ‌های مجهز به مبدل طول‌موج محدود

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مخابرات

سید عباس میر محمدی

استاد راهنما

مهندس مسعود عمومی

۱۳۸۶

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایـج مطالعـات، ابتکـارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامـه (رسـاله) متعلق به **دانشـگاه صنعتی اصفهان** است.

این پایان‌نامـه بـا حمایـت **مرکـز تحقیقـات مخـابرات ایران** (قرارداد شماره ۵۰۰/۲۹۰۷/ت مورخ ۸۳/۳/۲۴) بـه اتمام رسیده است

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت
چکیده ۱
فصل اول : مقدمه **۲**
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ همتافت‌گری تقسیم طول موج ۴
۱-۳ چندپخشی در شبکه‌های نوری ۵
۱-۴ روند ارائه‌ی مطالب ۷
فصل دوم : مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های نوری **۹**
۲-۱ مقدمه ۹
۲-۲ شبکه‌های مسیریابی طول‌موج ۱۰
۲-۲-۱ شبکه‌های دارای قابلیت تبدیل طول‌موج ۱۰
۲-۲-۲ شبکه های چندپرشی و تک‌پرشی ۱۰
۲-۳ الگوریتم های مسیریابی طول‌موج ۱۱
۲-۳-۱ طبقه بندی الگوریتم‌های RWA ۱۱
۲-۳-۲ الگوریتم‌های RWA ۱۳
۲-۴ الگوریتم‌های یافتن کوتاه‌ترین مسیر ۱۴
۲-۴-۱ الگوریتم Dijkstra ۱۴
۲-۴-۲ الگوریتم Breadth-First ۱۶
۲-۵ مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های نوری ۱۶
۲-۶ تولید درخت چندپخشی ۱۸
۲-۶-۱ تولید درخت در شبکه های FSC ۱۸
۲-۶-۲ تولید درخت در شبکه های SSC ۱۸
۲-۷ روش‌های تولید درخت بر مبنای منبع ۱۹
۲-۷-۱ مسیریابی مجدد به سمت منبع ۱۹
۲-۷-۲ مسیریابی مجدد به سمت هر یک از اعضاء ۲۰
۲-۷-۳ اول اعضاء ۲۰
۲-۸ تولید درخت بر مبنای Steiner ۲۲
۲-۸-۱ فقط اعضاء ۲۲
۲- ۹ مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های بدون تقسیم‌کننده ۲۳
فصل سوم : سوئیچ‌های قادر به شرکت در نشست‌های چندپخشی **۲۵**
۳-۱ مقدمه ۲۵
۳-۲ چندپخشی مسدودنشدنی در شبکه‌های WDM ۲۶
۳-۲-۱ مدل‌های چندپخشی در سوئیچ‌های WDM ۲۶
۳-۲-۲ ظرفیت چندپخشی تحت مدل‌های متفاوت ۲۹
۳-۲-۳ هزینه‌ی شبکه یا سوئیچ تحت مدل‌های مختلف ۲۹

۳-۲-۴ مقایسه مدل‌های مختلف ۳۰
۳-۳ ظرفیت اتصالات چندپخشی در سوئیچ‌های WDM با قابلیت تبدیل طول‌موج با مرتبه‌ی محدود ۳۲
۳-۳-۱ ظرفیت اتصالات چندبخشی در یک سوئیچ WDM با k طول‌موج و قابلیت تبدیل طول‌موج محدود از مرتبه‌ی $d=2$ .. ۳۴
۳-۳-۲ محاسبه ظرفیت چندپخشی در یک سوئیچ $N\times N$ با k طول‌موج در حالت $d=2$ ۳۷
۳-۳-۳ ظرفیت اتصالات چندپخشی در یک سوئیچ WDM با k طول‌موج و قابلیت تبدیل طول‌موج محدود از مرتبه‌ی $d=3$ .. ۳۸
۳-۴ احتمال مسدودشدن درخواست چندپخشی در یک سوئیچ نوری ۴۰
۳-۵ نتیجه‌گیری ۴۴
فصل چهارم : چندپخشی در شبکه‌های نوری تک‌پرشی بدون مبدل طول‌موج وشبکه‌های چندپرشی ٤٥
۴-۱ مقدمه ۴۵
۴-۲ چندپخشی در شبکه‌های نوری چندپرشی یا دارای مبدل طول‌موج ۴۶
۴-۲-۱ چندپخشی در شبکه‌های IP روی WDM ۴۶
۴-۲-۲ استفاده از WADM ۴۸
۴-۲-۳ مسیریابی و تخصیص طول‌موج بهینه در شبکه‌های چندپرشی ۵۰
۴-۳ چندپخشی در شبکه‌های تک‌پرشی یا شبکه‌های تمام نوری. ۵۳
۴-۳-۱ تخصیص طول‌موج در شبکه های SSC ۵۴
۴-۳-۲ تعداد طول‌موج مورد نیاز برای اتصالات چندپخشی در یک شبکه‌ی تمام‌نوری ۵۵
۴-۳-۳ تخصیص طول‌موج پویا برای حداکثر کردن ظرفیت شبکه ۵۶
۴-۴ نتیجه گیری ۶۰
فصل پنجم : چندپخشی در شبکه‌های تمام نوری با قابلیت تبدیل طول‌موج محدود ٦٢
۵-۱ مقدمه ۶۲
۵-۲ مبدل‌های طول‌موج تمام‌نوری ۶۳
۵-۳ استفاده از مبدل طول‌موج تمام‌نوری در برقراری نشست‌های یک‌به‌یک ۶۳
۵-۴ چندپخشی در شبکه‌های تمام‌نوری با قابلیت تبدیل طول‌موج محدود ۶۴
۵-۵ روش به‌کار رفته در شبیه‌سازی ۶۴
۵-۵-۱ الگوریتم اول اعضاء ۶۵
۵-۵-۲ مراحل شبیه‌سازی ۶۷
۵-۶ نتایج شبیه‌سازی ۶۷
۵-۶-۱ روش مسیریابی مجدد به سمت منبع ۶۸
۵-۶-۲ روش اول‌اعضاء ۷۱
۵-۷ نتیجه‌گیری ۷۳
فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷
۶-۱ نتیجه‌گیری ۷۷
۶-۲ پیشنهادات ۷۸
اختصارات ۷۹
مراجع ۸۱

چکیده

همتافت‌گری تقسیم طول‌موج یا WDM به معنای ارسال همزمان چندین طول‌موج نوری مختلف و نزدیک به‌هم که هریک مستقلاً توسط سیگنال‌های متفاوت مدوله شده‌اند، بر روی یک رشته‌ی فیبرنوری می‌باشد. با استفاده از این تکنیک پهنای باند در دسترس تا 320Gbps نیز می‌رسد. درخواست‌هایی که پاسخ به آنها نیازمند برقراری نشست چندپخشی‌است، مانند کنفرانس ویدیویی، معمولاً به پهنای‌باند بالایی احتیاج دارند. مناسب‌ترین انتخاب برای پاسخ به این‌گونه درخواست‌ها، شبکه‌های نوری و استفاده از تکنیک WDM می‌باشد. یکی از موارد مهم برقراری ارتباط در شبکه‌های WDM داشتن شبکه‌ی تمام‌نوری و عدم لزوم تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی در گره‌های میانی یک مسیر است. در فرستادن داده از گره‌ی مبدأ به گره‌ی مقصد از راه یک مسیرنوری که شامل چندین گره‌ی میانی است، اگر روی دو لینک مجاور طول‌موج یکسان موجود نباشد اتصال مسدود میشود. برای مواجه نشدن با این مشکل می‌توان در گره‌های مسیریاب از مبدل‌های طول‌موج استفاده کرد. در صورت استفاده از مبدل‌های طول موج کامل، که در آنها پرتو نور ورودی ابتدا به سیگنال الکتریکی تبدیل و سپس با طول‌موج نوری دلخواه روی خروجی موردنظر قرار می‌گیرد، تا حد بسیار زیادی احتمال مسدودشدن کاهش می‌یابد ولی در عوض مزایای داشتن یک ارتباط تمام‌نوری ازدست می‌رود. به‌جای آن می‌توان از مبدل‌های طول‌موج تمام نوری استفاده‌کرد که قادر به تبدیل طول‌موج ورودی به تعداد محدودی از طول‌موج‌های موجود در شبکه می‌باشند. در این پایان‌نامه ضمن بررسی کارهای انجام‌شده‌ی قبلی در مورد چندپخشی در شبکه های WDM و بیان بعضی نتایج به‌دست آمده از آن‌ها و نیز معرفی الگوریتم‌های رایج برای مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های نوری، با استناد به نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری، تأثیر استفاده از مبدل‌های طول‌موج تمام‌نوری در برقراری نشست‌های چندپخشی، مورد ارزیابی قرارگرفته و کارآیی دو روش مهم مسیریابی چندپخشی در شبکه ای که سوئیچ‌های آن دارای این‌نوع مبدل‌ها هستند باهم مقایسه می‌شود. همچنین خواهیم دید که کارآیی این شبکه‌ها از کارآیی شبکه‌های دارای مبدل‌های طول موج کامل چندان کمتر نیست.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

با این‌که صنعت کامپیوتر از دیگر صنایع (از جمله صنایع اتومبیل و حمل ونقل هوایی) نسبتاً جوان‌تر است، اما در مدت بسیار کوتاه به پیشرفت‌های چشمگیری دست یافته است. در ابتدای کار، سیستم‌های کامپیوتری بسیار متمرکز بودند و معمولاً در یک اتاق جا می‌گرفتند و افراد برای انجام کارهای خود باید به این اتاق مراجعه می‌کردند.

پیوند دو علم مخابرات و کامپیوتر، هر دو صنعت را، دچار تحولات عظیم کرد. مدل کامپیوتر بزرگی که تمام کارهای محاسباتی یک سازمان را انجام می‌داد اکنون جای خود را به تعداد زیادی کامپیوتر کوچک متصل به هم یا همان شبکه‌های کامپیوتری[1] داده است[۱].

در شبکه‌های کامپیوتری نسل اول در لایه‌ی فیزیکی از کابل‌های مسی برای اتصال کامپیوترها به‌هم استفاده می‌شد و انتقال و سوئیچینگ داده هر دو در حوزه‌ی الکترونیک انجام می‌گرفت[۲]. ولی مشکلات ذاتی سیم‌های مسی که در ادامه به‌طور گذرا به آنها اشاره می‌کنیم، محققان را به فکر یافتن یک واسطه‌ی انتقال دیگر انداخت[۳]. بعضی از این مشکلات عبارتند از:

۱- پهنای باند محدود به دلیل خواص فیزیکی

---

[1] computer network

۲- آسیب‌پذیری و حساسیت در برابر تداخل میدان‌های الکتریکی و رادیویی و نیز وجود همشنوایی[1] که کیفیت داده‌های انتقالی را پایین می‌آورد

۳- امنیت کم

با توجه به افزایش درخواست‌هایی که شبکه‌های کامپیوتری برای پاسخ دادن به آن‌ها به پهنای باند بالایی نیاز دارند، مانند درخواست داده‌های چندرسانه ای[2]، و نیز مزایای مهمی که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم، فیبرهای نوری بهترین گزینه برای جایگزینی کابل‌های مسی در شبکه‌های کامپیوتری نسل دوم می‌باشند[۲]. به‌طور گذرا و خلاصه بعضی مزایای فیبرهای نوری عبارت اند از [۳ و۴]:

۱ -پهنای باند بسیار بالا در حدود $25THz$

۲ -تضعیف کم در حدود $0.2dB/km$. با وجود این تضعیف بسیار کم، می‌توان سیگنال‌های نوری را بدون نیاز به تقویت کننده[3] یا تکرار کننده[4] تا ده‌ها کیلومتر منتقل نمود.

۳ -ایمنی در برابر میدان‌های الکترومغناطیسی : چون فیبر نوری از ماده‌ی عایق ساخته می‌شود، انتقال سیگنال در آن، نه امواج الکترومغناطیس تشعشع می‌کند و نه تحت تأثیر تداخل‌های الکترومغناطیس یاEMI[5] قرار می‌گیرد.

۴ -امنیت در انتقال داده : یکی از نیازهای یک شبکه‌ی مخابراتی، محیط انتقال امن و مصون از دسترسی‌های غیر مجاز می‌باشد. فیبرهای نوری از این جهت بسیار مطمئن بوده و به دلیل ساختار فیزیکی، دسترسی غیر مجاز به آن‌ها به آسانی توسط واحد امنیت شبکه قابل ردیابی است.

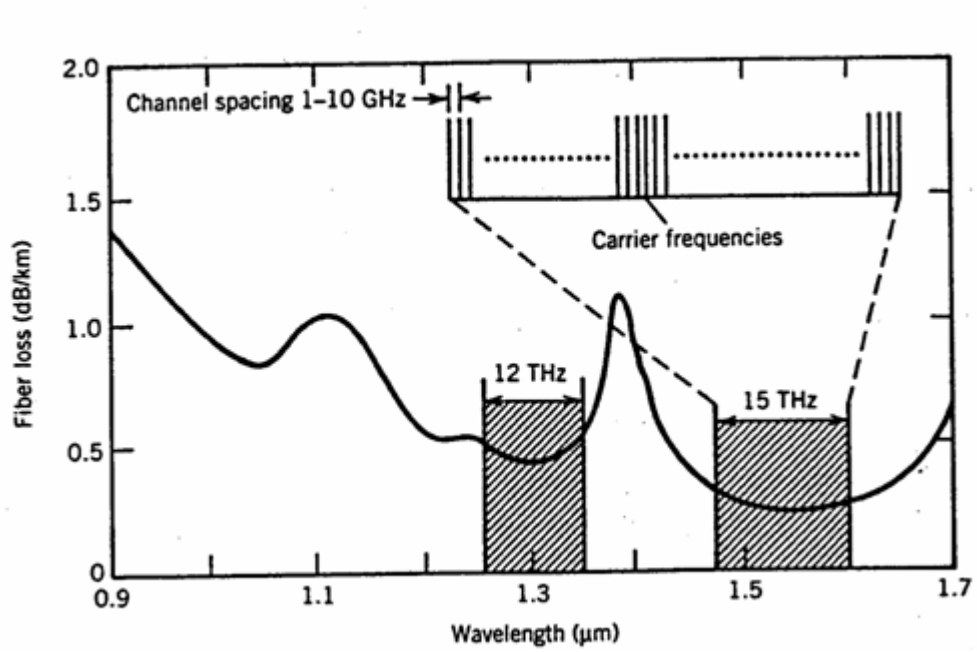
از دیگر مزایای فیبرنوری می‌توان به اعوجاج کم، توان کم مورد نیاز در فرستنده، فضای مورد نیاز بسیار کم و هزینه‌ی پایین اشاره کرد.

در شکل (۱-۱) نمودار تضعیف یک فیبرنوری استاندارد بر حسب طول‌موج سیگنال عبوری نمایش داده‌شده‌است[۵]. پهنای باند یک رشته فیبر نوری حول طول موج‌های $1.3\mu m$ و $1.55\mu m$ (محدوده‌های دارای کمترین تضعیف) حدود $25THz$ می‌باشد[۶] . در اولین سیستم‌های مخابراتی که از فیبرهای نوری به عنوان واسط انتقال استفاده می‌کردند، در هر رشته فیبر یک سیگنال حاوی داده در یک جهت انتقال، انتشار می‌یافت. در این بین موفق‌ترین و پراستفاده‌ترین تکنولوژی در دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی، استاندارد SONET/SDH[6] بوده‌است [۷]که درآن از روش‌های همتافت‌گری تقسیم زمان یا TDM[7] و در هم‌نهی

---

[1] Crosstalk
[2] Multimedia
[3] Amplifier
[4] Repeater
[5] Electro Magnetic Interference
[6] Synchronous Optical NETwork/ Synchronous Digital Hierarchy
[7] Time Division Multiplexing

بایت[1] استفاده می‌شود. بر طبق این استاندارد می‌توان داده‌ها را با نرخ‌های پلکانی از 51.84*Mbps* در OC-1[2] تا 10*Gbps* در OC-192 منتقل کرد. البته این نرخ انتقال با استفاده از OC-768 تا 40*Gbps* نیز قابل افزایش است[۸].



شکل (۱-۱) نمودار تضعیف یک فیبرنوری استاندارد بر حسب طول‌موج سیگنال عبوری[۵]

بنابراین با استفاده از یک کانال انتقال سریع به دلیل محدودیت سرعت پردازش در تجهیزات الکترونیکی حداکثر 40*Gbps* یعنی بخش کوچکی از پهنای باند بسیار بالای فیبر نوری قابل استفاده است که مسلماً استفاده‌ی مطلوبی از آن نمی‌شود. با به کار بردن این روش‌ها، اگر دریک شبکه‌ی مخابراتی به پهنای باند بالاتری نیاز داشته‌باشیم باید بر تعداد فیبرهای نوری نصب شده بیافزاییم که راه حل مناسبی به نظر نمی‌رسد. بهترین راه برای دستیابی به پهنای باند بالاتر، فرستادن چند سیگنال نوری متفاوت به طور همزمان روی یک رشته فیبر نوری با استفاده از تکنیک همتافت‌گری تقسیم طول موج یا WDM[3] است که در ادامه به‌آن اشاره می‌کنیم.

۱-۲ همتافت‌گری تقسیم طول موج

پیشرفت بزرگ به‌دست آمده در استفاده از پهنای باند بسیار بالای فیبرنوری حاصل دو تکنولوژی می‌باشد :

---

[1] Byte Interleaving
[2] Optical Carrier
[3] Wavelength Division Multiplexing

۱- همتافت‌گری تقسیم طول‌موج یا WDM : این تکنیک به معنای ارسال همزمان چندین طول‌موج نوری مختلف و نزدیک به‌هم که هریک مستقلاً توسط سیگنال‌های متفاوت مدوله شده‌اند، بر روی یک رشته‌ی فیبر نوری می‌باشد[۹]. هر کدام از این طول‌موج‌ها معادل یک کانال انتقال مستقل بوده و می‌توان با به‌کار بردن روش‌هایی مانند همتافت‌گری تقسیم زمان و ارسال حداکثر نرخ بیت قابل پردازش توسط تجهیزات الکترونیکی روی هر طول‌موج، از پهنای باند هر کانال بیشترین استفاده را نمود.

امروزه سیستم‌های WDM دارای ۱۶ طول موج در OC-48 و ۳۲ طول موج در OC-192 که پهنای باند آنها به ترتیب 40Gbps و 320Gbps می‌باشد در دسترس هستند. در WDM فشرده یا DWDM[1] با کاهش فاصله بین کانال‌های طول‌موج تا حداکثر $3nm$ و در نتیجه افزایش تعداد آنها، پهنای باند قابل استفاده بسیار افزایش می‌یابد.

۲- تقویت‌کننده‌های تمام‌نوری مانند EDFA[2] : در این تقویت‌کننده‌ها، همه‌ی طول‌موج‌های داخل یک فیبر در محدوده‌ی نسبتاً وسیعی به طور هم‌زمان، مستقیماً در حوزه‌ی نور و بدون تبدیل شدن به سیگنال‌های الکتریکی تقویت می‌شوند[۶].

۱-۳ چندپخشی در شبکه‌های نوری

مدل‌های برقراری ارتباط در شبکه‌های مخابراتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد : ارتباط نقطه به نقطه یا تک پخشی[3] که در آن گره‌ی مبدأ، داده‌ها را به یک گره به‌عنوان مقصد می‌فرستد. در مدل دوم یا پخش داده[4]، داده‌ها از گره‌ی مبدأ به همه‌ی گره‌های موجود در شبکه ارسال می‌شوند. چندپخشی[5] بین این‌دو قرار می‌گیرد و در آن یک گره‌ی مبدأ داریم و زیر مجموعه‌ای از سایر گره‌های موجود در شبکه مجموعه‌ی مقصدها را تشکیل می‌دهند.

کاربرد چندپخشی را می‌توان در بسیاری از ارتباط‌های قابل برقرارشدن در شبکه مشاهده کرد[۹و۱۳] مثل دریافت داده‌های چندرسانه‌ای توسط چندین کاربر از یک منبع مشترک، یا برگزاری دورسخنی[6] یا کنفرانس ویدیویی[7] که در آن تعدادی از کاربرها یک گروه چندپخشی تشکیل می‌دهند و داده‌های مربوط به صوت و تصویر هر یک از شرکت کنندگان در کنفرانس باید به‌طور هم‌زمان به دیگر اعضا برسد و

---

[1] Dense Wavelength Division Multiplexing
[2] Erbium-Dopped Fiber Amplifier
[3] Unicast
[4] Broadcast
[5] Multicast
[6] Tele-conference
[7] Video- conference

همچنین بروز شدن چندین کپی از یک فایل که هر یک در مکان‌های متفاوتی قرار دارند و چندین و چند کاربرد دیگر که از بیان آنها صرف‌نظر می‌کنیم.

چندپخشی در شبکه‌های الکترونیکی در مقالات مختلف مثلاً [۱۰و۱۱و۱۲] بطور وسیع مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. در شبکه‌های نوری WDM نیز کارهای زیادی در مورد برقراری اتصالات چندپخشی انجام شده‌است. چندپخشی در شبکه‌های نوری از چند جهت دارای اهمیت است که در ادامه به آنها اشاره می‌کنیم. یکی این‌که استفاده از قابلیت تقسیم‌کنندگی در سوئیچ‌های نوری بسیار ساده‌تر از کپی‌کردن داده در حوزه‌ی الکترونیک است[۱۳]. همچنین سوئیچ‌های مورد استفاده در شبکه‌های الکترونیکی می‌توانند یک پیام را به‌طور هم‌زمان به چندین مقصد مختلف بفرستند ولی در یک زمان مشخص فقط قادر به دریافت اطلاعات از یک منبع می‌باشند. در مواردی که خواهان برقراری همزمان چند نشست چندپخشی که مقصدهای آنها با هم همپوشانی دارند هستیم برای جلوگیری از تداخل یا برخورد[1] داده‌های منابع مختلف به الگوریتم‌های زمان‌بندی[2] بسیار پیچیده‌ای نیاز داریم. ولی واضح است که یک سوئیچ WDM به راحتی می‌تواند هم به‌عنوان منبع و هم به عنوان مقصد، به تعداد طول‌موج‌های موجود در هر رشته فیبر، به‌طور هم‌زمان در چندین نشست چندپخشی شرکت‌کند.

از دیگر مواردی که اهمیت چندپخشی در شبکه‌های نوری را مشخص می‌کند یک سوئیچ نوری است که در یک شبکه‌ی تمام‌نوری به‌عنوان جمع‌کننده‌ی ترافیک چندین کاربر در مرز دو حوزه نور و الکترونیک عمل می‌کند. اگر یک طول‌موج برای انتقال داده‌های چند کاربر کافی باشد می‌توان همه‌ی آنها را با استفاده از همتافت‌گری تقسیم زمان یا فرکانس روی یک طول‌موج قرار داد. البته واضح است که هر قسمت از این ترافیک باید به گره‌ی متفاوتی تحویل داده‌شود. حال فرض کنید به جای برقراری چند اتصال نقطه به نقطه، یک نشست چندپخشی که همه‌ی مقصدهای مربوط به کاربر های مختلف را پوشش می‌دهد تشکیل داده و ترافیک مجموع را به همه‌ی مقصدها بفرستیم. هر گره می‌تواند داده‌های مربوط به خودش را به آسانی دریافت و از بقیه ترافیک دریافتی صرف‌نظر کند. روشن است که با این کار مقداری اتلاف پهنای باند داریم که با برقراری چند اتصال تک پخشی معمولاً با اتلاف بیشتری مواجه می‌شویم[۱۴].

موضوع اصلی در طراحی سوئیچ‌های نوری WDM داشتن حداکثر ظرفیت شرکت در اتصالات و در عین حال حداقل هزینه و پیچیدگی سخت‌افزاری می‌باشد. بر این اساس باید طراحی سوئیچ به گونه‌ای باشد که برای انتقال داده‌ی ورودی به خروجی مورد نظر به تبدیلات پرهزینه‌ی سیگنال‌های نوری به سیگنال‌های

---

[1] Conflict
[2] Scheduling Algorithms

الکتریکی احتیاج نباشد[۱۵]. بنابراین یا باید طول موج‌های مورد استفاده در پورت‌های ورودی و خروجی یکسان باشند و یا از مبدل‌های طول موج[1] تمام نوری که سیگنال روی طول موج ورودی را به‌طور کامل در حوزه‌ی نور روی یک طول‌موج دیگر قرار می‌دهند، استفاده کرد.

موارد مهمی که در برقرار کردن نشست‌های چندپخشی در شبکه‌های نوری WDM باید درنظر گرفت عبارتند از :

۱- شبکه، تمام نوری است یا نه؛ به عبارت دیگر در طول مسیرهای بین منبع و گره‌های مقصد، تبدیلات O/E/O[2] داریم یا نداریم. این تبدیلات در طول مسیر در گره‌هایی اتفاق می‌افتد که درآن‌ها به دلیل مشغول بودن طول موج ورودی در پورت خروجی مطلوب، نمی‌توان طول موج ورودی را مستقیماً به خروجی موردنظر فرستاد و باید داده های روی آن‌را در پورت خروجی روی یک طول موج دیگر قرار داد.

۲- چه میزان از سوئیچ‌های موجود در شبکه توانایی شرکت در نشست‌های چندپخشی(یعنی توانایی فرستادن داده‌های یک پورت ورودی به بیش از یک خروجی) را دارند. با در نظر گرفتن این‌دو مورد، حالات متفاوتی برای یک شبکه پیش می‌آید که در مقالات متعدد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این پایان نامه، ضمن بررسی کارهای انجام شده‌ی قبلی در مورد چندپخشی در شبکه های WDM و بیان بعضی نتایج به‌دست آمده از آن‌ها، با استناد به نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری، تأثیر استفاده از مبدل‌های طول‌موج تمام‌نوری را در برقراری نشست‌های چندپخشی، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

۱-٤ روند ارائه‌ی مطالب

در فصل دوم به معرفی شبکه‌های WDM که در آنها مسیریابی بر مبنای طول‌موج انجام می‌شود می‌پردازیم. برای برقراری یک اتصال نقطه به نقطه در این شبکه‌ها باید بهترین مسیر و مناسب‌ترین طول‌موج انتخاب شود. در ادامه به بیان روش‌های انتخاب مسیر وطول‌موج مناسب برای یک اتصال نقطه به نقطه پرداخته سپس روش‌های مسیریابی برای برقراری یک نشست چندپخشی که هدف آنها پوشش دادن همه‌ی مقصدها می‌باشد را توضیح می‌دهیم.

در فصل سوم به بررسی سوئیچ‌های نوری که توانایی شرکت در نشست‌های چندپخشی را دارند پرداخته، موضوعات مرتبط با آنها را بیان می‌کنیم. در پایان این فصل به عنوان یک معیار مهم نشان‌دهنده‌ی کارآیی سوئیچ‌ها، احتمال مسدود شدن یک درخواست ورودی را در شرایط متفاوت از نظر میزان قابلیت تبدیل طول‌موج ورودی بدست‌آورده و با هم مقایسه می‌کنیم.

---

[1] Wavelength Converter
[2] Optical to Electrical to Optical

در فصل چهارم با دسته بندی شبکه‌های WDM به دو گروه کلی شبکه‌های تک‌پرشی[1] یا تمام‌نوری و شبکه‌های چندپرشی[2]، خلاصه‌ای از موارد بررسی‌شده در مورد آنها در مقاله‌های مختلف را مطالعه و ارزیابی می‌کنیم.

در فصل پنجم با بیان مزایای برقراری ارتباط‌ها در شبکه‌های نوری به صورت تمام‌نوری به معرفی یک شبکه WDM تمام نوری که سوئیچ‌های آن مبدل طول‌موج محدود دارند پرداخته، با استناد به نتایج شبیه‌سازی، به مقایسه‌ی قابلیت‌های شبکه در حالات متفاوت بدون مبدل طول‌موج، دارای مبدل طول‌موج محدود و شبکه با سوئیچ‌های مجهز به مبدل طول‌موج کامل می‌پردازیم.

در فصل ششم نیز، مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده از این پایان‌نامه و نیز چند پیشنهاد برای ادامه‌ی کار بیان شده‌است.

---

[1] Single-hop
[2] Multi-hop

فصل دوم
مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های نوری

۲-۱ مقدمه

مهم‌ترین موضوع در برقراری ارتباط بین دو گره در شبکه‌های نوری WDM، نحوه‌ی مسیریابی و تخصیص طول‌موج برای پاسخ به یک درخواست ورودی می‌باشد.

در این فصل به معرفی شبکه‌های مسیریابی طول‌موج[۱] که یکی از رایج‌ترین انواع شبکه‌های نوری WDM می‌باشند پرداخته، قابلیت‌های متفاوتی را که سوئیچ‌های موجود در این شبکه‌ها می‌توانند داشته باشند بیان می‌کنیم. در ادامه الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده در مسیریابی و تخصیص طول‌موج به یک درخواست اتصال را معرفی کرده و خواهیم دید که در بیشتر روش‌ها، این امر در دو مرحله انجام می‌گیرد. الگوریتم‌های یافتن کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر بین دو گره‌ی متفاوت شبکه، موضوع مهمی است که در قسمت بعدی به ذکر آن می‌پردازیم.

پس از بیان روش‌های متفاوتی که می‌توان از آن‌ها برای یافتن مسیر و طول موج مناسب برای پاسخ به یک اتصال تک‌پخشی استفاده کرد، مفهوم درخت نور[۲] را که مهم‌ترین موضوع در مسیریابی برای اتصالات چندپخشی است، معرفی می‌کنیم. در بخش‌های بعدی، روش‌های متفاوت یافتن درخت نور مناسب را- برای پاسخ به یک درخواست چندپخشی، در شبکه‌هایی که دارای قابلیت‌های متفاوت می‌باشند- بررسی می‌کنیم.

---

[۱] Wavelength Routed Networks
[۲] Light Tree

۲-۲ شبکه‌های مسیریابی طول‌موج

یک شبکه‌ی مسیریابی طول‌موج شامل چندین گره مسیریابی یا WXC[۱] است که در یک توپولوژی دلخواه توسط فیبرهای نوری به هم متصل می‌شوند. هر گره شامل تعدادی گیرنده و فرستنده می‌باشد که ممکن است تنظیم شده‌ی ثابت یا قابل تنظیم باشند.

در شبکه‌ی مسیریابی طول‌موج، پیام از یک گره به گره‌ی دیگر توسط یک مسیر طول‌موج پیوسته به‌نام مسیر نوری[۲] فرستاده می‌شود. در این مسیر هیچگونه تبدیلات O/E/O[۳] و یا بافرکردن داده انجام نمی‌شود. گره‌های ابتدایی/انتهایی توسط فرستنده/گیرنده‌هایی که روی طول‌موج‌های مورد استفاده در مسیر نوری تنظیم شده‌اند به داده‌ها دسترسی دارند. در واقع مسیرنوری یک ارتباط کاملاً نوری بین دو گره‌ی شبکه است که با تخصیص یک طول‌موج یکسان در تمام مسیر، مشخص می‌شود. این شرط را که باید در تمام لینک‌های موجود در مسیر نوری طول‌موج یکسانی مورد استفاده قرار گیرد، محدودیت پیوستگی طول‌موج[۴] می‌نامند. دو مسیرنوری اگر دارای هیچ لینک مشترکی نباشند می‌توانند طول‌موج یکسانی را مورد استفاده قرار دهند. این امر، استفاده مجدد طول‌موج[۵] نام دارد.

۲-۲-۱ شبکه‌های دارای قابلیت تبدیل طول‌موج[۶]

از آنجا که که محدودیت پیوستگی طول‌موج باعث از دست رفتن پهنای باند قابل استفاده‌ی هرکانال می‌شود، برای غلبه بر این مشکل در گره‌های مسیریاب از مبدل‌های طول‌موج استفاده می‌گردد. مبدلی که توانایی تبدیل طول‌موج ورودی به d طول‌موج در خروجی را داشته باشد، مبدل طول‌موج با مرتبه‌ی تبدیل محدود از مرتبه‌ی d نامیده می‌شود. از این‌به‌بعد برای سادگی، این نوع مبدل طول‌موج را مبدل طول‌موج محدود می‌نامیم. در سمت مقابل، مبدل کامل[۷] قادر به تبدیل طول‌موج ورودی به همه‌ی طول‌موج‌های موجود در شبکه می‌باشد. شبکه‌ای که بعضی از گره‌های آن دارای مبدل طول‌موج باشند شبکه‌ی دارای قابلیت تبدیل طول‌موج نامیده می‌شود[۹]. بهترین بازدهی شبکه زمانی است که همه‌ی گره‌های آن قابلیّت تبدیل طول‌موج کامل داشته‌باشند. البته پیاده سازی چنین شبکه‌ای از نظر اقتصادی منطقی نیست.

۲-۲-۲ شبکه های چندپرشی و تک‌پرشی

در بعضی از شبکه‌ها، پیام از مبدأ به سمت مقصد بدون نیاز به هیچگونه تبدیلات O/E/O منتقل‌می‌شود.

---

۱ Wavelength Cross Connect
۲ Light Path
۳ Optical to Electrical to Optical
۴ Wavelength Continuity Constraint
۵ Wavelength Reuse
۶ Wavelength Convertible Network
۷ Full Wavelength Converter

یک چنین ارتباطی را ارتباط تک‌پرشی می‌گویند. در این شبکه‌ها، اتصال بین دو نقطه یا فقط با یک طول‌موج برقرار می‌شود یا از مبدل های طول‌موج تمام نوری در طول مسیر استفاده می‌شود.

در شبکه‌های چندپرشی ، پیام در طول مسیر به یک یا چند گره‌ی میانی وارد می‌شود و در این گره‌ها سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و سپس توسط فرستنده روی یک طول‌موج نوری دیگر فرستاده می‌شود[۱۶].

۲-۳ الگوریتم های مسیریابی طول‌موج

در این بخش به معرفی الگوریتمهای مختلف مسیریابی می‌پردازیم. هدف یک الگوریتم مسیریابی، انتخاب یک مسیر نوری و همچنین انتخاب طول‌موج مناسب روی آن برای برقراری اتصال مورد نظر می‌باشد. این الگوریتم‌ها را الگوریتم‌های مسیریابی و تخصیص طول‌موج یا RWA[1] می‌گویند.

۲-۳-۱ طبقه بندی الگوریتم‌های RWA

در شبکه‌های مسیریابی طول‌موج، یک اتصال توسط مسیرنوری ایجاد می‌شود. هر مسیر نوری توسط مسیر فیزیکی و طول‌موج مورد استفاده در آن مشخص می‌گردد. بنابراین الگوریتم های RWA، شامل دو قسمت می باشند:

۱- انتخاب مسیر، که معیار این انتخاب معمولاً کوتاهتر بودن مسیر است.

۲- انتخاب طول‌موج، که بر مبنای بعضی معیارها مثلاً میزان استفاده از طول‌موج در کل شبکه انجام می‌گیرد.

این‌دو مرحله می‌توانند به صورت جداگانه و یا با هم اجرا شوند. در حالت جداگانه معمولاً ابتدا مسیر انتخاب شده و سپس طول‌موج مورد استفاده تعیین می‌شود ولی بعضی الگوریتم ها هزینه را برای هر زوج مسیر- طول‌موج در نظر گرفته، زوج کم هزینه‌تر را انتخاب می‌کنند.

الگوریتم های انتخاب مسیر

الگوریتم‌های انتخاب مسیر به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند. این طبقه بندی بر مبنای نحوه‌ی انتخاب مسیر از بین کل مسیرهای موجود انجام می‌شود[۹].

۱- مسیریابی ثابت : در این روش برای هر زوج گره‌ی P ، فقط یک مسیر R^P ایجاد می‌شود. این مسیر به صورت off-line محاسبه شده و ثابت است و با تغییر شرایط ترافیکی تغییری نمی‌کند.

---

[1] Routing and Wavelength Assignment Algorithms

۲- مسیریابی دارای جایگزین : در این روش برای هر زوج گره، چندین مسیر نامزد می‌شوند. این مثلاً k مسیر که به صورت off-line محاسبه می‌شوند را به صورت $R_{k-1}^{P},...,R_{1}^{P},R_{0}^{P}$ نشان می‌دهند. این مجموعه مسیر نامزد، زیرمجموعه‌ای از کل مسیرهای ممکن بین دو گره می‌باشند. هنگام ورود درخواست اتصال، با توجه به شرایط شبکه، از بین مسیرهای نامزد، مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب می‌شود.

۳- مسیریابی کامل : در مسیریابی کامل هیچ محدودیتی برای انتخاب مسیر وجود ندارد و برای یک درخواست اتصال، از کل مسیرهای موجود بین دو نقطه، یکی انتخاب می‌شود.

هزینه‌ی یک مسیر معمولاً بر مبنای تعداد گره‌های میانی و تعداد پرش، زمان تأخیر و ازدحام سنجیده می‌شود. اگر روی لینک‌های یک مسیر هیچ طول‌موج آزادی موجود نباشد هزینه‌ی مسیر بی‌نهایت است. ازدحام، به تعداد طول‌موج‌های آزاد در یک مسیر بستگی دارد و هر چه این تعداد بیشتر باشد، ازدحام کمتر است.

الگوریتم های انتخاب طول‌موج

چهار روش برای انتخاب طول‌موج وجود دارد که تفاوت آنها در نحوه بررسی طول‌موج‌ها و انتخاب طول‌موج از بین طول‌موج‌های آزاد می باشد[۹].

۱- انتخاب طول‌موج با بیشترین استفاده (MU[۱]) : این الگوریتم اولویت بالاتر را به طول‌موجی می دهد که در شرایط فعلی شبکه بیشترین استفاده را دارد. در این الگوریتم سعی بر این است که برای هر مسیرنوری، طول‌موج به گونه ای انتخاب شود که مسیرهای طول‌موج پیوسته‌ی بیشتری برای اتصالات ورودی بعدی در دسترس باشند. بنابراین باید حالت کل شبکه یعنی تعداد دفعات استفاده از هر طول‌موج روی تمام لینک‌های شبکه را بدانیم تا بر مبنای آن، طول‌موج انتخاب شود.

۲- انتخاب طول‌موج با کمترین استفاده (LU[۲]) : این الگوریتم طول‌موج‌هایی را که در مسیرهای کمتری استفاده شده باشند ترجیح می‌دهد و تلاش آن توزیع یکنواخت ترافیک روی همه‌ی طول‌موج‌ها می‌باشد. به‌طور شهودی مشخص‌است که احتمالاً الگوریتم LU مسیرکوتاهتری نسبت به روش MU انتخاب می‌کند. در این روش نیز باید حالت کل شبکه مشخص باشد.

۳- الگوریتم مرتبه ثابت[۳] (FO) : در این روش به هر طول‌موج یک اندیس نسبت‌داده می‌شود و طول‌موج‌ها به ترتیب شماره اندیسی که به آنها داده شده‌است مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این الگوریتم نیازی به دانستن

---

[۱] Most Used method
[۲] Least Used method
[3] Fixed Order

حالت کلی شبکه نیست و با انتخاب اولین طول‌موج آزاد با اندیس کوچکتر (یا بزرگتر)، کارآیی آن در حدود کارآیی الگوریتم MU می‌باشد.

٤- انتخاب تصادفی[1] (RO) : این روش به طور تصادفی از میان طول‌موج‌های آزاد یکی را انتخاب می‌کند. مانند روش LU ، هدف الگوریتم توزیع یکنواخت ترافیک روی همه‌ی طول‌موج‌ها است.

۲-۳-۲ الگوریتم‌های RWA

در این قسمت پنج الگوریتم RWA معرفی می‌شوند. در چهار الگوریتم اول مسیر براساس بعضی از معیارهای سنجش هزینه، انتخاب شده و سپس با استفاده از یکی از الگوریتم‌های تخصیص طول‌موج، طول‌موج روی آن تعیین می‌شود. در آخرین الگوریتم، مسیر و طول‌موج به طور همزمان بررسی و انتخاب می‌شوند. در این مورد هزینه برای هر زوج مسیر- طول‌موج محاسبه شده و زوج با کمترین هزینه انتخاب می‌گردد[۹].

۱- مسیریابی ثابت یا FR[2]:برای هر زوج گره‌ی P یک مسیرثابت ،R^P که معمولاً کوتاه‌ترین مسیر است به صورت off-line محاسبه می‌شود. هنگام ورود یک درخواست، تمامی طول‌موج‌های روی این مسیر بررسی‌شده، اگر هیچ طول‌موج آزادی موجود نبود درخواست مسدود می‌شود. اگر بیش از یک طول‌موج آزاد وجود داشت، بر مبنای الگوریتم مورد استفاده برای انتخاب طول‌موج، یکی انتخاب می‌شود. مزیت این روش سرعت آن و در نتیجه کوتاه‌تر بودن زمان لازم برای برقراری اتصال است. مهم‌ترین نقطه ضعف این الگوریتم کارآیی پایین آن است، چراکه فقط یک مسیر بررسی می‌شود. البته در شرایط کم ترافیک این امر کمتر خود نمایی می‌کند.

۲- مسیریابی ثابت دارای جایگزین یا FAR[3]: در این روش، مسیریابی بر مبنای الگوریتم مسیریابی دارای جایگزین انجام می‌شود. هنگام ورود یک درخواست اتصال، به ترتیب اولویت، اولین مسیر دارای هزینه محدود انتخاب می‌شود. کارآیی این روش بهتر از الگوریتم FR است ولی چون همه‌ی مسیرها بررسی نمی‌شوند، بهترین کارآیی ممکن را ندارد.

۳- مسیریابی کامل یا ER[4]: به نظر می‌رسد این الگوریتم کارآیی بهتری نسبت به دو روش قبل داشته باشد. در این الگوریتم به جای این که بین دوگره مسیرهایی از قبل پیش بینی شود، اطلاعات مربوط به حالت کلی شبکه به صورت یک گراف نگهداری می‌شود. این داده‌ها ثابت نیست و با توجه به تغییرات در ترافیک شبکه تغییر می‌کند. هنگام ورود یک درخواست اتصال برای زوج گره‌ی P ، بر مبنای معیارهای از قبل مشخص

---

[1] Random Order
[2] Fixed Routing
[3] Fixed Alternate Routing
[4] Exhaust Routing

شده، از بین تمام مسیرهای ممکن بین دو نقطه، یکی انتخاب می‌شود. چون تمامی مسیرها بررسی می‌شوند، احتمال مسدود شدن حداقل می‌شود ولی تأخیر نیز افزایش می‌یابد.

٤- مسیریابی بر مبنای کمترین ازدحام[۱] : این الگوریتم از بین تمامی مسیرهای ممکن، مسیر دارای کمترین ازدحام را انتخاب می‌کند. ازدحام مسیر با توجه به تعداد طول‌موج‌های آزاد در کل مسیر به‌دست می آید که هر چه تعداد آنها بیشتر باشد ازدحام کمتر است. دلیل انتخاب مسیر با کمترین ازدحام بطور شهودی مشخص است. تلاش الگوریتم داشتن حداکثر تعداد مسیرهای طول‌موج پیوسته برای پاسخ به درخواست‌های بعدی می‌باشد.

٥- انتخاب همزمان مسیر و طول‌موج[۲] : در تمامی الگوریتم‌های قبلی، مسیر و طول‌موج مستقلاً انتخاب می‌شوند. ولی الگوریتم JRW هزینه را برای هر زوج مسیر- طول‌موج در نظر گرفته، زوج کم هزینه تر را انتخاب می‌کند. هزینه بر مبنای معیارهایی مانند میزان استفاده‌ی طول‌موج در شبکه، تعداد گره‌های میانی و ازدحام مسیر محاسبه می‌شود. الگوریتمهای JRW معمولاً بر مبنای الگوریتم‌های مسیریابی دارای جایگزین بیان می‌شوند.

۲-٤ الگوریتم‌های یافتن کوتاه‌ترین مسیر

در تمامی روش‌های مسیریابی، باید کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره‌ی منبع و مقصد به‌دست آید. برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر می‌توان از دو الگوریتم Dijkstra و Breadth-First استفاده کرد[۱۷].

در ادامه به توضیح این دو روش می پردازیم.

۲-٤-۱ الگوریتم Dijkstra

کل وضعیت شبکه را به صورت یک گراف در نظر می‌گیریم. گره‌ها از 0 تا N-1 شماره‌گذاری شده و به هرکدام از لینک‌ها یک وزن نامنفی اختصاص می‌یابد. تعداد تکرار عملیات برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دونقطه حداکثر N-1 می‌باشد. wt(x,y) را به عنوان وزن لینک بین y,x در نظر می‌گیریم. اگر s گره‌ی منبع باشد، در هر مرحله dist(x) نشان دهنده‌ی طول کوتاه‌ترین مسیر از x تا s است. یک گره را دارای برچسب دائمی[۳] می‌گویند اگر کوتاه‌ترین مسیر بین این گره و گره‌ی منبع پیدا شده‌باشد. در غیر این صورت گره دارای برچسب موقت[۴] می‌باشد. در شروع کار فقط گره‌ی s دارای برچسب دائمی است. اگر مسیری از s به x وجود نداشته باشد، dist(x) بی‌نهایت است. در غیر این صورت dist(x)=wt(s,x). گره با کمترین

---

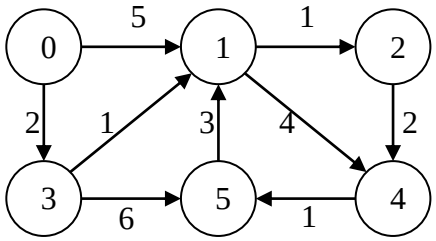
[۱] Least Congested Path
[۲] Joint Rout-Wavelength Selection
[۳] Permanently Labled
[٤] Tentatively Labled

dist انتخاب شده و برچسب آن دائمی می‌شود. فرض کنید این گره y باشد. اکنون dist همه‌ی گره‌های دارای برچسب موقت به صورت زیر بروز می‌شوند:

$$dist(x)=\min\{dist(x),\ dist(y)+wt(x,y)\}$$

اگر گره‌ی مقصد را d بنامیم فرایند فوق تا زمانی‌که گره‌ی d دارای برچسب دائمی شود ادامه می‌یابد. اگر گره‌ی x یک مقدار جدید dist (x) از گره‌ی y دریافت کند، y را پدر[۱] گره‌ی x می‌نامند.

مثال۲-۱ : فرض کنید در گراف شکل (۲-۱) با توجه به وزن لینک‌ها کمترین فاصله بین گره‌های ۰ و ۵ مورد نظر باشد.



شکل (۲-۱) مثالی از روش Dijkstra

مرحله‌ی ۱: گره‌ی صفر دارای برچسب دائمی و بقیه‌ی گره‌ها دارای برچسب موقت هستند.

$$dist(1)=5 \qquad dist(2)=\infty \qquad dist(3)=2 \qquad dist(4)=dist(5)=\infty$$

در پایان این مرحله گره‌ی ۳ دارای برچسب دائمی می‌شود.

مرحله‌ی ۲:

$$dist(1)=3 \qquad dist(2)=dist(4)=\infty \qquad dist(5)=8$$

گره‌ی ۱ دارای برچسب دائمی می‌شود.

مرحله‌ی ۳:

$$dist(2)=4 \qquad dist(4)=7 \qquad dist(5)=8$$

گره‌ی ۲ دارای برچسب دائمی می‌شود.

مرحله‌ی ۴:

$$dist(4)=6 \qquad dist(5)=8$$

گره‌ی ۴ دارای برچسب دائمی می‌شود.

مرحله‌ی ۵ : dist(5)=7 و گره‌ی ۵ دارای برچسب دائمی می‌شود. کوتاهترین مسیر بین ۰ و ۵ بصورت $0\to3\to1\to2\to4\to5$ به‌دست می‌آید.

---

[۱] Parent

۲-٤-۲ الگوریتم Breadth-First

در این الگوریتم برای لینک‌ها وزنی در نظر گرفته نمی‌شود. کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره، مسیری است که تعداد گره‌های میانی آن کمتر باشد. فرض کنید کوتاه‌ترین مسیر بین s و d مطلوب باشد. در مراحل مختلف الگوریتم، گره‌های انتخاب شده را در صف Q نمایش می‌دهیم. ابتدا Q فقط شامل گره‌ی ابتدایی یا منبع (s) است که dist آن صفر می‌باشد. فرایند زیر تا زمانی‌که گره‌ی d در ابتدای Q قرارگیرد ادامه می‌یابد. در ابتدا همه‌ی گره‌ها بدون مارک هستند. گره‌ی ابتدای صف را حذف می‌کنیم. فرض کنید این گره y باشد. y را مارک دار می‌کنیم به این معنی که کوتاه‌ترین مسیر تا y شناسایی شده‌است. برای هر گره مانند x که لینکی بین آن و y وجود دارد، مقدار dist(x) بصورت زیر بروز شده و گره به انتهای صف اضافه می‌شود.

$$dist(x) = dist(y) + 1$$

در اینجا نیز y را پدر x می‌نامیم. آخرین مرحله، مرحله‌ایست که در آن d مارک دار می‌شود.

مثال۲-۲ :گراف نشان داده شده در مثال قبل را در نظر بگیرید وزن همه‌ی لینک‌ها این بار برابر ۱ است. گره‌ی منبع ۰ و گره‌ی مقصد ۵ می‌باشد. مراحل کار عبارتند از:

1	t	$sid_t = 0$	$sid_Q(1) = 1$	$d(3) = 1$
2	t	$sid_t = 1,3$	$sid_Q(2) = 2$	$d(4) = 2$
3	t	$sid_Q = 3,2,4$	$d(5) = 2$	
4	Q	حذف 2, 4, 5		
5	Q	حذف 4, 5		
6	Q	حذف 5		

dist(5)=2 و کوتاه‌ترین مسیر از ۰ به ۵ بصورت $0 \rightarrow 3 \rightarrow 5$ بدست می‌آید

۲-۵ مسیریابی چندپخشی در شبکه‌های نوری

یک شبکه‌ی WDM بر مبنای مسیریابی طول‌موج شامل چندین گره‌ی مسیریاب نوری است که توسط فیبرهای نوری به هم متصلند. گره‌های مسیریاب قادرند طول‌موج‌های متفاوت را بطور مستقل مسیریابی کنند. بعضی از مسیریاب‌های نوری می‌توانند مقدار کمی از توان سیگنال نوری را که قرار است به یکی از خروجی‌ها بفرستند، برای خود بردارند. این مقدار توان در صورتی دریافت می‌شود که این مسیریاب خود یکی از گره‌های مقصد باشد. این گره‌ها را گره‌های DaC[۱] می‌نامند[۱۸]. در شبکه‌های الکترونیکی، برای

[۱] Drop and Continue