



دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری
پژوهش‌های نوین در مهندسی برق و الکترونیک هوایی
<https://www.mreca.ir>



الگوریتم جدید مسیریابی و تخصیص طیف در شبکه های نوری منعطف (R^2EF)

یعقوب خراسانی*

*دکتری مخابرات، دانشگاه صنعتی سهند-تبریز،

واژگان کلیدی

واژه اول: شبکه های نوری منعطف
واژه دوم: تکه تکه شدن پهنای باند
واژه سوم: Smart-Fit
واژه چهارم: مصرف انرژی

چکیده

شبکه های نوری منعطف به عنوان بستری مناسب برای ارائه پهنای باند مورد نیاز جهت برآورده کردن نیازهای رو به رشد عمومی مطرح شده است. تکه تکه شدن پهنای باند و مدیریت انرژی از مهم ترین مسائلی هستند که در شبکه های نوری منعطف مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله الگوریتمی یکپارچه، به نام R^2EF ارائه شده است که در گام اول، پارامترهای کاهش انرژی را مد نظر قرار می دهد و بر اساس انرژی، تمام مسیرهای موجود بین مبدا و مقصد را مرتب می کند و مسیری که کمترین انرژی مصرفی را دارد انتخاب می شود. در گام دوم، بر اساس متریک طلایی، هسته ها مرتب می شوند و هسته ای که مقدار تکه تکه شدن پهنای باند در آن کمتر است به عنوان هسته مورد نظر انتخاب می گردد. در گام سوم، شکاف های مناسب بر اساس سیاست تخصیص $Smart-Fit$ (SF) تعیین و تخصیص انجام می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده نسبت به سایر روش های مطرح شده، ۹ درصد نرخ انسداد را کاهش می دهد و باعث کاهش اثرات منفی تکه تکه شدن پهنای باند در پهنای باند شده است

۱- مقدمه

تکنولوژی OFDM در شبکه های نوری، نسل جدیدی به نام شبکه های نوری الاستیک پدید آورد که به عنوان راه حلی برای غلبه بر مشکلات مرتبط با شبکه WDM (هدر رفت پهنای باند، تخصیص غیرقابل انعطاف و ...) شناسایی شده است [۱].

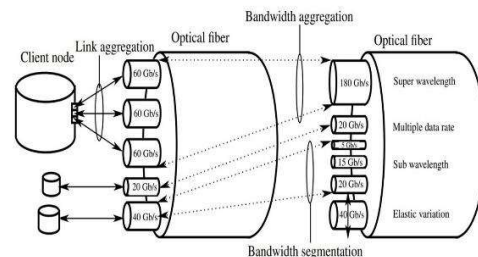
شبکه نوری منعطف نسخه پیشرفته یا نسل بعدی فناوری DWDM است. چالش های موجود در فناوری DWDM هدر رفتن طیف به دلیل تقسیم پهنای باند به محدوده های ثابت ۵۰ یا ۲۵ گیگاهرتز است که توسط استانداردهای اتحادیه بین المللی مخابرات (ITU-T) مشخص شده است. این شبکه ثابت برای تقاضای ترافیک بالا مانند ۴۰۰ گیگا بیت بر ثانیه یا بالاتر کارایی ندارد و به تعداد زیادی فرستنده نیاز دارد که باعث افزایش هزینه شبکه و پیچیدگی سخت افزار می شود. برای حل این مشکل، یک شبکه تطبیقی منعطف مورد نیاز است که از فرستنده های و گیرنده ها و عناصر

امروزه تقاضا برای استفاده از فناوری های پیشرفته از جمله ویدئو کنفرانس، سرویس های تعاملی، اینترنت اشیا و ...، توسط عموم مردم افزایش یافته است. با افزایش تقاضا جهت استفاده از فناوری های پیشرفته توسط عموم، نیاز به پهنای باند بیشتر در جامعه جهانی حس می شود از این رو توجه به پهنای باند در بسترهای مخابراتی، امری ضروری است. یکی از استراتژی هایی که برای تطبیق با رشد ترافیک داده مورد استفاده قرار می گیرد، شبکه های نوری هست که دانه بندی خوبی را برای تخصیص طیف فراهم می کند و به کاهش اتلاف پهنای باند کمک می کند. اولین نسل از شبکه های نوری، شبکه های WDM هست که به علت نواقص ساختاری، اتلاف پهنای باند در آن مشهود است. در سال های اخیر، استفاده از

شبکه تطبیقی تشکیل شده است که می‌تواند بر اساس تقاضا تنظیم شوند [۲].

در شبکه‌های نوری منعطف، طیف فرکانس انعطاف‌پذیر است و در نتیجه ظرفیت مؤثر شبکه بهبود می‌یابد. در شبکه‌های نوری منعطف، طیف فرکانس از مجموع شکاف‌های فرکانسی کوچک تشکیل شده است و گره فرستنده می‌تواند از تکنیک‌های مدولاسیون مناسب با توجه به فاصله گیرنده استفاده کند.

تجمیع و تقسیم‌بندی پهنای باند، پشتیبانی از نرخ مختلف اطلاعات و انعطاف‌پذیری در پهنای باند اختصاص داده شده به هر کاربر، از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه نوری منعطف می‌باشند. شبکه‌های نوری منعطف از طریق ادغام پیوسته پهنای باند کوچک، قابلیت پاسخ تجمیع پهنای باندهای بزرگ را فراهم می‌سازد و همچنین تقسیم‌بندی پهنای باند را به منظور ارائه دادن نیازهای متفاوت کاربران فراهم می‌سازند. در شکل ۱-۱ ویژگی شبکه‌های نوری منعطف به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱. ویژگی‌های شبکه نوری منعطف [۳]

برای پاسخ به درخواست‌های اتصال در شبکه‌های نوری منعطف دو محدودیت پیوستگی و مجاورت در نظر گرفته می‌شود. محدودیت پیوستگی، تضمین می‌کند که در یک لینک از شکاف‌های مجاور برای پاسخ به درخواست ورودی استفاده شود و محدودیت مجاورت طیف تضمین می‌کند که شکاف‌های مورد نظر برای پاسخ به یک درخواست باید در مسیر نوری مربوطه، دارای شناسه‌های یکسانی باشند [۴].

افزایش استفاده از فناوری منجر به افزایش مصرف انرژی شده است. لذا موضوع کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های نوری منعطف در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس پیش بینی‌ها، اگر هیچ بهبودی در بهره‌وری انرژی فناوری مورد استفاده در دستگاه‌های شبکه‌های ارتباطی حاصل نشود، مقدار توان مصرفی شبکه‌های ارتباطی ثابت به ۱.۵ TW در سال ۲۰۲۵ افزایش یابد [۵]. از این رو مدیریت توان مصرفی یکی از چالش‌ها

های مطرح در شبکه‌های نوری الاستیک است. در شبکه‌های نوری منعطف روش‌های مختلفی برای کاهش مصرف انرژی معرفی شده است. به صورت کلی روش‌هایی که برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های نوری منعطف معرفی شده‌اند به دو دسته تقسیم می‌شوند. ۱- روش بهینه‌سازی انرژی که در زمان طراحی شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند تا انرژی ثابت شبکه را کاهش دهند و ۲- روش آگاه از انرژی که مصرف انرژی شبکه را متناسب با بار شبکه تنظیم نماید و بر به خواب بردن منابع اضافی شبکه تکیه دارد.

یکی دیگر از چالش‌های مهم در شبکه‌های نوری الاستیک، تکه تکه شدن طیف (Fragmentation) است. ارائه پویا پهنای باند و آزاد کردن مسیرهای نور باعث ایجاد مشکل تکه‌تکه شدن پهنای باند می‌شود و طیفی که پس از پاسخ به مسیر نوری در دسترس قرار می‌گیرد ممکن است برای ایجاد درخواست‌های ورودی کافی نباشد [۶]. تکه‌تکه سازی یک مسئله جدی در شبکه‌های نوری منعطف نوری هست که با مدیریت مناسب می‌توان تا حدودی اثرات منفی آن را کاهش داد. در حالت کلی برای مقابله با تکه تکه شدن طیف در شبکه‌های نوری الاستیک ۲ راهکار وجود دارد. ۱- رویکرد فعال و ۲- رویکرد پیشگیرانه

در این مقاله، الگوریتم ارائه شده در سه گام تدوین شده است: در گام اول تمام مسیرهای موجود بین مبدا و مقصد را پیدا کرده و انرژی مسیرها را محاسبه می‌کنیم، سپس مسیرها براساس انرژی مرتب می‌شوند و مسیر با کم ترین انرژی انتخاب می‌شود. در گام دوم به وسیله متریک طلایی مقدار عددی تکه تکه شدن طیف محاسبه و هسته موردنظر جهت انتقال اطلاعات انتخاب می‌شود و در گام سوم در هسته انتخاب‌شده، شکاف‌ها بر اساس سیاست Smart-Fit (SF) به درخواست تخصیص داده می‌شوند. در صورتی که در گام سوم شکافی جهت تخصیص پیدا نشود، هسته‌های دیگر بررسی می‌شوند و در صورتی که در هیچ یک از هسته‌ها شکاف‌های مناسب پیدا نشود، مسیر بعدی آزمایش می‌شود.

این مقاله به این صورت، سازماندهی شده است که، در بخش دوم کارهای مرتبط آورده شده است و در بخش سوم الگوریتم ارائه شده توضیح داده شده است و در بخش چهارم نتایج شبیه سازی ارائه شده است و در بخش پنجم نتیجه گیری بیان شده است.

۲- کارهای مرتبط

همانطور که در بخش مقدمه گفته شد، مدیریت انرژی، کاهش و مدیریت تکه تکه شدن طیف و نحوه تخصیص طیف، سه چالش مهم در شبکه‌های نوری منعطف هستند. محققان زیادی به ارائه راهکار برای مقابله با این چالش‌ها پرداخته‌اند که برخی از این راهکارها بر یکی از این چالش‌ها متمرکز هست و برخی چند چالش را در راهکار خود بررسی کرده‌اند. در

این بخش راهکارهای سایر محققین در زمینه های کاهش مصرف انرژی، تکه تکه شدن پهنای باند به صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده شده است.

۲-۱ راهکارهای مقابله با کاهش مصرف انرژی

کاهش مصرف انرژی در شبکه های نوری منعطف از چالش های مهم به شمار می رود. برای کاهش مصرف انرژی در شبکه های نوری منعطف راهکارهای مختلفی توسط محققین ارائه شده است.

بلسیوتی و همکارانش [۷]، یک الگوریتم آگاه از انرژی ارائه دادند که به طور انتخابی لینک های شبکه را خاموش می نماید و مصرف انرژی کل شبکه را کاهش و نرخ مسدود شدن درخواست را در حد مطلوبی برآورده می سازد و این الگوریتم تحت ترافیک پویا در مقایسه با یک الگوریتم مسیریابی و تخصیص طیف ناآگاه انرژی به صرفه جویی در مصرف انرژی تا ۹ درصد دست می یابد.

جوی هالدر و همکارانش [۸]، الگوریتم مسیریابی و تخصیص طیف کارآمد انرژی و طیف را برای شبکه های نوری منعطف با تولید دوباره تحت محیط ثابت پیشنهاد می کند. در این روش یک مدل مبتنی بر برنامه ریزی خطی عدد صحیح دومرحله ای برای طراحی مسیریابی و تخصیص طیف باقابلیت بقا مبتنی بر چند مسیر و درعین حال بهینه سازی نیاز طیف و مصرف انرژی در شبکه های نوری منعطف آفلاین، فرموله شده است.

رن و همکارانش [۹]، یک الگوریتم مبتنی بر تخصیص طیف سطح مسیریابی و مدولاسیون با در نظر گرفتن مصرف انرژی مطرح کرده اند. در این الگوریتم، با تطبیق پویا تعداد فرستنده های متغیر پهنای باند با توجه به سطح مدولاسیون انتخابی، به صرفه جویی در مصرف انرژی دست یافتند.

باندیری و همکارانش [۱۰]، الگوریتم کوتاه ترین مصرف انرژی مسیریابی تخصیص طیف بر اساس مدولاسیون فاصله تطبیقی را معرفی کرده اند. در این الگوریتم مدولاسیون برای هر مسیر نوری بر اساس فاصله بین مبدأ و مقصد تعیین می شود. ابتدا انرژی مصرفی برای k -کوتاه ترین مسیر محاسبه می شود و مسیر با کمترین انرژی انتخاب می شود. این الگوریتم بر اساس درخواست های اتصال یا افزایش تعداد مسیرهای نوری بین مبدأ و مقصد می تواند به صورت پویا بین مدولاسیون های مختلف سوییچ کند.

جوی هالدر و همکارانش [۱۱]، یک الگوریتم کارآمد انرژی مبتنی بر چند مسیر باقابلیت بقا ارائه نموده اند. در این الگوریتم از یک مدل برنامه ریزی خطی دومرحله ای برای کاهش میزان مصرف انرژی اجزا شبکه استفاده شده است که در آن هر دو محدودیت قابلیت بقا و مصرف انرژی به صورت همزمان در نظر گرفته است.

آبکنار و همکارانش [۱۲]، یک الگوریتم آگاه از انرژی مبتنی بر تجمیع به نام الگوریتم کمترین انرژی را ارائه نموده اند. هدف این الگوریتم ارائه کیفیت خدمات مورد نیاز در شبکه های نوری منعطف از نظر انرژی کارآمد شبکه و احتمال مسدود شدن درخواست است. در این الگوریتم درخواست ها به دودسته، درخواست با اولویت بالا و درخواست با اولویت پایین تقسیم می شوند و مکانیزم های تکه تکه شدن و فشرده سازی روی درخواست ها با اولویت پایین اجرا می شوند تا احتمال مسدود شدن درخواست ها با اولویت بالا را کاهش دهد.

لی یو و همکارانش [۱۳]، یک الگوریتم تجمیع کارآمد انرژی و همشنوایی ارائه نموده اند. در این الگوریتم ابتدا کوتاه ترین مسیرهای موجود، بر اساس طول مسیر و میزان بار مسیر مرتب می شوند و مسیر مورد نظر انتخاب می شود و در صورتی که مسیر مورد نظر از لحاظ تجمیع کارآمد انرژی و همشنوایی انتظارات را برآورده کرد، ابتدا تخصیص منابع انجام می شود و سپس الگوریتم آگاه از همشنوایی اجرا می شود. این الگوریتم به طور قابل توجهی مصرف انرژی در شبکه های نوری الاستیک مالتی پلکس کننده تقسیم فضا را کاهش می دهد و احتمال انسداد بهینه را تضمین می کند.

جوی هالدر و همکارانش [۱۴]، یک رویکرد یکپارچه برای طراحی شبکه نوری الاستیک غیر برخط باقابلیت بقا برای به حداقل رساندن مصرف انرژی و نیاز طیف ارائه نموده اند. این الگوریتم بازیابی شکست یک لینک را با استفاده از مسیریابی و تخصیص طیف مبتنی بر چندمسیره (RSA) تضمین می کند. در این الگوریتم از مدل برنامه نویسی خطی صحیح برای مسیریابی و تخصیص طیف بر چند مسیر باقابلیت بقا در شبکه های با سایز کوچک و از الگوریتم های اکتشافی ژنتیک چندمسیره باقابلیت بقا و حریص چندمسیره باقابلیت بقا، برای شبکه های با سایز بزرگ استفاده شده است.

۲-۲ راهکارهای مقابله با تکه تکه شدن در شبکه های نوری منعطف

تکه تکه شدن طیف یکی از چالش های بسیار مهم در شبکه های نوری منعطف هست. دو عامل اصلی به وجود آمدن پدیده تکه تکه شدن در شبکه های نوری منعطف، تخصیص پویای طیف و محدودیت های پیوستگی می باشند. برای ارزیابی تکه تکه شدن طیف در شبکه های نوری منعطف متریک های مختلفی وجود دارد. متریک های تکه تکه شدن خارجی [۱۵]، آنتروپی [۱۶]، احتمال مسدود شدن دسترسی [۱۷]، FFMA [۱۸]، NPFR [۱۹] و متریک طلایی [۲۰] از جمله متریک های هستند که برای ارزیابی تکه تکه شدن طیف در شبکه های نوری منعطف مورد استفاده قرار می گیرند. راهکارهای مقابله با اثرات منفی تکه تکه شدن طیف، به راهکارهای فعال و راهکارهای پیشگیرانه تقسیم میشود. راهکارهای فعال

مبتنی بر یکپارچه سازی هستند در حالی که در راهکارهای پیشگیرانه، ساختار الگوریتم به شکلی است که مقدار تکه-تکه شدن طیف را به کمترین مقدار برساند.

یکی از راهکارهای پیشگیرانه، راهکارهای مسیریابی طیف و انتخاب هسته (RSCA) است. در این راهکارها با استفاده از یکی از متریک های ارزیابی تکه-تکه شدن طیف، هسته ها مرتب می شوند و هسته ای که مناسب است انتخاب می شود. هر چه متریک ارزیابی دقیق تر باشد، نتیجه الگوریتم بهتر خواهد بود. Golden – RSCA یکی از الگوریتم های است که در طبقه بندی RSCA قرار می گیرد. در این الگوریتم برای مرتب کردن هسته از متریک طلایی استفاده شده است [۲۰].

۲-۳ سیاست های تخصیص طیف

سیاست های تخصیص طیف یکی از موضوعاتی هست که در شبکه های نوری منعطف، جهت نیل به اهداف مختلف، مطرح شده است. محققان سیاست های متفاوتی را پیشنهاد دادند که هر یک پارامتر خاصی از شبکه را مد نظر گرفته و بر اساس بهبود آن پارامتر، به تخصیص شکاف می پردازد. سیاست first-fit [۳] سیاستی است که اولین مکان مناسب برای درخواست را به عنوان مکان مناسب انتخاب می کند. سیاست last-fit [۳] سیاستی است که اولین مکان مناسب برای درخواست را به عنوان مکان مناسب انتخاب می کند.

سیاست Best-fit [۲۱] سیاستی بود که در سال ۲۰۱۶ میلادی توسط خانم آپکنار و همکارش ارائه شد. ایا سیاست با در نظر گرفتن کاهش تکه-تکه شدن پهنای باند، شکاف های مناسب را انتخاب میکند.

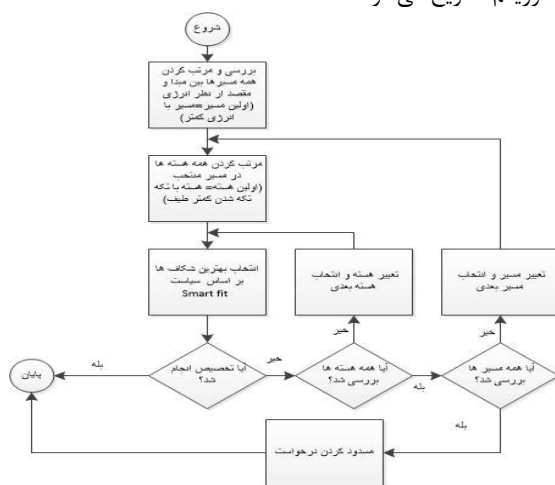
سیاست SF [۲۲] سیاست تخصیص دیگری هست که به صورت کاملاً هوشمند، به نحوی شکاف ها را تقاضاهای ورودی تخصیص میدهد که مقدار عددی تکه تکه شدن طیف به حداقل می رسد.

۳- ارائه الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت، یک الگوریتم تخصیص طیف و مسیریابی (R^{EF}) با در نظر گرفتن مقدار انرژی مصرفی و تکه تکه شدن پهنای باند ارائه می شود. روش مسیریابی و تخصیص طیف و تکه تکه شدن طیف، سه پارامتری هستند که به طور مستقیم بر میزان مسدودی درخواست تاثیر می گذارد. از طرفی دیگر، انرژی مصرفی شاخص بسیار مهمی در بررسی و مطالعه شبکه های نوری است.

در الگوریتم R^{EF} که فلوچارت آن در شکل ۲ آورده شده است، در گام نخست، تمام مسیرهای ممکن بین مبدا و مقصد بررسی شده و انرژی تمام مسیرها محاسبه می شود و سپس براساس انرژی همه مسیرها مرتب می -

شود و در ابتدا مسیری با کم ترین انرژی انتخاب می شود. در گام دوم در مسیر منتخب، میزان تکه تکه شدن در هسته ها براساس متریک طلایی محاسبه می شود و هسته ای که کمترین تاثیر در تکه تکه شدن پهنای باند را دارد برای تخصیص انتخاب می شود. در گام آخر در هسته ای انتخابی، شکاف های که اندازه آنها بزرگتر از مقدار شکاف درخواستی می باشند بررسی شده و شکافی که از نظر سیاست SF مناسب باشد، انتخاب می شود. در صورتی که شکاف مناسب جهت تخصیص درخواست پیدا نشد هسته های دیگر بررسی می شود و اگر پس از بررسی تمام هسته ها، شکاف مناسب پیدا نشود، مسیر دیگری مورد آزمایش قرار می گیرد و در صورتی که پس از بررسی همه مسیرها شکاف مناسب بر اساس سیاست SF وجود نداشته باشد، درخواست ورودی مسدود می شود. در ادامه گام های اصلی الگوریتم تشریح می شود.



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۱-۳ مدل کردن انرژی

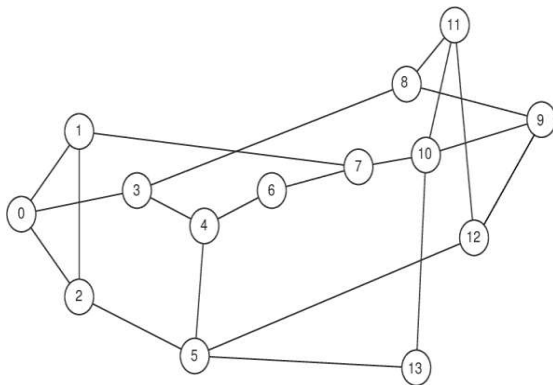
گام اول الگوریتم مرتب کردن همه مسیرهای موجود بین مبدا و مقصد براساس میزان انرژی مصرفی آن مسیر می باشد. در این پژوهش انرژی محاسبه شده در یک مسیر نوری از رابطه زیر بدست می آید:

$$P_{path_i} = \sum P_S^R + \sum P_S^T + \sum P_D^R + \sum P_D^T + \sum P_S^R + \sum P_{OA} \quad (1)$$

که در آن $\sum P_S^R$ انرژی مصرفی فرستنده ها در گره مبدا، $\sum P_S^T$ انرژی مصرفی فرستنده ها در گره مبدا، $\sum P_D^T$ انرژی مصرفی فرستنده ها در گره مقصد، $\sum P_D^R$ انرژی مصرفی فرستنده ها در گره مقصد،

۴- نتایج آزمایشگاهی

برای شبیه سازی این الگوریتم از برنامه OPNET استفاده شده است. تعداد شکاف‌ها در هر هسته برابر با ۴۰۰ شکاف می‌باشد. تعداد درخواست‌های ورودی به شبکه در هر آزمایش یک میلیون در نظر گرفته شده است و برای هر ترافیک ۱۵ آزمایش انجام گردید و میانگین آنها به عنوان مقدار نهایی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از ساختارهای NSFNET (شکل ۳) جهت بررسی نتایج استفاده شده است.



شکل ۳. ساختار NSFNET

آزمایش‌ها در ترافیک های ۱۹۰۰-۲۳۵۰ انجام شده است. محدوده درخواست های ورودی بر اساس توزیع یکنواخت [۵-۱۵] و زمان اعتبار هر درخواست ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. در این بخش، الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم مطرح شده در مرجع [۱۳] با نام EEG-HCS مقایسه شده است.

مهمترین معیار در بررسی و مقایسه الگوریتم‌های تخصیص طیف در شبکه‌های نوری، بررسی نرخ مسدودی درخواست‌های ورودی و بررسی نرخ مسدودی پهنای باند است. از این رو در این قسمت، نرخ مسدودی پهنای باند و نرخ مسدودی درخواست‌های ورودی در الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم EEG-HCS به ترتیب در تصاویر ۴ و ۵ نشان داده شده است. همانطور که در تصاویر ۴ و ۵ مشاهده می‌شود نرخ مسدودی پهنای باند و نرخ مسدودی درخواست‌های ورودی در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم EEG-HCS کاهش چشمگیری داشته است به طوری که نرخ مسدودی پهنای باند در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم EEG-HCS در ترافیک ۲۱۵۰، به میزان ۹ درصد بهبود یافته است همچنین نرخ مسدودی تقاضا در ترافیک ۲۳۵۰، به میزان ۸ درصد بهبود یافته است.

$\sum P_{OA}$ انرژی مصرفی آمپلی فایبرهای موجود در مسیر نوری با گره مبدأ و گره مقصد می باشد.

۲-۳ مدل کردن تکه تکه شدن طیف

متریک طلایی، متریکی هست که در سال ۲۰۲۲ برای تخمین مقدار تکه تکه طیف در هسته / لینک/ مسیر معرفی گردید. در این متریک مقدار تکه تکه شدن در هر هسته/لینک/مسیر بر اساس دو بعد محاسبه می‌شود. یک بعد بر اساس شکاف‌هایی است که می‌توان در تخصیص‌های آینده استفاده کرد و بعد دیگر بر اساس شکاف‌هایی است که نمی‌توان در تخصیص‌های آینده استفاده کرد [۲۰]. در R^{VEF} در گام اول مسیر مشخص می‌شود و در گام دوم با استفاده از گلدن متریک، هسته های مسیر انتخاب شده، مرتب می شوند. هسته‌ای که مقدار تکه تکه شدن، کمتری داشته باشد، اولین انتخاب هست. در صورتی در این هسته امکان تخصیص وجود نداشته باشد، هسته بعدی انتخاب می‌شود.

همه مراحل R^{VEF} را میتوان در الگوریتم ۱ به صورت شبه کد مشاهده کرد:

Inputs

- S : number of all paths between source and destination
- $Path_i$: The i^{th} path between the source and destination
- b : Number of FSSs required by the new connection
- C : the core number on which the connection must be setup

Output:

free blocks for a given connection request are found

- ۱- $counter = 0$
- ۲- sort all paths between source and destination based on energy //the path with the lowest energy is the first path
- ۳- **For** $i=1$ to S //scan all paths between source and destination
- ۴- sort all cores in $path_i$ based on fragmentation value //using the Golden metric
- ۵- **For** $j=1$ to C //for each core in path
- ۶- Scan all gaps based on Smart-fit
- ۷- **If** (there is a suitable gap)
- ۸- $Counter=1$
- ۹- Allocate the appropriate slot to the input request
- ۱۰- **break**
- ۱۱- **End If**
- ۱۲- **End For**
- ۱۳- **If** ($counter=1$)
- ۱۴- **break**
- ۱۵- **End If**
- ۱۶- **End For**
- ۱۷- **If** ($counter=0$)
- ۱۸- Block request
- ۱۹- **End If**

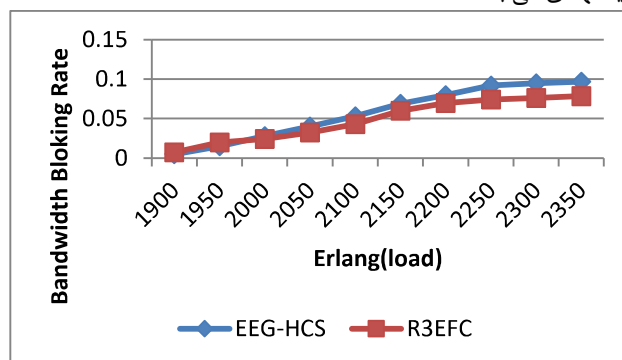
الگوریتم ۱. شبه کد R^{VEF}

جهت ارتباط با مراکز پردازش داده، نیاز به کانال ارتباطی پرسرعت با پهنای باند بالا دارد که این نیاز می تواند به وسیله کانال منعطف نوری برطرف شود.

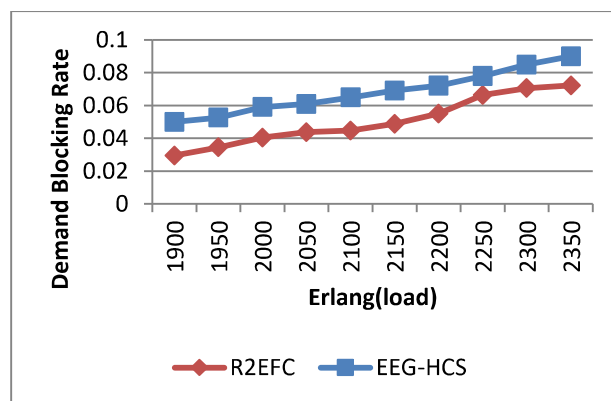
مراجع:

- [۱] L. Gong and Z. Zhu, "Virtual optical network embedding (VONE) over elastic optical networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. ۳۲, no. ۳, pp. ۴۵۰-۴۶۰, ۲۰۱۳. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/JLT.۲۰۱۳.۲۹۴۳۸۹
- [۲] W. Wei, H. Gu, K. Wang, X. Yu, and X. Liu, "Improving cloud-based IoT services through virtual network embedding in elastic optical inter-DC networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. ۶, no. ۱, pp. ۹۸۶-۹۹۶, ۲۰۱۸. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/JIOT.۲۰۱۸.۲۸۶۶۵۰۴
- [۳] B. C. Chatterjee, S. Ba, and E. Oki, "Fragmentation problems and management approaches in elastic optical networks: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. ۲۰, no. ۱, pp. ۱۸۲-۲۱۰, ۲۰۱۷. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/COMST.۲۰۱۷.۲۷۶۹۱۰۲
- [۴] J. Yuan *et al.*, "A constrained-lower-indexed-block spectrum assignment policy in elastic optical networks," *Optical Switching and Networking*, vol. ۲۳, pp. ۲۵-۳۳, ۲۰۱۹. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osn.2019.03.001>
- [۵] M. Aibin, J. Gotengco, J. Tran, J. Soukhamroeun, C. Vinchoff, and N. Chung, "Energy Consumption Reduction of the Survivable Spectrally-Spatially Flexible Optical Networks," in *2020 22nd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, ۲۰۲۰, pp. ۱-۴. IEEE. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/ICTON.۲۰۲۰.۹۲۰۳۰۷۵
- [۶] E. Rodrigues, H. M. D. S. Oliveira, and N. L. Da Fonseca, "Crosstalk and fragmentation-aware algorithm for space-division multiplexing elastic optical networks," in *2021 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, ۲۰۲۱, pp. ۱-۶. IEEE. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/LATINCOM.۲۰۲۱.۹۶۴۷۸۴۵
- [۷] G. A. Beletsioti *et al.*, "Power-aware Algorithms for Energy-efficient Elastic Optical Backbone and Metro Networks," in *ICETE (1)*, ۲۰۱۹, pp. ۶۹-۷۶. DOI: ۱۰.۵۲۲۰/۰۰۰۷۹۲۵۰۰۰۶۳۰۰۷۰
- [۸] J. Halder, T. Acharya, M. Chatterjee, and U. Bhattacharya, "ES-RSM-RSA: A novel energy and spectrum efficient regenerator aware multipath based survivable RSA in offline EON," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. ۵, no. ۳, pp. ۱۴۵۱-۱۴۶۶, ۲۰۲۱. DOI: 10.1109/TGCN.2021.3075616
- [۹] R. Ren, W. Hou, L. Guo, Y. Liu, J. Wu, and Y. Yang, "Spectrum and energy-efficient survivable routing algorithm in elastic optical network," *Optik*, vol. ۱۲۷, no. ۲۰, pp. ۸۷۹۵-۸۸۰۶, ۲۰۱۶. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.j.ijleo.۲۰۱۶.۰۶.۰۸۸>
- [۱۰] S. Y. Bandiri, R. M. Braga, T. C. Pimenta, and D. H. Spadoti, "Energy consumption improvement based on distance adaptive modulation in elastic optical network," in *2017 International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICCDSCS)*, ۲۰۱۷, pp. ۲۹-۳۲. IEEE. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/ICCDSCS.۲۰۱۷.۷۹۵۹۷۰۲
- [۱۱] J. Halder, S. Das, S. Paira, M. Chatterjee, and U. Bhattacharya, "A multipath-based survivability scheme in energy-efficient EON," *IEEE Communications Letters*, vol.

بهبود پارامترهای فوق بعلت استفاده از متریک قوی Golden metric و همچنین سیاست SF و دسته بندی کاربردی هسته ها در الگوریتم پیشنهادی می باشد.



شکل ۴. مقایسه بر اساس نرخ پهنای باند مسدودی در ساختار NSFNET



شکل ۵. مقایسه بر اساس نرخ تقاضا مسدودی در ساختار NSFNET

۵- نتیجه گیری

مصرف انرژی و تکه تکه شدن پهنای باند دو موضوع مهم در شبکه های نوری منعطف است از این رو در این پژوهش، یک الگوریتم کاهش مصرف انرژی و کاهش تکه تکه شدن پهنای باند و تخصیص طیف در شبکه های نوری منعطف ارائه شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این الگوریتم به میزان قابل توجهی، انسداد درخواست و انسداد پهنای باند را کاهش می دهد. همچنین این الگوریتم کاهش مصرف انرژی را در شبکه مد نظر دارد.

امروزه از شبکه های نوری منعطف در صنعت ۵G و ۶G به عنوان کانال ارتباطی در دیتاسنترها استفاده می شود. یکی دیگر از کاربردهای این مقاله و نمونه های مشابه این مقاله، استفاده در هوانوردی است. صنعت هوانوردی

Network Communications, pp. ۱-۱۷, ۲۰۲۳. DOI: <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۱۱۰۷-۰۰۲۳-۰۱۰۰۲-۳>

- ۲۲, no. ۱۰, pp. ۲۰۲۴-۲۰۲۷, ۲۰۱۸. DOI: [۱۰.۱۱۰۹/LCOMM.۲۰۱۸.۲۸۰۹۹۳۴](https://doi.org/۱۰.۱۱۰۹/LCOMM.۲۰۱۸.۲۸۰۹۹۳۴)
- F. Shirin Abkenar and A. G. Rahbar, "The energy minimization algorithm for elastic optical networks," *Photonic Network Communications*, vol. ۴۲, pp. ۱۵-۲۶, ۲۰۲۱. DOI: <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۱۱۰۷-۰۰۲۱-۰۹۳۹-۷> [۱۲]
- H. Liu, Q. Xiong, and Y. Chen, "Routing core and spectrum allocation algorithm for inter-core crosstalk and energy efficiency in space division multiplexing elastic optical networks," *IEEE Access*, vol. ۸, pp. ۷۰۴۵۳-۷۰۴۶۴, ۲۰۲۰. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2988042](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988042) [۱۳]
- J. Halder, T. Acharya, M. Chatterjee, and U. Bhattacharya, "On spectrum and energy efficient survivable multipath routing in off-line elastic optical network," *Computer Communications*, vol. ۱۶۰, pp. ۳۷۵-۳۸۷, ۲۰۲۰. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.06.018> [۱۴]
- M. S. Johnstone and P. R. Wilson, "The memory fragmentation problem: Solved?," *ACM Sigplan Notices*, vol. ۳۴, no. ۳, pp. ۲۶-۳۶, ۱۹۹۸. DOI: [10.1145/301089.287874](https://doi.org/10.1145/301089.287874) [۱۵]
- R. R. Coifman and M. V. Wickerhauser, "Entropy-based algorithms for best basis selection," *IEEE Transactions on information theory*, vol. ۳۸, no. ۲, pp. ۷۱۳-۷۱۸, ۱۹۹۲. DOI: [10.1109/18.119732](https://doi.org/10.1109/18.119732) [۱۶]
- D. Amar, E. Le Rouzic, N. Brochier, J.-L. Auge, C. Lepers, and N. Perrot, "Spectrum fragmentation issue in flexible optical networks: analysis and good practices," *Photonic Network Communications*, vol. ۲۹, pp. ۲۳۰-۲۴۳, ۲۰۱۵. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11107-015-0487-1> [۱۷]
- F. Yousefi and A. G. Rahbar, "Novel fragmentation-aware algorithms for multipath routing and spectrum assignment in elastic optical networks-space division multiplexing (EON-SDM)," *Optical Fiber Technology*, vol. ۴۶, pp. ۲۸۷-۲۹۶, ۲۰۱۸. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2018.11.002> [۱۸]
- M. Jafari-Beyrami, A. G. Rahbar, and S. Hosseini, "On-demand fragmentation-aware spectrum allocation in space division multiplexed elastic optical networks with minimized crosstalk and multipath routing," *Computer Networks*, vol. ۱۸۱, p. ۱۰۷۵۳۱, ۲۰۲۰. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107531> [۱۹]
- Y. Khorasani, A. G. Rahbar, and M. Jafari-Beyrami, "A novel two-dimensional metric for fragmentation evaluation in elastic optical networks," *Computer Networks*, vol. ۲۱۶, p. ۱۰۹۲۷۵, ۲۰۲۲. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109275> [۲۰]
- F. S. Abkenar, A. G. Rahbar, and A. Ebrahimzadeh, "Best fit (bf): A new spectrum allocation mechanism in elastic optical networks (eons)," in *2016 8th International Symposium on Telecommunications (IST)*, ۲۰۱۶, pp. ۲۴-۲۹: IEEE. DOI: [10.1109/ISTEL.2016.7881775](https://doi.org/10.1109/ISTEL.2016.7881775) [۲۱]
- Y. Khorasani, A. Ghaffarpour Rahbar, and M. Jafari-Beyrami, "Fragmentation management to reduce bandwidth wastage in SDM-EON networks," *Photonic* [۲۲]