

ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های منفعل نوری مبتنی بر گیگابیت بر اساس تعیین نقاط اپتیمال به روش کاهش گرادیان

علی‌اکبر نیکوکار، حمیدرضا گودرزی و علی ایلون کشکولی

تکنولوژی‌های شبکه دسترسی، شبکه‌های منفعل نوری (PON)^۲ سرعت بالا، به‌روزرسانی آسان، پوشش وسیع‌تر و مصرف انرژی کمتری را نسبت به سایر فناوری‌ها فراهم می‌کند [۳] و [۴]. تعداد مشترکین شبکه منفعل نوری به سرعت در حال افزایش می‌باشد؛ به طوری که این تعداد در انتهای سال ۲۰۲۰ از مرز ۷۰۰ میلیون مشترک در جهان عبور کرده است [۵]. شبکه‌های منفعل نوری از یک واحد نوری مرکزی (OLT)^۳ در سمت ساختمان مرکزی (مخابرات)، یک تقسیم‌کننده/ترکیب‌کننده منفعل نوری^۴ و چندین دستگاه واحد نوری (ONU)^۵ در سمت کاربر تشکیل شده است [۶] و [۷]. محبوب‌ترین شبکه‌های منفعل نوری بر پایه تقسیم چندگانه زمان (TDMA)^۶ شامل شبکه منفعل نوری مبتنی بر اترنت (EPON)^۷ و شبکه منفعل نوری مبتنی بر گیگابیت (GPON)^۸ می‌باشد [۸] و [۹]. شبکه منفعل نوری مبتنی بر گیگابیت از سلول‌های ATM و قالب کپسوله‌سازی GPON^۹ (GEM) جهت انتقال داده‌ها استفاده می‌کند که باعث تضمین کیفیت خدمات می‌گردد. همچنین شبکه منفعل نوری مبتنی بر گیگابیت در مقایسه با شبکه منفعل نوری مبتنی بر اترنت سرعت بیشتری را ارائه می‌دهد. برای افزایش کارایی تخصیص پهنای باند از الگوریتم‌های تخصیص پویای پهنای باند (DBA)^{۱۰} استفاده می‌شود. تخصیص پویای پهنای باند در شبکه‌های GPON فرایندی است که با استفاده از آن OLT فرصت انتقال آپلود را به ONUها بر اساس وضعیت فعالیت پویا و قراردادهای ترافیکی‌شان تخصیص می‌دهد. نشانه وضعیت فعالیت می‌تواند صراحتاً از طریق گزارش وضعیت بافر باشد یا به‌صورت ضمنی از طریق انتقال فریم‌های بیکار^{۱۱} در زمان انتقال داده‌های آپلود باشد. چهارچوب تخصیص پویای پهنای باند در استاندارد شبکه‌های GPON تعیین شده است؛ اگرچه پیاده‌سازی آن خارج از استاندارد می‌باشد [۸] و [۱۰].

داده‌های ورودی کاربران بر اساس نوع خدمات (ToS)^{۱۲} طبقه‌بندی گردیده و جداسازی و اولویت‌بندی انواع ترافیک را ممکن می‌سازد. کنترل

چکیده: کاهش مصرف انرژی به وسیله خاموش کردن فرستنده/گیرنده در واحدهای شبکه نوری، رایج‌ترین راه حل ذخیره‌سازی انرژی در شبکه نوری منفعل مبتنی بر گیگابیت می‌باشد. محاسبه مدت زمان خاموشی فرستنده/گیرنده در واحد نوری، اساسی‌ترین چالش در حوزه ذخیره‌سازی است؛ زیرا کم یا زیاد شدن مدت زمان یادشده علاوه بر ذخیره‌سازی انرژی بر کیفیت خدمات نیز تأثیر می‌گذارد. در این مقاله با استفاده از روش کاهش گرادیان که نوعی الگوریتم بهینه‌سازی تکرار شونده است، مکانیسم یافتن نقاط ماکسیمال موضعی مدت زمان خاموشی فرستنده/گیرنده با در نظر گرفتن سطح کیفی خدمات ارائه شده است. در روش ذکر شده، علاوه بر دقت و سرعت همگرایی، محدودیت افزایش بسیار زیاد حجم داده وجود نخواهد داشت. نوع ترافیک، تاریخچه درخواست‌های پهنای باند، وضعیت صف در واحد نوری و مدت زمان تأخیر قابل تحمل در کیفیت خدمات، پارامترهای ورودی الگوریتم می‌باشند. تاریخچه درخواست‌ها و پارامترهای یادشده به عنوان داده‌های آموزش ماشین استفاده شده است. شبیه‌سازی انجام شده نشان داد که الگوریتم ارائه شده، پارامترهای سطح خدمات شامل تأخیر بسته‌ها، نرخ ازدست‌رفتن بسته‌ها، و توان عملیاتی سیستم را در سطح قابل قبولی حفظ کرده و قادر به ذخیره‌سازی انرژی در واحدهای شبکه نوری تا ۱۷٪ می‌باشد.

کلیدواژه: ذخیره‌سازی انرژی، شبکه منفعل نوری، GPON، کاهش گرادیان، تضمین کیفیت خدمات.

۱- مقدمه

بر اساس پیش‌بینی سیسکو تا پایان سال ۲۰۲۳ میلادی، دو سوم جمعیت جهان به اینترنت دسترسی خواهند داشت. بر اساس این پیش‌بینی تعداد کاربران اینترنت از ۳۹ میلیارد نفر (معادل ۵۱ درصد جمعیت جهان) در سال ۲۰۱۸ به ۵۳ میلیارد نفر (معادل ۶۶ درصد جمعیت جهان) خواهد رسید [۱]. این افزایش کاربر باعث رشد مصرف انرژی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) از ۴ تا ۵ درصد در دهه گذشته به ۸ تا ۱۰ درصد کل انرژی برق تولیدی شده است که معادل ۲ درصد انتشار گاز کربن و معادل کربن تولیدشده کل سفرهای هوایی می‌باشد [۲]. در میان

این مقاله در تاریخ ۱۵ خرداد ماه ۱۴۰۱ دریافت و در تاریخ ۲۴ دی ماه ۱۴۰۱ بازنگری شد.

علی‌اکبر نیکوکار (نویسنده مسئول)، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، (email: nikoukar@yu.ac.ir).

حمیدرضا گودرزی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، (email: goudarzi@yu.ac.ir).

علی ایلون کشکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، (email: kashkooly@yu.ac.ir).

1. Information and Communication Technology

2. Passive Optical Network

3. Optical Line Termination

4. Splitter/Combiner

5. Optical Network Unit

6. Time Division Multiple Access

7. Ethernet Passive Optical Network

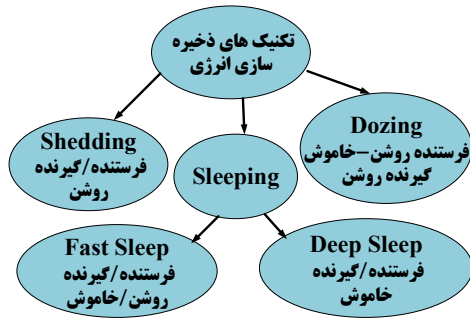
8. Gigabit-Capable Passive Optical Networks

9. GPON Encapsulation Method

10. Dynamic Bandwidth Assignment

11. Idle GEM Frames

12. Type of Service



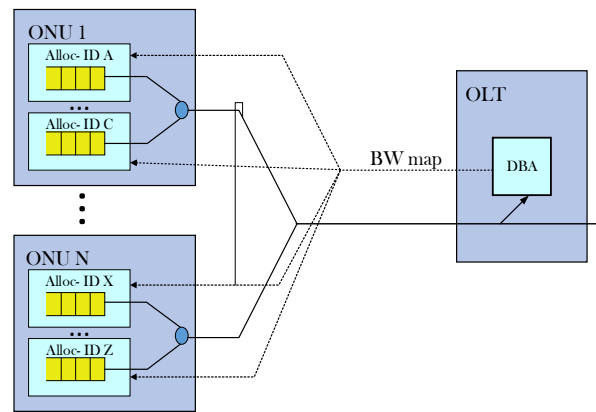
شکل ۲: روش‌های نرم‌افزاری ذخیره‌سازی انرژی.

خاموش کردن طول موج‌ها^۹ می‌باشد [۱۲] تا [۱۸]. در سال ۲۰۰۹، اتحادیه اتحادیه بین‌المللی مخابرات^{۱۰} (ITU-T) استاندارد ضمیمه سری ۴۵^{۱۱} را منتشر کرد که شامل ۳ تکنیک نرخ پیوند تطبیقی، خاموش کردن فرستنده نوری و خاموش کردن فرستنده و گیرنده می‌باشد. شکل ۲ روش‌های نرم‌افزاری ذخیره‌سازی انرژی مطابق استاندارد ضمیمه سری ۴۵ را نمایش می‌دهد.

نرخ پیوند تطبیقی، سرویس‌ها و عملکردهای غیر ضروری در ONU را کم یا خاموش می‌کند؛ در حالی که لینک آن فعال است. در خاموش کردن فرستنده نوری، فرستنده ONU برای یک بازه زمانی خاموش می‌شود، اما دریافت‌کننده آن کاملاً روشن است و به درخواست‌ها پاسخ می‌دهد. در خاموش کردن فرستنده و گیرنده، فرستنده و گیرنده هر دو در بازه‌ای از زمان با هم خاموش هستند. در خاموش کردن عمیق فرستنده و گیرنده^{۱۲}، فرستنده و گیرنده در تمام مدت زمان ذخیره‌سازی انرژی خاموش هستند و باید OLT از وقفه‌هایی برای پشتیبانی از بیداری ONU استفاده کند.

در حالت خاموش کردن فرستنده نوری، دریافت‌کننده ONU جهت دریافت بسته‌های ارسالی از OLT مدام روشن است. در استاندارد ضمیمه سری ۴۵ GPON، ONU که در حالت خاموشی فرستنده است به محض دریافت هر نوع ترافیک از رابط شبکه کاربر^{۱۳} (UNI)، بلافاصله از حالت خاموشی فرستنده خارج و در حالت فعال قرار می‌گیرد. همچنین OLT مداوم پیام اختصاص پهنای باند مربوط به ONU را ارسال می‌نماید ولی ONU در صورت وجود ترافیک به آن پاسخ می‌دهد. OLT ممکن است پیام درخواست وضعیت پهنای باند مورد نیاز را به ONU ارسال کند، اما این درخواست‌ها باعث تغییر حالت ONU از خاموشی فرستنده به حالت فعال نمی‌گردد. تنها زمانی ONU فعال می‌شود که ترافیکی برای ارسال داشته باشد که در این وضعیت درخواست خود را توسط پاسخ به پیام درخواست وضعیت که از طرف OLT ارسال شده پاسخ می‌دهد. در حالی که ONU در حالت خاموشی فرستنده است پهنای باند اختصاص داده شده باید به ظرفیت‌های کم تقریباً ۱۰۰ کیلوبیت بر ثانیه اختصاص داده شود به گونه‌ای که ONU بتواند یک یا تعداد بسته‌های کم را بدون تأخیر قابل توجه ارسال کند.

در خاموش کردن سریع فرستنده و گیرنده^{۱۴} ONU، فرستنده و گیرنده در دوره‌های متوالی خاموش و مجدداً در یک دوره روشن می‌شوند. یک چرخه خاموشی سریع، شامل دوره‌های فعال و خاموش است. OLT از



شکل ۱: الگوریتم تخصیص پویای پهنای باند در شبکه منفعل نوری مبتنی بر گیگابیت.

انواع ترافیک توسط پروتکل کنترل دسترسی رسانه^۱ می‌تواند بر توافق سطح خدمات (SLA)^۲ تأثیر بگذارد و کیفیت مورد نیاز هر کاربر و جریان را برای پشتیبانی QoS فراهم کند. کنترل اطلاعات در زمان پردازش و تخصیص پهنای باند به دسته‌های مختلف در صف‌های خاص که به آنها^۳ T-Conts می‌گویند در ONUها تخصیص داده می‌شود. ۵ نوع T-Conts (انواع ۱ تا ۵ تا T-Cont) در شبکه‌های GPON برای انواع مختلف ترافیک با اولویت‌بندی متفاوت تعریف شده است. ۱ T-Cont تنها برای تخصیص پهنای باند ثابت است و مناسب پهنای باند اشتراکی نمی‌باشد؛ همچنین برای ترافیک‌هایی با نرخ ثابت یا متغیر با نرخ نسبتاً پایین که به تأخیر و واریانس تأخیر بسته حساس‌اند می‌باشد. ۲ T-Cont برای ترافیک با نرخ بیت متغیر (VBR)^۴، بسته‌هایی با توان عملیاتی و تأخیر در نظر گرفته شده است و پهنای باند اضافی به اشتراک گذاشته نمی‌شود. ۳ T-Cont برای ترافیکی در نظر گرفته می‌شود که نمی‌توان تخصیص پهنای باند را تضمین نمود ولی سعی در تأمین حداقلی پهنای باند صورت خواهد پذیرفت. ۴ T-Cont برای سرویس‌های با درجه اهمیت پایین می‌باشد. ۵ T-Cont ترکیبی از انواع دیگر T-Contها است که می‌تواند در ترافیک عمومی کاربرد داشته باشد. در شبکه GPON، گزارش وضعیت تخصیص پویای پهنای باند، توسط ساختار گزارش پویای پهنای باند آپلود مشخص می‌گردد. شکل ۱ ساختار تخصیص پهنای باند در شبکه‌های GPON نشان می‌دهد.

مصرف انرژی ONU در شبکه‌های منفعل نوری حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مصرف کل شبکه ذکر شده می‌باشد و بنابراین ONU گزینه مناسبی جهت ذخیره‌سازی انرژی است [۱۱]. ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های منفعل نوری به دو گروه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های سخت‌افزاری شامل طراحی یک ONU جدید و استفاده مجدد از نوبز هستند که از لحاظ اقتصادی ممکن است مقرون به صرفه نباشد. روش‌های نرم‌افزاری شامل کاهش مصرف برق واحد نوری^۵، خاموش کردن فرستنده نوری^۶، خاموش کردن فرستنده و گیرنده^۷، نرخ پیوند تطبیقی^۸ (ALR) و

1. Media Access Control
2. Service Level Agreement
3. Traffic Containers
4. Variable Bit-Rate
5. ONU Shedding
6. ONU Dozing
7. ONU Sleep
8. Adaptive Link Rate

9. Shutdown Wavelength(s)

10. International Telecommunication Union-Telecommunications

11. ITU-T Series G Supplement 45

12. ONU Deep Sleep

13. User-Network Interface

14. Fast Sleep

پهنای باند می‌باشد [۲۱] و [۲۲]. در پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های EPON علاوه بر توسعه الگوریتم‌های تخصیص پهنای باند، توسعه مکانیسم‌های تبادل پیام و تغییر در طراحی سخت‌افزار نیز مورد توجه قرار گرفته است. در طراحی الگوریتم‌های تخصیص منابع، باید کیفیت خدمات (QoS)^{۱۰} مورد نیاز انواع ترافیک شبکه مانند صدا، ویدئو (IPTV و VOIP)، بازی‌های آنلاین و غیره در نظر گرفته شود. پارامترهای کارایی پهنای باند^{۱۱}، تأخیر بسته^{۱۲}، تغییرات تأخیر بسته^{۱۳} و نرخ بسته ازدست‌رفته^{۱۴}، پارامترهای QoS می‌باشد [۲۳]. در [۱۵] یک ONU جدید برای ذخیره‌سازی انرژی در حالت خاموشی فرستنده و گیرنده استفاده شده است. این طرح بهبود قابل توجهی را در بهره‌وری انرژی خصوصاً در بار شبکه بالا نسبت به پروتکل‌های موجود ارائه می‌کند. در این روش از زنجیره مارکوف زمانی گسسته (DTMC)^{۱۵} برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده شده است. نویسندگان [۱۸] با روش ترکیبی جفتی نوین^{۱۶} (PWC) یک طرح DBA کم‌تأخیر را با کارآمدی انرژی ارائه داده‌اند. ماهیت روش PWC آن است که طول چرخه polling را تا حد امکان فشرده کند که به نوبه خود عملکرد تأخیر بسته‌های داده را نیز بهبود می‌بخشد. همچنین یک تحلیل صف M/G/1 جامع با اصلاح عملکرد تأخیر داده ارائه شده است. در پژوهش [۱۴] برای مقابله با مشکل تأخیرهای انتشار ناهمگن ONU، دو راه حل پیشنهاد شده است. در پیشنهاد اول که با طرح UP-OD^{۱۷} نام‌گذاری شده است انتقال آپلود، ONUهایی را که تأخیرهای انتشار نسبتاً کوتاهی دارند به تعویق می‌اندازد تا کارایی استفاده از کانال بهبود یابد و حالت خاموشی فرستنده برای افزایش بهره‌وری انرژی شبکه گنجانده شده است. در راه حل دوم که با نام IFL-OS^{۱۸} شناخته می‌شود از یک توزیع یکسان برای طول فیبر ONUها به منظور افزایش کارایی کانال اتخاذ شده است و حالت خاموشی گیرنده و فرستنده برای کاهش مصرف انرژی گنجانده شده است. در [۲۴]، ONUها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی به مجموعه‌های جداگانه فرستنده‌ها و گیرنده‌های ثابت مجهز می‌شوند، هرچند باعث افزایش متوسط هزینه می‌گردد اما کارایی سیستم را افزایش داده و ذخیره‌سازی انرژی را نیز ممکن می‌کند.

مهم‌ترین چالش موجود در حوزه ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های منفعل نوری، چگونگی بالانس بین ذخیره‌سازی انرژی و QoS می‌باشد. بحرانی‌ترین مقدار برای دسترسی به این بالانس، مدت زمان خاموشی فرستنده/فرستنده و گیرنده ONU است. انتخاب مدت زمان خاموشی کوتاه باعث کاهش ذخیره‌سازی انرژی و همچنین انتخاب مدت زمان خاموشی زیاد باعث کاهش QoS می‌گردد. در این نوشتار با استفاده از روش کاهش گرادیان^{۱۹}، مدت زمان خاموشی فرستنده از طریق نقاط ماکسیمال موضعی یا ماکسیمال تعیین خواهد گردید. با توجه به اینکه در تعیین نقاط یافت‌شده، پارامترهای QoS تأثیرگذارند، علاوه بر ذخیره‌سازی انرژی، QoS هم تضمین می‌گردد.

جدول ۱: لایه فیزیکی عملکرد، مدیریت و نگهداری.

Power save mode message		
Octet	Content	Description
۱	ONU-ID	ONU-ID of the recipient in the downstream or ONU-ID of the sender in the upstream.
۲	TBD	Message identification "Power Save Mode"
۳	Method [Example]	0x01: Deep Sleep 0x02: Fast Sleep 0x04: Dozing
۴	Phase	0x01: Request 0x02: Indication
۵	Indication	0x01: Power Save Mode ON 0x02: Power Save Mode OFF
۶ تا ۱۲	Reserved	Set to 0x00

NOTE-Usage of this message is optional.

طریق پیام مدیریت و نگهداری عملیات لایه فیزیکی (PLOAM)^۱، انتقال از حالت فعال به خاموش و برعکس را کنترل می‌نماید. به محض دریافت پیام مدیریت و نگهداری عملیات لایه فیزیکی PLOAM، یک ONU وارد حالت خاموش می‌شود؛ یک ساعت مستقل سیگنال بیدارباش^۲ بیدارباش^۳ تولید می‌کند که بخشی از دوره فعال ONU است. همچنین باید این زمان بیدارباش برای ONU کافی باشد که بتواند ارتباط خود را با OLT هم‌زمان کند. بعد از دریافت سیگنال بیدارباش، فرستنده و گیرنده ONU با OLT هم‌زمان و وارد حالت فعال می‌شود. همچنین ساختار بافر واحد نوری مرکزی و زمان‌بندی آنها موضوعی است که مورد توجه قرار نگرفته و باز است [۱۰]، [۱۹] و [۲۰].

برای حفظ یکپارچگی روش سیگنالینگ بر استفاده از پیام PLOAM توافق شده است. پیام ذخیره‌سازی انرژی^۳ (PSM) PLOAM از نوع PLOAM با پارامترهای ضروری می‌باشد. پیام مدل ذخیره‌سازی انرژی توسط OLT در دانلود و همچنین توسط ONUها در آپلود استفاده می‌شود. سیگنال دست‌دادن^۴ شامل پیام درخواست^۵ که از OLT یا ONU ارسال می‌شود و نشانه^۶ که در پاسخ به پیام درخواست ارسال می‌شود. در مدل اصلی، تنها ONU می‌تواند شروع‌کننده ورود به حالت ذخیره‌سازی باشد در حالی که یک درخواست روشن‌شدن در مدل ذخیره‌سازی^۷ می‌تواند توسط هم OLT و هم ONU ارسال شود. با این حال بسته به تکنیک‌های ذخیره‌سازی انرژی، محدودیت‌ها و شرایط می‌تواند تغییر پیدا کند. به عنوان مثال در خاموش کردن سریع فرستنده و گیرنده ONU، OLT باید منتظر بماند تا ONU دوره فعال را شروع کند تا بتواند پیغام درخواست خاموشی مد ذخیره‌سازی^۸ را ارسال کند و نباید یک چرخه خواب جدید را تا زمانی که پاسخ نشانه خاموشی مد ذخیره‌سازی^۹ دریافت شده است آغاز کند. جدول ۱ نمایانگر پیام PLOAM است [۱۰].

اکثر پژوهش‌های مرتبط با ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های GPON، دستیابی به ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از توسعه الگوریتم‌های تخصیص

- Quality of Service
- Bandwidth Efficiency
- Packet Delay (Latency)
- Packet Delay Variation (Jitter)
- Packet-Loss Ratio
- Discrete Time Markov Chain
- Pairwise Combination
- Upstream Postponing with ONU Dozing
- Identical Fiber Length with ONU Sleeping
- Gradient Descent

- Physical Layer Operations Administrations and Maintenance
- Wake up
- Power Save Mode
- Signaling Handshake
- Request
- Indication
- PSM On Request
- PSM Off Request
- PSM Off Indication

در چنین مقوله‌هایی کار دشواری باشد، اما با در نظر گرفتن آنها به عنوان کمیت‌های پیوسته و تحلیل آنها امکان‌پذیر می‌شود. انجام یک پیش‌بینی نیازمند گام‌های فهم دقیق مسأله و تعریف آن، جمع‌آوری داده‌ها و آماده‌سازی آنها، فهم دقیق از مجموعه داده به کمک آنالیز داده‌های اکتشافی^۳ و ساختن یک مدل و ارزیابی آن می‌باشد. در این مسئله OLT با داشتن پهنای باند کل W به ONUها پهنای باند u_1, u_2, \dots, u_n اختصاص می‌دهد. هر ONU می‌تواند بخشی از کل پهنای باند را به خود اختصاص دهد و مجموع کل پهنای باند اختصاصی برابر W است. ONUها از هم مستقل بوده و نوع درخواست و اختصاص پهنای باند آنها متفاوت می‌باشد. تخصیص پهنای باند توسط OLT در زمان‌های گسسته بر حسب کسری از میلی‌ثانیه انجام می‌شود.

فرض کنید که u_k^i تقاضای ONU k ام در لحظه i و M_k^i نمایش مقدار تقاضای پهنای باند این ONU در لحظه i ام باشد. با توجه به مقادیری که M_k^i به خود اختصاص می‌دهد می‌توان آن را یک کمیت پیوسته تلقی کرد. اگر W^i را جمع کل مصرف در لحظه i ام بنامیم، آنگاه داریم

$$W^i = M_1^i + M_2^i + \dots + M_n^i \quad (۱)$$

از (۱) می‌توان اصول زیر را استخراج کرد:

(۱) متغیرهای $M_1^i, M_2^i, \dots, M_n^i$ مقادیر لحظه‌ای مربوط به پارامترهای u_1, u_2, \dots, u_n را به ما نشان می‌دهند و بنابراین معرف متغیرهای پیشگو^۴ هستند و W^i به عنوان متغیر پاسخ^۵ می‌باشد.

(۲) متغیرها مستقل از هم و تحت یک رابطه خطی با متغیر پاسخ در ارتباط هستند.

(۳) مسئله دارای n متغیر مستقل و یک متغیر وابسته می‌باشد؛ البته برد متغیر وابسته می‌تواند در یک فاصله مشخص از اعداد حقیقی مانند $[0, N]$ تعیین شود.

(۴) با توجه به ماتریس درخواست ONUها درمی‌یابیم که نمودار پراکندگی^۶ و ضریب وابستگی پیرسون^۷ شرایط مطلوبی دارد.

(۵) افزایش درخواست یک ONU به طور طبیعی روی کاهش اختصاص پهنای باند به دیگر مصرف‌کنندگان اثر می‌گذارد، ولی نهایتاً عرضه از سقف N بالاتر نمی‌زند.

مجموعه همه این شرایط ما را وادار می‌کنند که مدل رگرسیون چندخطی^۸ را برای آموزش داده‌ها انتخاب کنیم. با توجه به توضیحات قبل، مدل نظری مجموعه داده‌ها در لحظه i ام را می‌توان به فرم بردار سطری $W^i = (u_1^i, u_2^i, \dots, u_n^i)$ در نظر گرفت که با تغییر i به صورت سطری و متناسب با زمان‌های گسسته (بر حسب میلی‌ثانیه) به یک ماتریس کلان داده در ابعاد بزرگ دست می‌یابیم. وجود چنین ضرورتی ما را مقید می‌کند که الگوریتم‌های آموزش ماشین با رویکرد رگرسیون خطی را برگزینیم. در این الگو با الگوریتم آموزش نظارت‌شده^۹ از متغیرهای ورودی و خروجی برای آموزش یک تابع یادگیری ماشین به فرم $y = f(x)$ استفاده خواهیم کرد. تغییر تابع فوق بدین معنی است که

بخش ۲ مقاله روش یافتن مقدار بحرانی زمان خاموشی فرستنده واحد نوری را مورد بررسی قرار خواهد داد و با استفاده از روش کاهش گرادیان، الگوریتم پیشنهادی ارائه خواهد شد. در بخش ۳ عملکرد روش ارائه‌شده با استفاده از شبیه‌سازی بررسی می‌شود و نهایتاً بخش ۴ نتیجه‌گیری مقاله خواهد بود.

۲- مکانیسم پیشنهادی

روش کاهش گرادیان، نوعی الگوریتم بهینه‌سازی و از نوع الگوریتم‌های تکرارشونده است که برای یافتن نقاط مینیمال موضعی مربوط به تابع هدف به کار گرفته می‌شود. اساس این روش بر نظریه مشتق به عنوان شیب خط مماس بر منحنی در یک نقطه استوار است و گام‌های تکرار متناسب با منفی گرادیان تابع در آن نقطه برداشته می‌شود. بنابراین یکی از نقاط قوت بسیار خوب این روش آن است که در تعیین وزن مطلوب به جای استفاده از وزن‌های تصادفی، مسیر وزن‌دهی برای آموزش ماشین کاملاً روشن است. به‌کارگیری این تکنیک در مقایسه با سایر روش‌ها، دقت و سرعت همگرایی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا می‌برد. علاوه بر این برخلاف روش‌های دیگر مانند استفاده از معادله نرمال که برای مجموعه داده‌های با حجم بالا کارایی چندانی ندارد، در این روش محدودیت افزایش بسیار زیاد حجم داده هم نخواهیم داشت. اگر در استفاده از این الگوریتم در جهت گرادیان حرکت کنیم به نقاط ماکسیمال موضعی خواهیم رسید و این نیز از دیگر نقاط قوت روش می‌باشد. چرا که به‌طور هم‌زمان تصویری از نقاط ماکسیمال هم خواهیم داشت. در صورتی که تابع هدف یک تابع مقعر باشد به علاوه می‌توان از این روش برای دستیابی به نقاط اکسترمال سراسری هم استفاده کرد. خوشبختانه در اکثر مسایل کاربردی، تابع هدف از این شرط برخوردار است که این مطلب نیز بر مزیت روش کاهش گرادیان خواهد افزود. پشتوانه چنین الگوریتمی، نظریه بهینه‌سازی در حساب دیفرانسیل می‌باشد که از محتوای بسیار غنی در ریاضیات نظری برخوردار است.

در مدل پیشنهادی، ONU بر اساس نوع ترافیک فعلی، تاریخچه درخواست‌های پهنای باند، وضعیت صف^۱ و حداکثر زمان چرخه^۲ الگوریتم الگوریتم تخصیص پویای پهنای باند مورد بررسی قرار گرفته و در صورتی که شرایط لازم را داشته باشد اجازه ورود به حالت خاموشی فرستنده/گیرنده داده می‌شود. یک مکانیسم مبتنی بر پیش‌بینی نیاز مصرف‌کنندگان بر مبنای توزیع هوشمند و بر اساس الگوریتم‌های هوش ارائه می‌گردد تا علاوه بر تخصیص بهینه منابع، مدت زمانی که هر یک از ONUها می‌توانند در حالت خاموشی قرار گیرند نیز محاسبه گردد. محاسبه مدت زمان خاموشی ONUها با رعایت پارامترهای کیفیت شبکه و بهینه‌سازی ذخیره‌سازی انرژی محاسبه خواهد شد. برای جمع‌آوری داده‌های آموزش ماشین از سابقه قبلی درخواست‌ها و پهنای باند اختصاص یافته به ONUها استفاده خواهد شد. برای درک بهتر از حل مسأله ابتدا به ارائه روش‌های ریاضی در تعیین الگوی اختصاصی پهنای باند خواهیم پرداخت و سپس کارایی سیستم ارائه شده از جهات مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. آنالیز مبتنی بر پیش‌بینی، از شاخه‌های کاربردی آنالیز ریاضی است که با تکیه بر روش‌های کمی و به کمک داده‌های موجود به پیش‌بینی رفتار کمیت‌ها در آینده می‌پردازد. اگر چه ممکن است توصیف داده‌های کیفی

3. Exploratory Data Analysis

4. Predictor

5. Response Variable

6. Scatterplot

7. Pearson Correlation Coefficient

8. Multiple Linear Regression Model

9. Supervised Learning Algorithm

1. Queue

2. Cycle Time

متناسب با هر روش می‌توان مدل رگرسیون $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ را در نظر گرفت. در این مدل یک برآوردگر با یک متغیر وابسته خواهیم داشت. برای برآوردگر x باید $\beta_0, \beta_1, \varepsilon$ به‌طور بهینه تعیین شوند. با انجام این فرایند برای t حالت ممکن می‌توان به مقادیر بهینه $\beta_0, \beta_1, \varepsilon$ دست یافت. لازم به ذکر است برای تعیین $\beta_0, \beta_1, \varepsilon$ که توأمأً برای تمامی متغیرهای برآوردگر بهینه باشد می‌توان تک‌تک مقادیر آنها را در شبیه‌سازی آزمون و β_0, β_1 را انتخاب کرد که خطای مینیمم را به دنبال دارد. با توضیحات بالا می‌توان حالت $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ را مورد مطالعه قرار داد. در اینجا β_0, β_1 به محاسبه کمترین مقدار خطا می‌پردازند. بدین منظور تابع هزینه^۲ را برای آن به فرم زیر تعریف کنیم

$$c(\beta_0, \beta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (y(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 \quad (۳)$$

که در آن m تعداد مثال‌های آموزش^۳، $x^{(i)}$ مقدار x برای مثال آموزشی i ام و $y^{(i)}$ مقدار y برای i امین مثال آموزشی است. در این روش خطا توسط تابع خطای میانگین مربعات^۴ اندازه‌گیری می‌شود.

هدف نهایی تعمیم‌سازی تابع فوق به گونه‌ای است که بتوان مقادیر بهینه‌ای را برای پارامترهای β_0, β_1 تعیین نمود. به کمک این مقادیر می‌توان بهترین خط راست ممکن را برای پراکندگی داده‌ها ترسیم کرد. پس از تعیین چنین خطی می‌توان از آن برای پیش‌بینی درخواست ONUها استفاده نمود. در این پیش‌بینی با توجه به تمایل درخواست پهنای باند ONUها که در زمان‌های قبل ثبت شده است، می‌توان به اختصاص پهنای باند در هر لحظه و به تناسب نیاز پرداخت.

اساس روش کاهش گرادیان بر مبنای بهینه‌سازی به کمک مشتق است. در اینجا چون فقط با دو متغیر β_0, β_1 سروکار داریم، لذا از مشتقات جزئی توابع دومتغیره استفاده می‌کنیم. بنابراین برای $j = 0, 1$ باید تکرار را تا مرحله‌ای ادامه دهیم که فرایند زیر به یک همگرایی برسد

$$\beta_j = \beta_j - \alpha \frac{\partial C(\beta_0, \beta_1)}{\partial \beta_j}, \quad j = 0, 1 \quad (۴)$$

در این معادله α مقداری ثابت است که نرخ یادگیری را تعیین می‌کند و جمله دوم نمایشگر مشتق جزئی توابع نسبت به مؤلفه‌های β_0, β_1 به صورت زیر است می‌یابیم

$$\beta_0 = \beta_0 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y(x^{(i)}) - y^{(i)}) x^{(i)} \quad (۵)$$

$$\beta_1 = \beta_1 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y(x^{(i)}) - y^{(i)}) x^{(i)}$$

با توجه به اینکه تابع داده‌شده در (۳) محدب است، لذا بهینه‌سازی نسبت به β_0, β_1 حتماً به جواب منتهی می‌شود و به‌علاوه مقادیر بهینه برای این پارامترها منحصر به فرد می‌باشد. با توجه به مشتق‌پذیری تابع هزینه و نظریه اختیاری بودن مقدار ثابت α می‌توان همواره شرایط را طوری در نظر گرفت که فرایندهای تکرار برای پارامترهای β_0, β_1 به تعیین یک نقطه ثابت ختم شود. این نقطه در واقع همان نقطه تعادل پایدار سیستم خواهد بود.

بر اساس راه حل فوق و بر اساس مدل پیش‌بینی ارائه‌شده، زمانی که ONU دارای درخواست پهنای باند برای ترافیک با اولویت بالا نیست،

وقتی یک داده ورودی جدید x به ماشین داده می‌شود بتوان برآورد دقیقی از خروجی حاصل داشت.

تا اینجا گام نخست در تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین برآوردگر مناسب برداشته شده و اکنون باید دنبال تعیین مقادیر بهینه برای پارامترهای مدل باشیم. هدف از طراحی چنین فرایندی، محاسبه مقادیری است که به ازای آنها خطای محاسبات در مقایسه با شرایط عملی^۱ به حداقل رسد. اگرچه از روش‌های متفاوتی ممکن است استفاده شود ولی ما از روش کاهش گرادیان بهره خواهیم برد. دلیل اصلی آن نیز ضمانتی است که مبنای نظری مسئله برای ما ایجاد خواهد کرد. در صورتی که تابع خطا را به عنوان یک تابع درجه دوم در نظر بگیریم، محدب بودن آن ما را به سمت یک نقطه همگرایی در فرایند بازگشتی سوق خواهد داد. به‌علاوه شرط مشتق‌پذیری آن تضمین یک نقطه ثابت منحصر به فرد را ایجاد خواهد کرد که در واقع همان بردار بهینه‌ساز از برآوردگرهای مسئله خواهد بود. به بیان دقیق‌تر اگر معادله $W^i = g(W^{i-1})$ نشانگر یک سیستم دینامیکی گسسته از تغییر ضرایب باشد که به روش بازگشتی به دست آید، آن گاه نقطه تعادل پایدار این سیستم که یک نقطه ثابت برای سیستم است همان جواب بهینه خواهد بود. هدف ما تضمین معادله‌ای است که به جواب قطعی رسد. اول به معرفی عمومی یک مدل رگرسیون چندخطی می‌پردازیم. اگرچه در مدل کلی‌تر می‌توان چندین متغیر وابسته را نیز به‌طور توأم در نظر گرفت اما چون در اینجا فقط یک متغیر وابسته داریم لذا حالت خاص را در نظر می‌گیریم. فرضاً x_1, x_2, \dots, x_n مجموعه‌ای متشکل از n برآوردگر باشد که تحت متغیر پاسخ y با هم مرتبط هستند

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (۲)$$

در این رابطه ε را یک خطای تصادفی، β_i ها را ضرایب مشخص رگرسیون و β_0 را عرض از مبدأ می‌نامیم. برای نمایش بهتر می‌توان نوشت $\beta = \beta_0 x$ که در آن $x = 1$ تعیین می‌شود. در حقیقت در (۲) برآوردگرهای x_1, x_2, \dots, x_n متغیر پاسخ y را با میزان خطای ε برآورد می‌کنند. کاری که اینجا باید انجام شود حرکت به سمتی است که بتوان میزان این خطا را به سمت صفر میل داد. با توجه به اینکه برآوردگرها و متغیر پاسخ، داده‌شده فرض می‌شوند لذا باید روی ضرایب رگرسیون تغییرات را انجام داد تا به نتیجه مطلوب رسید. به زبان ساده باید به بهینه‌سازی ضرایب β_i برای رسیدن به پیش‌بینی ایده‌آل پردازیم.

یک پیش‌بینی ایده‌آل، حالتی است که در آن تا حد امکان ε به سمت صفر میل کند و در این مقاله می‌خواهیم از روش کاهش گرادیان استفاده کنیم. برای سادگی می‌توان فقط با یک برآوردگر منفعل کار را شروع کرد و سپس به تعمیم آن برای حالت n بعدی پرداخت. در مدل مورد مطالعه داریم $x_k = M_k^i$ که در آن $k = 1, 2, \dots, n$ است و بنابراین ماتریس داده‌ها را می‌توان به n برش ستونی بر حسب متغیر M_k^i تجزیه کرد. بلوک‌های تجزیه‌شده به صورت زیر خلاصه می‌شوند

	M_k^i		M_k^i		M_k^i
	M_k^i		M_k^i		M_k^i
W	M_k^i	W	M_k^i	W	M_k^i
W_1	M_k^i	W_1	M_k^i	W_1	M_k^i
W_2	M_k^i	W_2	M_k^i	W_2	M_k^i
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
W_t	M_k^i	W_t	M_k^i	W_t	M_k^i

2. Cost Function
3. Training Examples
4. Mean Squared Function

1. Actual Situation

جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی.

مقدار	نام پارامتر
۱	تعداد OLT
۳۲	تعداد ONU
۹,۹۵۳	نرخ کارایی آپلود
۱۵ تا ۲۰ کیلومتر	فاصله بین OLT و ONUها
۱ مگابیت	اندازه بافر ONU
۱۰ μ s	زمان محاسبه DBA
۱ میلی ثانیه	حداکثر زمان دوره DBA
۱ μ s	زمان محافظ DBA
۰,۵۱۲ μ s	طول پیام کنترل
خاموشی فرستنده و خاموشی فرستنده و گیرنده	حالت ذخیره‌سازی انرژی
۱۲۵ میلی ثانیه	زمان سربرار ONU از وضعیت خاموشی فرستنده و گیرنده به فعال
۱,۷ وات	میزان مصرف انرژی در حالت خاموشی فرستنده
۱,۰۸ وات	میزان مصرف انرژی در حالت خاموشی فرستنده و گیرنده
۳,۸۵ وات	میزان مصرف انرژی در حالت فعال

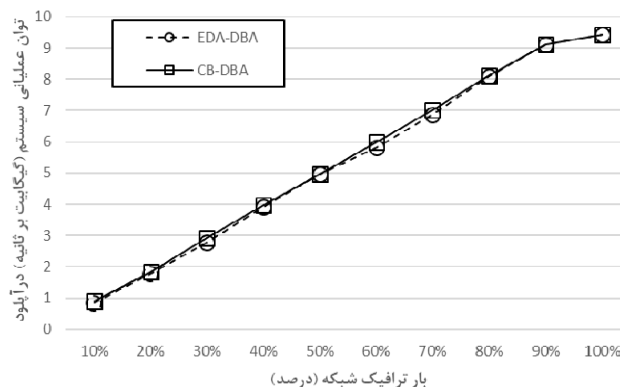
مدل Selfsimilarity و long-range به عنوان ترافیک شبکه برای نوع ترافیک با درجه اهمیت متوسط (T-Cont ۳) و نوع با درجه اهمیت کم (T-Cont ۴) با مقدار پارامتر Hurst ۰,۷ استفاده می‌شود. اندازه بسته‌ها به صورت یکنواخت بین ۶۴ و ۱۵۱۸ بایت در نظر گرفته شده است. ترافیک T-Cont ۲ با مقدار Hurst پارامتر ۰,۸ و اندازه بسته‌ها به صورت یکنواخت بین ۶۴ و ۱۵۱۸ بایت می‌باشد. در ترافیک با اولویت بالا (T-Cont ۱) از توزیع پواسون با اندازه ثابت بسته‌ها (۵۶۰ بایت) استفاده گردیده است [۱۱]. درصد انواع ترافیک برای T-Cont ۱ ۱۰٪، برای T-Cont ۲ ۱۰٪، برای T-Cont ۳ ۶۰٪ و برای ترافیک T-Cont ۴ ۲۰٪ در نظر گرفته شده است. جدول ۳ خلاصه انواع ترافیک را به همراه درصد کل ترافیک نمایش می‌دهد.

۳-۱ توان عملیاتی سیستم

شکل ۳ توان عملیاتی آپلود سیستم را در مقابل بار شبکه نشان می‌دهد. توان عملیاتی سیستم از حاصل ضرب نرخ اسمی (۹,۹۵۳) گیگابیت بر ثانیه ضرب در سربرار زمان بندی و سربرار کپسوله‌سازی به دست می‌آید. توان عملیاتی سیستم پیشنهادی EDA-DBA در تمام سناریوها تقریباً مشابه CB-DBA است. سیستم پیشنهادی توانسته علاوه بر ذخیره‌سازی انرژی، توان عملیاتی شبکه را همانند سیستم بدون ذخیره‌سازی انرژی حفظ نماید.

۳-۲ میانگین تأخیر بسته

شکل ۴ میانگین تأخیر بسته EDA-DBA و CB-DBA (تمامی اولویت‌ها) را در مقابل بار ترافیک شبکه نشان می‌دهد که شامل تأخیر در صف، تأخیر درخواست و تأخیر زمان اختصاص یافته است. تأخیر صف از آغاز زمان اختصاص یافته تا آغاز ارسال فریم می‌باشد. تأخیر درخواست زمان بین رسیدن بسته و درخواست بعدی ارسال شده توسط ONU است. تأخیر زمان اختصاص یافته، فاصله زمانی از درخواست ONU برای پنجره انتقال تا آغاز زمان ارسال فریم است. در بار ترافیکی کمتر از ۷۰ درصد، میانگین تأخیر بسته‌ها در سیستم پیشنهادی (EDA-DBA) بیشتر از



شکل ۳: توان عملیاتی آپلود سیستم.

جدول ۳: انواع ترافیک مورد استفاده در شبیه‌سازی.

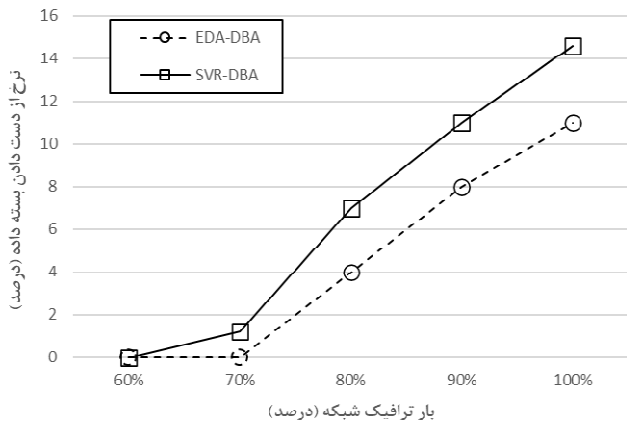
QoS	توزیع	اندازه بسته‌ها	نسبت نوع ترافیک
T-Cont ۱	نرخ ثابت	۵۶۰ بایت	۱۰٪
T-Cont ۲	نرخ متغیر	یکنواخت ۶۴ تا ۱۵۱۸ بایت	۱۰٪
T-Cont ۳	نرخ متغیر	یکنواخت ۶۴ تا ۱۵۱۸ بایت	۶۰٪
T-Cont ۴	نرخ متغیر	یکنواخت ۶۴ تا ۱۵۱۸ بایت	۲۰٪

می‌تواند وارد مرحله خاموشی فرستنده یا گیرنده گردد. در صورتی که بسته داده با اولویت بالا در ONU از سمت کاربر دریافت شود، همچنان می‌تواند به اندازه نیمی از حداکثر زمان تأخیر مناسب آن نوع داده در مرحله خاموشی باقی بماند و سپس با ارسال درخواست به OLT، داده‌ها را در زمان تخصیص داده شده ارسال نماید.

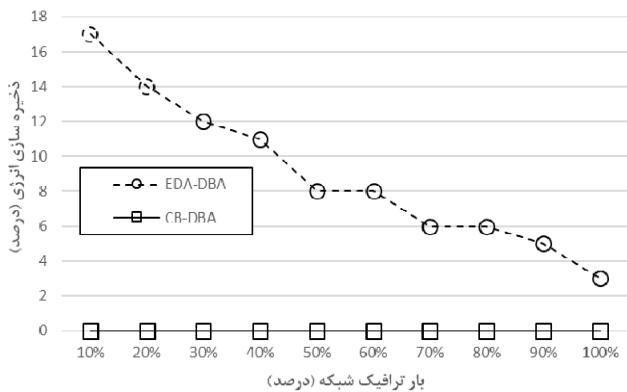
۳- کارایی سیستم پیشنهادی

در این بخش، مکانیسم مدل پیشنهادی بر اساس توان عملیاتی سیستم در مسیر آپلود، تأخیر بسته، نرخ بسته‌های ازدست‌رفته^۳ و ذخیره‌سازی انرژی^۴ آن آنالیز شده است. مکانیسم مدل پیشنهادی (EDA-DBA) با مدل [۲۵] (CB-DBA) که فاقد مکانیسم ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد، مقایسه شده است. همچنین خاموشی فرستنده مدل پیشنهادی با الگوریتم [۱۲] که SVR-DBA نام‌گذاری شده است در دو پارامتر تأخیر بسته ترافیک نوع ۱ T-Cont و نرخ بسته‌های ازدست‌رفته مقایسه شده است. یادآور می‌شویم که الگوریتم SVR-DBA در [۱۲] برای EPON ارائه شده که در این مقاله تغییراتی جهت شبیه‌سازی GPON اعمال گردید. مکانیسم پیشنهاد داده شده با استفاده از OMNET++ با ۳۲ عدد ONU و یک OLT شبیه‌سازی شده است. استاندارد XGS-PON با نرخ کارایی دانلود و آپلود بین ONU و OLT ۹,۹۵۳ گیگابیت بر ثانیه تنظیم گردیده و فاصله بین ONU و OLT به صورت یکسان ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. اندازه بافر هر ONU برابر با ۱ مگابیت می‌باشد. زمان سربرار ONU از وضعیت خاموشی فرستنده و گیرنده به حالت فعال برابر با ۱۲۵ ms تنظیم شده است. مصرف برق ONU برای حالت فعال ۳,۸۵ W، برای حالت خاموشی فرستنده ۱,۷ W و برای حالت خاموشی فرستنده و گیرنده ۱,۰۸ W در نظر گرفته شده است [۲۶]. جدول ۲ پارامترهای شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد.

1. System Throughput
2. Mean Packet Delay
3. Packet Loss Ratio
4. Power-Saving Ratio



شکل ۷: نرخ ازدست‌رفتن بسته‌های ۴ T-Cont در EDA-DBA و SVR-DBA.



شکل ۸: نرخ ذخیره‌سازی انرژی.

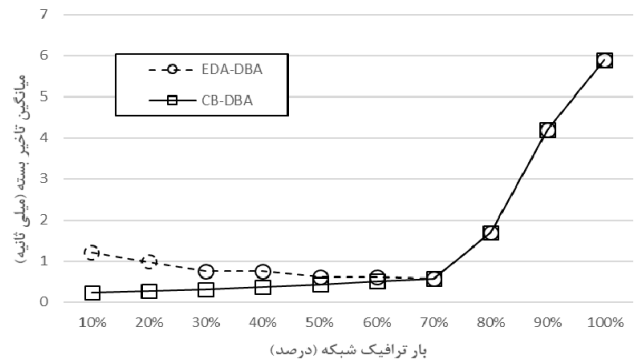
۳-۳ نرخ بسته‌های ازدست‌رفته

شکل ۶ نرخ ازدست‌دادن بسته EDA-DBA و CB-DBA را در مقابل بار شبکه نشان می‌دهد. نرخ تلفات بسته برای ترافیک‌های با اولویت بالا و متوسط (۳ T-Cont، ۲ T-Cont و ۱ T-Cont) برای سیستم پیشنهادی EDA-DBA و CB-DBA در تمامی بار شبکه صفر است، زیرا پهنای باند کافی به این بسته‌ها اختصاص می‌یابد. نرخ تلفات بسته ۴ T-Cont برای EDA-DBA و CB-DBA در بار ترافیک زیر ۷۰ درصد برابر صفر می‌باشد. در بار ترافیکی بالاتر از ۷۰ درصد به دلیل عدم اختصاص پهنای باند کافی به بسته‌های ۴ T-Cont و یا عدم وجود بافر کافی، این دسته از بسته‌ها از دست می‌روند. نرخ ازدست‌دادن بسته‌ها در EDA-DBA و CB-DBA در ترافیک‌های بالای ۷۰ درصد تقریباً برابر است. سیستم پیشنهادی علاوه بر ذخیره انرژی، توانسته است که نرخ ازدست‌دادن بسته‌ها را ثابت نگه دارد.

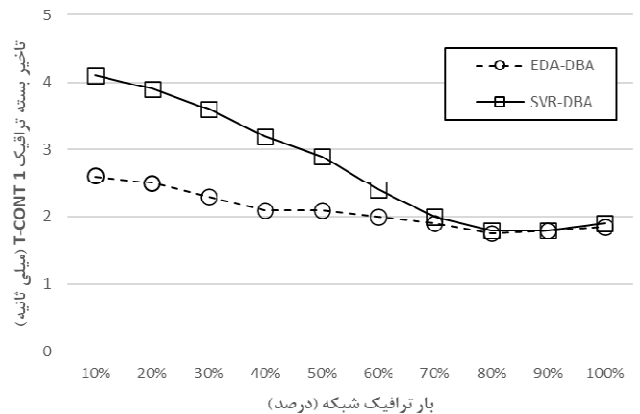
شکل ۷ نرخ ازدست‌دادن بسته در EDA-DBA و SVR-DBA را در مقابل بار ترافیک شبکه نشان می‌دهد. همانند شکل ۶ نرخ ازدست‌دادن بسته‌ها یا اولویت بالا و متوسط در EDA-DBA و SVR-DBA در تمامی بار ترافیک صفر می‌باشد. نرخ تلفات بسته ۴ T-Cont برای سیستم پیشنهادی زیر ۷۰٪ برابر صفر و برای SVR-DBA زیر ۶۰٪ برابر صفر است. نرخ ازدست‌دادن بسته‌های ۴ T-Cont در SVR-DBA در ترافیک بالای ۶۰٪ بیشتر از EDA-DBA می‌باشد و بنابراین توانایی سیستم پیشنهادی در تضمین کیفیت خدمات بیشتر از SVR-DBA است.

۳-۴ نرخ ذخیره‌سازی انرژی

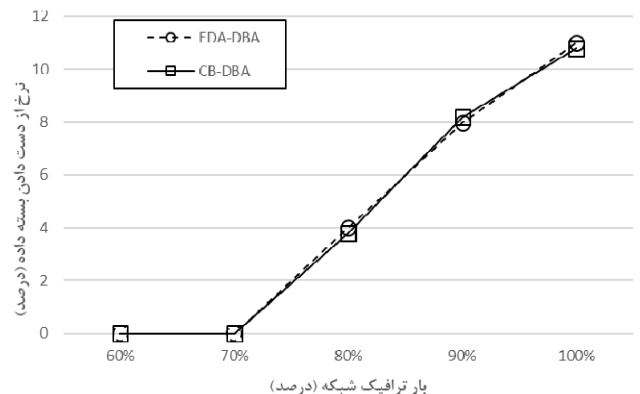
شکل ۸ صرفه‌جویی انرژی در ONU را در مقابل بار شبکه نمایش



شکل ۴: میانگین تأخیر بسته‌ها در EDA-DBA و CB-DBA.



شکل ۵: میانگین تأخیر بسته ترافیک ۱ T-Cont در EDA-DBA و SVR-DBA.



شکل ۶: نرخ ازدست‌رفتن بسته‌های ۴ T-Cont در EDA-DBA و CB-DBA.

می‌باشد، زیرا سیستم پیشنهادی در ترافیک با بار کم به ONU امکان تغییر وضعیت در جهت ذخیره‌سازی انرژی را می‌دهد. هرچند میانگین تأخیر باید کمتر از حداکثر مقدار قابل تحمل برای شبکه باشد. در بار ترافیک بالاتر از ۷۰ درصد به دلیل اینکه زمان ذخیره‌سازی انرژی در ONU کاهش می‌یابد، میانگین تأخیر در سیستم پیشنهادی و CB-DBA تقریباً یکسان است.

شکل ۵ میانگین تأخیر بسته ترافیک نوع ۱ T-Cont در SVR-DBA و EDA-DBA را در مقابل بار ترافیک شبکه نشان می‌دهد. در بار ترافیکی کمتر از ۸۰ درصد، میانگین تأخیر بسته‌ها در سیستم پیشنهادی (EDA-DBA) کمتر از SVR-DBA می‌باشد، زیرا اولویت سیستم پیشنهادی، حفظ کیفیت خدمات شبکه با نگاه‌داشتن تأخیر بسته‌های ترافیک اولویت‌دار ۱ T-Cont در حد قابل تحمل این نوع ترافیک است. در ترافیک بالاتر از ۸۰٪، تأخیر بسته‌های ۱ T-Cont در SVR-DBA و EDA-DBA تقریباً یکسان می‌باشد.

- [9] B. R. Rayapati and N. Rangaswamy, "Adaptive scheduling mechanism with variable bit rate traffic in EPON," *J. of Optical Communications*, vol. 43, no. 2, pp. 235-240, 2022.
- [10] International Telecommunication Union, *G.984.3: Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification*, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/en>, Accessed on 22 May 2022.
- [11] M. SafaeiSisakht, A. Nikoukar, H. Goudarzi, I. S. Hwang, and A. Tanny Liem, "Lattice based EPON energy-saving scheme analysis," *Optical Fiber Technology*, vol. 57, Article ID: 102243, Jul. 2020.
- [12] C. Z. Yang, et al., "Enhancing energy efficiency of the doze mode mechanism in ethernet passive optical networks using support vector regression," *Photonics*, vol. 9, no. 3, Article ID: 9030180, 2022.
- [13] S. Dutta, D. Roy, and G. Das, "Protocol design for energy efficient OLT in TWDM-EPON supporting diverse delay bounds," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 5, no. 3, pp. 1438-1450, Sept. 2021.
- [14] Y. Lv, M. Bi, Y. Zhai, H. Chi, and Y. Wang, "Study on the solutions to heterogeneous onu propagation delays for energy-efficient and low-latency EPONs," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 193665-193680, 2020.
- [15] S. Dutta and G. Das, "Design of energy-efficient EPON: a novel protocol proposal and its performance analysis," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 3, no. 3, pp. 840-852, Sept. 2019.
- [16] M. Lottfolahi, C. Z. Yang, I. S. Hwang, A. Nikoukar, and Y. H. Wu, "A predictive logistic regression based doze mode energy-efficiency mechanism in EPON," *IEICE Trans. on Information and Systems*, vol. E101D, no. 3, pp. 678-684, Mar. 2018.
- [17] S. Dutta, D. Roy, and G. Das, "SLA-aware protocol design for energy-efficient OLT transmitter in TWDM-EPON," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 5, no. 4, pp. 1961-1973, Dec. 2021.
- [18] M. Zhu, J. Gu, and G. Li, "PWC-PON: an energy-efficient low-latency DBA scheme for time division multiplexed passive optical networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 206848-206865, 2020.
- [19] I. S. Hwang, A. Nikoukar, Y. M. Su, and A. T. Liem, "Decentralized SIEPON-based ONU-initiated Tx/TRx energy-efficiency mechanism in EPON," *J. of Optical Communications and Networking*, vol. 8, no. 4, pp. 238-248, Apr. 2016.
- [20] International Telecommunication Union, *G.Sup45 (09/2022): Power Conservation in Optical Access Systems*, Available at <https://handle.itu.int/11.1002/1000/15223>, Accessed on 22 Oct 2022.
- [21] S. S. Lee and K. Y. Li, "Adaptive state transition control for energy-efficient gigabit-capable passive optical networks," *Photonic Network Communications*, vol. 30, no. 1, pp. 71-84, 2015.
- [22] K. A. Memon, et al., "Dynamic bandwidth allocation algorithm with demand forecasting mechanism for bandwidth allocations in 10-gigabit-capable passive optical network," *Optik*, vol. 183, pp. 1032-1042, Apr. 2019.
- [23] A. Dixit, et al., "Dynamic bandwidth allocation with SLA awareness for QoS in ethernet passive optical networks," *IEEE/OSA J. of Optical Communications and Networking*, vol. 5, no. 3, pp. 240-253, Mar. 2013.
- [24] D. Roy, S. Dutta, A. Datta, and G. Das, "A cost effective architecture and throughput efficient dynamic bandwidth allocation protocol for fog computing over EPON," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 4, no. 4, pp. 998-1009, Dec. 2020.
- [25] J. Lee, I. Hwang, A. Nikoukar, and A. T. Liem, "Comprehensive performance assessment of bipartition upstream bandwidth assignment schemes in GPON," *J. of Optical Communications and Networking*, vol. 5, no. 11, pp. 1285-1295, Nov. 2013.
- [26] A. R. Dhaini, P. H. Ho, and G. Shen, "Toward green next-generation passive optical networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 11, pp. 94-101, Nov. 2011.

علی اکبر نیوکوار تحصیلات خود را در کارشناسی ارشد و دکتری در علوم کامپیوتر به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ از دانشگاه‌های JHU و YZU تایوان به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده علوم پایه گروه ریاضی دانشگاه یاسوج می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های نسل آینده، اینترنت اشیا، یادگیری ماشین و SDN.

حمیدرضا گودرزی مدرک کارشناسی خود را در رشته ریاضی از دانشگاه شهید باهنر کرمان (سال ۱۳۷۲)، کارشناسی ارشد را در ریاضیات محض گرایش جبر از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (سال ۱۳۷۵) و دکتری خود را در آنالیز احتمالاتی بطور مشترک از

می‌دهد. صرفه‌جویی انرژی در CB-DBA به دلیل عدم وجود مکانیسم ذخیره‌سازی در همه حالات بار ترافیکی صفر درصد می‌باشد. ذخیره‌سازی انرژی در سیستم پیشنهادی EDA-DBA روند کاهش بار شبکه کم به بار شبکه زیاد دارد. هنگامی که بار ترافیک شبکه در حال افزایش است، زمان ذخیره‌سازی یا خاموش کردن فرستنده/گیرنده برای ONUها کاهش می‌یابد، بنابراین صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز کاهش دارد. میزان صرفه‌جویی انرژی از ۱۷ درصد در ترافیک کم به ۳ درصد در بیشترین ترافیک شبکه کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به گسترش روزافزون شبکه‌های دسترسی کامپیوتری و پهن‌بند، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ذخیره‌سازی انرژی از چالش‌های این نوع شبکه‌ها می‌باشد. هرچند شبکه‌های منفعل نوری جزء کم‌مصرف‌ترین شبکه‌های دسترسی هستند، ولی با استفاده از تکنیک‌های رایج می‌توان مصرف انرژی را در این نوع شبکه‌ها کاهش داد. در این نوشتار با استفاده از روش خاموش و روشن کردن فرستنده/گیرنده و با تعیین نقاط اپتیمم جهت مدت زمان خاموشی، علاوه بر دسترسی به ذخیره‌سازی انرژی، کیفیت خدمات شبکه کاهش محسوس نیافته و حداقل‌های کیفیت خدمات تضمین می‌گردد.

روش کاهش گرادیان برای بهینه‌سازی و از نوع الگوریتم‌های تکرار شونده برای یافتن نقاط مینیمال موضعی مربوط به تابع هدف به کار گرفته شده است. اگر در استفاده از این الگوریتم در جهت گرادیان حرکت کنیم به نقاط ماکسیمال موضعی خواهیم رسید و در صورتی که تابع هدف یک تابع مقعر باشد می‌توان از این روش برای دستیابی به نقاط اکسترمال سراسری هم استفاده کرد. در پژوهش‌های آینده می‌توان از روش کاهش گرادیان به عنوان الگوریتم پیش‌بینی تخصیص منابع در شبکه‌های گوناگون استفاده کرد. همچنین ارائه روش‌هایی برای تخصیص هوشمند پهنای باند شبکه در پژوهش‌های آینده مورد نظر است.

مراجع

- [1] Cisco, *Cisco Annual Internet Report (2018-2023)*, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>, Accessed on 22 May 2022.
- [2] E. Gelenbe, *Energy Consumption by ICT and Cybersecurity at the Time of COP26*, 9 Nov. 2012, <https://iotac.eu/energy-consumption-by-ict-and-cybersecurity-at-the-time-of-cop26/>
- [3] S. S. Newaz, M. S. Jang, F. Y. M. Alaeldin, G. M. Lee, and J. K. Choi, "Building an energy-efficient uplink and downlink delay aware TDM-PON system," *Optical Fiber Technology*, vol. 29, pp. 34-52, May 2016.
- [4] T. Thangappan, B. Therese, A. Suvarnamma, and G. S. Swapna, "Review on dynamic bandwidth allocation of GPON and EPON," *J. of Electronic Science and Technology*, vol. 18, no. 4, pp. 297-307, Dec. 2020.
- [5] R. Bonk, et al., "50G-PON: the first ITU-T higher-speed PON system," *IEEE Communications Magazine*, vol. 60, no. 3, pp. 48-54, Mar. 2022.
- [6] I. Dias, L. Ruan, C. Ranaweera, and E. Wong, "From 5G to beyond: passive optical network and multi-access edge computing integration for latency-sensitive applications," *Optical Fiber Technology*, vol. 75, Article ID: 103191, 9 pp., Jan. 2023.
- [7] A. A. Shabaneh and M. L. Melhem, "Execution simulation design of fiber-to-thehome (FTTH) device ingress networks using GPON with FBG based on optisystem," *International J. of Electronics and Telecommunications*, vol. 68, no. 4, pp. 783-791, 2022.
- [8] A. Tomasov, M. Holik, V. Ujezsky, T. Horvath, and P. Munster, "GPON PLOAMd message analysis using supervised neural networks," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 22, Article ID: 10228139, 12 pp., 2020.

علی ایلون کشکولی مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۶۸ از دانشگاه شهید باهنر کرمان دریافت نموده است. در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه شیراز کارشناسی ارشد ریاضی گرایش آنالیز را اخذ کرده و در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه شهید باهنر کرمان موفق به اخذ دکتری با موضوع سیستم‌های دینامیکی گردیده است.

دانشگاه لاول کانادا و صنعتی امیرکبیر (سال ۱۳۸۹) دریافت نموده است. ایشان هم‌اکنون استادیار دانشکده علوم پایه گروه ریاضی دانشگاه یاسوج می‌باشد. علایق تحقیقاتی ایشان موضوعات مرتبط با آنالیز غیرخطی مانند نقاط ثابت، نظریه تقریب و نظریه تعادل می‌باشد. از موضوعات کاربردی مورد علاقه ایشان آنالیز مفهوم صوری است که در نظریه بهینه‌سازی روی کمیت‌های توصیفی کاربردهای فراوانی دارد. همچنین ایشان در مباحث کاربرد بهینه‌سازی در صرفه‌جویی انرژی و هوش مصنوعی (در علوم پزشکی) فعالیت‌هایی را آغاز نموده است.