

## زمان بندی منصفانه برای سرویس های IPTV در شبکه های اترنت غیرفعال نوری

قادر مصطفائی<sup>۱</sup>، کارشناس ارشد؛ محمد بهدادفر<sup>۲</sup>، استادیار؛ محمدرضا نوری فرد<sup>۳</sup>، مربی؛ محسن احمدزاده بلقان علیا<sup>۴</sup>، کارشناس ارشد

۱- دانشکده فنی و مهندسی رسانه - دانشگاه صداوسیما - تهران - ایران - g.mostafaei@gmail.com

۲- دانشکده فنی و مهندسی رسانه - دانشگاه صداوسیما - تهران - ایران - behdadfar@iribu.ac.ir

۳- دانشکده فنی و مهندسی رسانه - دانشگاه صداوسیما - تهران - ایران - noorifard@iribu.ac.ir

۴- دانشکده فنی و مهندسی رسانه - دانشگاه صداوسیما - تهران - ایران - m.ahmadzadehbolghan@gmail.com

**چکیده:** یکی از راهکارهای پیاده سازی سرویس IPTV، استفاده از ساختارهای ساده شبکه غیرفعال نوری است. در این شبکه ها، الگوریتم های زمان بندی بسته، نقش مهمی را در فراهم آوردن سطوح مورد نیاز QoS بازی می کنند. الگوریتم چرخش نوبتی وزن دار، یکی از متداول ترین الگوریتم ها در این زمینه است. در این مقاله، روش وزن دهی جدیدی برای الگوریتم چرخش نوبتی وزن دار معرفی خواهد شد که در آن وزن هر صف، در هر دور به طور پویا تعیین می شود. این کار باعث می شود که اگر در یک صف ترافیک هجومی ورودی وجود داشته باشد، از حذف شدن بیش از حد بسته ها در آن صف جلوگیری شود. نتایج شبیه سازی شده به وسیله شبیه ساز NS-2 نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی، عملکرد بهتری در نرخ از دست دادن بسته نسبت به الگوریتم های قبلی در ترافیک های هجومی ورودی از خود نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** IPTV، شبکه های اترنت غیرفعال نوری، چرخش نوبتی وزن دار، ترافیک هجومی.

## Fair Scheduling for IPTV Services over EPON

Q. Mostafaei<sup>1</sup>, MSc; M. Behdadfar<sup>2</sup>, Assistant Professor; M.R. Noorifard<sup>3</sup>, Lecturer; M. Ahmadzadeh Bolghan Olya<sup>4</sup>, MSc

1- Faculty of Engineering, University of IRIB, Tehran, Iran, Email: g.mostafaei@gmail.com

2- Faculty of Engineering, University of IRIB, Tehran, Iran, Email: behdadfar@iribu.ac.ir

3- Faculty of Engineering, University of IRIB, Tehran, Iran, Email: noorifard@iribu.ac.ir

4- Faculty of Engineering, University of IRIB, Tehran, Iran, Email: m.ahmadzadehbolghan@gmail.com

**Abstract:** One of the solutions for implementing IPTV service is applying the simple structure of Ethernet Passive Optical Networks. In such networks, scheduling algorithms play an important role for providing required levels of Quality of Service. Among them, Weighted Round Robin, is one of the commonly used ones. In this paper, a new weight allocation scheme is proposed in which, the weight of each queue would be allocated dynamically in each round. This strategy, reduces packet loss ratio for bursty traffics entering each queue. Simulation results with NS-2, show that the proposed scheme results in better packet loss ratio for bursty traffic compared to previous methods.

**Keywords:** IPTV, Ethernet passive optical network, WRR, burst traffic.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۳

نام نویسنده مسئول: محمد بهدادفر

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - بزرگراه نیایش - دانشگاه صداوسیما - دانشکده فنی مهندسی رسانه.

## ۱- مقدمه

مدیریت ترافیک ورودی به OLT تأثیر زیادی در بهبود کیفیت سرویس ارائه شده دارد. با توجه به اینکه ازدحام در OLT می‌تواند باعث از دست رفتن بسته شده و از طرفی از دست رفتن بسته مهم‌ترین عامل در کاهش کیفیت ویدئو دریافتی است، بنابراین لازم است مکانیسم‌های زمان‌بندی مناسبی در OLT به کار رود، به طوری که ویدئویی که تعداد درخواست بیش‌تری دارد نرخ تلفات بسته کم‌تری داشته باشد و ویدئویی که تعداد درخواست کم‌تری دارد، یک حداقل کیفیت ویدئویی داشته باشد. از طرفی به دلیل تأثیر نامناسب تأخیر بر کیفیت تجربه کاربر، نمی‌توان حجم بافر OLT را افزایش داد.

در این مقاله روش جدیدی برای تخصیص مناسب وزن به صف‌ها ارائه خواهد شد که علاوه بر در نظر گرفتن تعداد تقاضی‌ها برای جویبارهای ورودی به هر صف، نرخ این جویبارها را نیز در نظر می‌گیرد. در ضمن در روابط مربوط به روش پیشنهادی، تأثیر ترافیک ورودی هجومی نیز در وزن‌دهی به صف‌ها در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر در مواقعی که ترافیک ورودی هجومی در صفی باعث از دست رفتن بیش‌تر بسته‌ها می‌شود، الگوریتم پیشنهادی با گرفتن بازخورد از آن صف، وزن‌دهی مناسبی را بین صف‌ها انجام می‌دهد که این کار توزیع وزن بین صف‌ها را عادلانه می‌کند.

این مقاله به صورت زیر بخش‌بندی می‌شود. بخش دوم به مرور تحقیق‌های پیشین در این زمینه تخصیص یافته است. در بخش سوم روش وزن‌دهی جدیدی برای محاسبه نحوه تخصیص پهنای باند در OLT به صف‌های مختلف ارائه شده است که نقص‌هایی از روش‌های قبلی را برطرف کرده است. بخش چهارم به ارزیابی نتایج روش پیشنهادی در سناریوهای مختلفی خواهد پرداخت. در نهایت بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آینده خواهد بود.

۲- مروری بر کارهای گذشته<sup>۸</sup>

ازدحام در OLT مهم‌ترین عامل از دست دادن بسته‌ها در شبکه EPON است. زمانی که ازدحام در شبکه رخ می‌دهد، OLT شروع به حذف کردن بسته‌ها می‌کند. یک روش برای غلبه بر ازدحام، به کار بردن خاصیت جویبارسازی ویدئو در شبکه است.

در [۸] مفهوم دور انداختن هوشمند بسته‌ها در OLT معرفی شده است. این روش با توجه به این حقیقت که اطلاعات بسته‌های ویدئو دارای اهمیت متفاوت است، عمل می‌کند. هر ویدئو پس از فشرده‌سازی به سه نوع تصویر I، P و B تبدیل می‌شود. تصویر I دارای مهم‌ترین اطلاعات ویدئو است که درگیرنده قابلیت بازیابی ندارد و چندین تصویر دیگر<sup>۱</sup> نیز نسبت به آن کم می‌شود. تصویر از نوع P تا حدودی قابلیت بازیابی دارد و تصاویر کم‌تری نسبت به آن کم می‌شوند، در نتیجه در اولویت دوم قرار دارد و در نهایت تصویر از نوع B به دلیل قابلیت بازیابی بیش‌تر در گیرنده و محتوای کم‌تر، در پایین‌ترین درجه اهمیت قرار دارد. این روش در هنگام ازدحام، بسته‌ها را به ترتیب اهمیت دور می‌اندازد. با این عمل در نرخ از دست دادن بسته یکسان، ویدئو با کیفیت بالاتری به

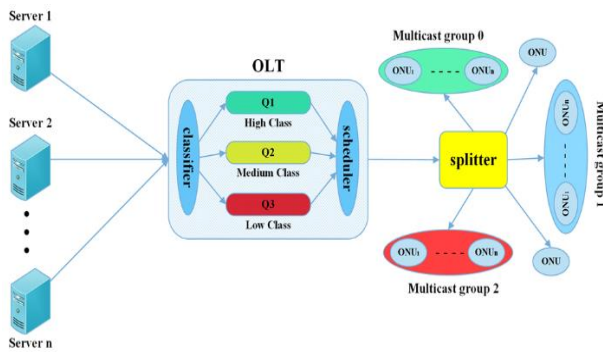
در سال‌های اخیر، ترافیک IP با نرخ بی‌نظیری در حال افزایش بوده است به طوری که از سال ۲۰۱۴ به بعد نرخ رشد ترافیک همه ساله نسبت به سال قبل بیش از ۲۳٪ شده است. بخش عمده‌ای از این ترافیک IP مربوط به ویدئو است، به طوری که در حال حاضر ترافیک ویدئو، حدود ۷۰٪ از ترافیک IP را به خود اختصاص داده است و بر اساس پیش‌بینی‌های شرکت سیسکو در سال ۲۰۲۰ این مقدار به ۸۲٪ خواهد رسید [۱].

۱ IPTV، یک سرویس چندرسانه‌ای است که محتوای تلویزیونی، ویدئو، صدا، متن، گرافیک و داده را در بستر شبکه‌های مبتنی بر IP تحویل می‌دهد و یک سطح معینی از کیفیت سرویس، کیفیت تجربه کاربر، امنیت، قابلیت تعامل و اطمینان را فراهم می‌کند [۲].

هرچند استفاده از IPTV در شبکه‌های مختلف سیمی و بی‌سیم [۳] مطرح شده است، در شبکه‌های دسترسی، شبکه‌های اترنت غیرفعال نوری به دلیل داشتن مقدار پهنای باند زیاد در یک فیبر به‌عنوان یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای سرویس‌دهی به انواع خدمات چندرسانه‌ای مطرح است [۴]. شبکه‌های اترنت غیرفعال نوری، به دلیل برآورده کردن نیازهای دسترسی پهن‌بند سرویس‌های ویدئویی مثل IPTV دارای محبوبیت بیش‌تری است. همچنین، برای تحقق بخشیدن عملیات سرویس‌های IPTV در سیستم EPON، قابلیت استفاده از فناوری چندپخش به سادگی وجود دارد [۵].

شبکه EPON از یک ترمینال خط مرکزی<sup>۴</sup> و تعدادی مقسم تشکیل شده است. OLT برای تحویل بسته‌های پهن‌بند و کاهش هزینه‌های توان مصرفی از طریق توپولوژی نقطه-به-چندنقطه به چندین ONU<sup>۵</sup> متصل می‌شود. به علاوه به دلیل خواص جهت‌داری مقسم، OLT تمام پهنای باند کانال را برای پخش همگانی بسته‌های داده و پیام‌های کنترلی در اختیار دارد. با این وجود در جهت بالادست، تمام ONUها باید کانال انتقال به OLT را به اشتراک بگذارند و برای جلوگیری از برخورد داده‌ها، تنها یک ONU می‌تواند در بازه زمانی خودش ارسال داشته باشد. بنابراین، استاندارد IEEE802.3ah پروتکل MPCP را معرفی کرده است که هر ONU در بازه زمانی مخصوص خودش می‌تواند ارسال داشته باشد و OLT یک جریان پیوسته از بسته‌های بدون برخورد را از هر ONU دریافت می‌کند [۶].

شبکه‌های اترنت غیرفعال نوری دارای چندین توپولوژی مختلف هستند که از میان آن‌ها توپولوژی درختی با مقسم غیرفعال، ساده‌ترین و ارزان‌ترین آن‌ها است (شکل ۱). نحوه کار شبکه EPON در حالت پایین‌دست بدین صورت است که ترافیک ارسالی توسط سرورها ابتدا در ورودی OLT توسط دسته‌بند به چندین دسته مختلف تقسیم می‌شود و پس از آنکه در صف‌های مختلف بر اساس اولویتشان قرار گرفتند، توسط زمان‌بند در لینک خروجی قرار داده شده و به وسیله مقسم به تمام ONUها تحویل داده می‌شود [۷]. این خاصیت، باعث صرفه‌جویی در پهنای باند مصرفی می‌شود.



شکل ۱: معماری EPON برای مکانیسم پیشنهادی در [۱۱]

مشخصه این روش این است که وزن‌دهی هر صف را بر اساس نسبت مجموع درخواست‌های جویبارهای ورودی به تعداد جویبارهای آن صف انجام می‌دهد. برای مشخص شدن نقطه ضعف این روش، فرض کنید دو سناریو وجود دارد که در سناریو اول یک جویبار با تعداد درخواست  $n$  و در سناریو دوم  $k$  جویبار هر کدام با تعداد درخواست  $n$  وارد یک صف می‌شوند. طبق روش ارائه شده در این مقاله، وزن اختصاص داده شده در هر کدام از سناریوها با هم برابر است. از این رو، عبداللہی و همکاران در [۱۲] روشی را ارائه دادند که این مشکل را برطرف می‌کند. الگوریتم FWA ارائه شده در [۱۲] مثل روش قبل ابتدا جویبارهای ورودی به OLT را بر اساس تعداد ONU‌ها به سه صف مطابق ضابطه (۱) دسته‌بندی می‌کند. سپس برای محاسبه پهنای باند تخصیص یافته به هر صف از رابطه (۳) استفاده می‌کند.

$$Bandwidth_i = \alpha \left( \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j} \right) + \beta \left( \frac{W_i \times num_i}{\sum_{j=1}^n W_j \times num_j} \right) \quad (3)$$

$num_i$  تعداد ترافیک‌های ورودی صف  $i$ ،  $W_i$  وزن به دست آمده برای صف  $i$  طبق رابطه (۲) و  $Bandwidth_i$  پهنای باند تخصیص داده شده به صف  $i$  است.  $\beta$  ضریبی برای تعداد فلوهای IPTV و  $\alpha$  ضریبی برای تعداد ONU‌های مورد نظر در هر دسته است که طبق روابط مشخصی محاسبه می‌شوند.

در حالت کلی، مشکل الگوریتم‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند به شرح زیر است:

(۱) این الگوریتم‌ها وزن‌دهی را فقط بر اساس تعداد ONU‌ها و تعداد ترافیک ورودی انجام می‌دهند که این وزن‌دهی برای ترافیک‌های با نرخ ثابت مناسب می‌باشد، چراکه در صورت عدم تغییر تعداد ONU‌های متقاضی، وزن ثابت خواهد ماند. بنابراین اگر ترافیک ورودی هجومی در یکی از صف‌ها وجود داشته باشد، این الگوریتم‌ها باعث می‌شوند که بسته‌های ورودی بعدی به آن صف به دلیل نداشتن ظرفیت بافر، حذف شوند و در نتیجه، درصد از دست رفتن بسته‌ها در آن صف زیاد شده و باعث افت کیفیت سرویس ترافیک‌های موجود در آن صف شوند. برای مثال فرض کنید مطابق شکل ۲ ترافیک هجومی وارد صف اول شود. به دلیل پر بودن ظرفیت بافر صف، تا زمانی که چند بسته از صف اول خارج نشود، تمام بسته‌های ورودی بعدی به آن صف حذف خواهند شد.

کاربر تحویل داده می‌شود. همچنین در این مقاله از روش WRR<sup>۱</sup> برای کاهش نرخ از دست دادن بسته استفاده شده است.

در [۹] از روش FEC<sup>۲</sup> همراه با WRR برای غلبه بر مشکل از دست رفتن بسته در OLT در اثر ازدحام استفاده شده است. در روش FEC از کدگذاری RS<sup>۳</sup> استفاده شده است. در این روش کدگذاری، در هنگام کد کردن ویدئو، مقادیری بسته اضافی همراه بسته‌های ترافیک IPTV تولید می‌شود. این روش کدگذاری باعث می‌شود که در صورت از دست رفتن بسته‌ها در OLT، توسط بسته‌های دریافتی، بسته‌های از دست رفته را دوباره بازتولید کند.

در [۱۰]، معماری جدیدی برای مالتی‌کست کردن ترافیک پخش زنده IPTV در EPON معرفی شده است. در این معماری برای مدیریت ترافیک مالتی‌کست، جدول‌هایی در OLT و هر ONU قرار داده شده است. معماری به کار رفته در [۱۰] از پروتکل ERTSP<sup>۱۵</sup> برای مدیریت درخواست‌های IPTV استفاده می‌کند، به این صورت که در این حالت درخواست کاربر در مسیر بین ONU تا سرور، در هر امان وجود داشته باشد، توسط آن پاسخ داده می‌شود، در غیر این صورت درخواست برای امان بعدی فرستاده می‌شود.

YoungHwan Kwon و همکاران در [۱۱]، روشی را ارائه دادند که در آن از سه صف مطابق ضابطه (۱) برای دسته‌بندی ترافیک ورودی به OLT استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که تعداد بسته‌های مالتی‌کست بستگی به تعداد گیرنده‌ها دارد. همچنین، اگر یک بسته مالتی‌کست مربوط به جویباری از دست برود، تمام بیننده‌هایی که کانال مذکور را می‌بینند، حذف خواهند داشت. فرض کنیم جویباری توسط  $n$  کاربر درخواست داده شود و بسته‌ای از این جویبار در طول مسیر از دست برود، در این صورت تمام بیننده‌هایی که آن جویبار را درخواست داده بودند، حذف خواهند داشت. بنابراین تعداد مؤثر بسته‌های از دست رفته به تعداد بیننده‌ها بستگی دارد. بر این اساس، بسته‌های مالتی‌کست که بیننده‌های بیشتری دارند لازم است بیشتر از بسته‌هایی که تعداد بیننده کم‌تری دارند، محافظت شوند. مکانیسم ارائه شده در [۱۱] بر اساس تعداد بیننده‌های ترافیک مالتی‌کست به صف‌ها مطابق رابطه (۲) وزن می‌دهد به طوری که صف با تعداد بیننده بیشتر، وزن بیشتری نسبت به صف با تعداد بیننده کم‌تر خواهد داشت. دسته‌بندی نیز بر اساس تعداد بیننده‌های جویبارها آن‌ها را به صف‌های مختلفی می‌فرستد (مقادیر در نظر گرفته شده برای  $N_1$  و  $N_2$  به ترتیب برابر ۱۰ و ۲۰ می‌باشد). مکانیسم به کار رفته در این مقاله با استفاده از WRR، پهنای باند بیشتری را به سرویس‌های با تعداد تقاضای بالا می‌دهد. شکل ۱ معماری به کار رفته در [۱۱] برای EPON را نشان می‌دهد.

$$\begin{cases} Q_1 & n_i > N_2 \\ Q_2 & N_1 < n_i < N_2 \\ Q_3 & n_i < N_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$W_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{k_i} \frac{n_{i,j}}{k_i}} \quad (2)$$

این رابطه از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت اول مربوط به تأثیر نرخ ورودی به هر صف، قسمت دوم نیز مربوط به تأثیر تعداد درخواست‌های هر صف و قسمت سوم هم مربوط به تأثیر نرخ از دست رفتن بسته‌ها در هر صف می‌باشد. در این رابطه برای محاسبه درصد پهنای باند تخصیص یافته به هر صف در دور  $k$  از وضعیت هر صف در دور قبلی استفاده می‌شود.  $\alpha$  ضریبی برای نرخ ورودی،  $\beta$  ضریبی برای تعداد درخواست‌ها و  $\gamma$  ضریبی برای نرخ از دست رفتن بسته‌ها می‌باشد. تا زمانی که حذفی در هیچ یک از صف‌ها اتفاق نیافتد این مقدار برابر با صفر خواهد بود. جدول ۱ پارامترهای به کار رفته در این رابطه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: پارامترهای به کار رفته در رابطه (۴)

$BW_{i,k}$	درصد پهنای باند تخصیص یافته به صف $i$ در دور $k$
$R_{i,j,k-1}$	نرخ ورودی جویبار $j$ از صف $i$ در دور $k-1$ برحسب مگابیت بر ثانیه
$W_{i,k-1}$	وزن محاسبه شده برای صف $i$ در دور $k-1$ طبق رابطه (۵)
$m_i$	تعداد جویبارهای موجود در صف $i$
$n$	نشان دهنده تعداد صف‌های موجود در OLT
$\langle PLR_{i,k-1} \rangle$	نرخ میانگین از دست دادن بسته‌های صف $i$ در دور $k-1$
$\langle req_{i,k-1} \rangle$	میانگین تعداد درخواست‌های جویبارهای ورودی صف $i$ در دور $k-1$

$$W_{i,k-1} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m_i} req_{i,j,k-1}}{m_{i,k-1}}} \quad (5)$$

در رابطه (۵)،  $m_{i,k}$  تعداد جویبارهای ورودی به صف  $i$  در دور  $k$  و  $req_{i,j,k}$  نشان دهنده تعداد درخواست‌های جویبار  $j$  از صف  $i$  در دور  $k$  است. ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند. لازم به ذکر است که ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  از روی ضریب  $\gamma$  به دست می‌آیند.

برای محاسبه ضریب  $\alpha$ ، از میزان تغییرات نرخ ورودی به صف‌ها و برای محاسبه ضریب  $\beta$ ، از میزان تغییرات درخواست‌ها در صف‌ها استفاده می‌شود، بدین صورت که میزان تغییرات هر کدام از این ضرایب بالا باشد، سهم بیش تری را برای وزن دهی در اختیار خواهد داشت.

در ابتدا ضرایب  $\alpha_{1,k-1}$  و  $\beta_{1,k-1}$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\alpha_{1,k-1} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^{m_i} R_{i,j,k-1} - \langle R_{k-1} \rangle)^2} \quad (6)$$

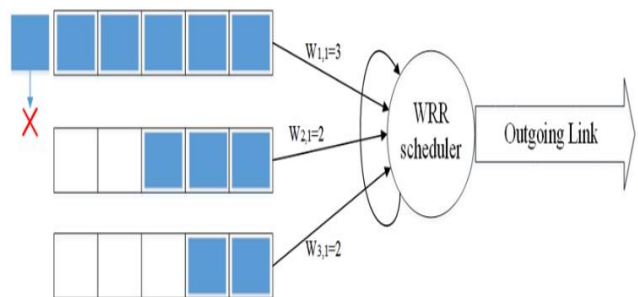
$$\beta_{1,k-1} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^{m_i} req_{i,j,k-1} - \langle req_{k-1} \rangle)^2} \quad (7)$$

که در آن مقادیر  $\langle R_{k-1} \rangle$  و  $\langle req_{k-1} \rangle$  به ترتیب بیانگر میانگین نرخ ورودی به صف‌ها و میانگین تعداد درخواست‌های صف‌ها در دور  $k-1$  هستند و به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\langle R_{k-1} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} R_{i,j,k-1} \quad (8)$$

تمام الگوریتم‌هایی که تا حالا معرفی شده‌اند فقط یک اندازه از ویدئو ( $HD720p$ ) را در نظر گرفته‌اند. این در حالی است که مشترکین بسته به هزینه‌ای که برای دریافت سرویس می‌کنند ممکن است بخواهند ویدئوهای با اندازه بیش تری (مثل  $FHD1080p$ ) دریافت کنند و یا برعکس ممکن است مشترکی به دلیل بالا رفتن هزینه‌اش بخواهد ویدئو با اندازه معمولی ( $SD$ ) را ببیند. به همین دلیل این الگوریتم‌ها باعث کاهش کیفیت ویدئو در صفی می‌شوند که ویدئوهای با اندازه بزرگ تری دارد.

در بخش بعد، روش وزن دهی جدیدی برای بهبود الگوریتم چرخش نوبتی وزن دار معرفی می‌شود که این مشکلات را نیز برطرف خواهد کرد.



شکل ۲: نحوه کار الگوریتم چرخش نوبتی وزن دار

### ۳- روش DFVA

برای غلبه بر مشکلات ذکر شده در قسمت قبل، روش جدیدی برای وزن دهی در الگوریتم زمان بندی چرخش نوبتی وزن دار معرفی می‌شود که علاوه بر در نظر گرفتن تأثیر تعداد درخواست‌ها، تأثیر نرخ ورودی به هر صف را نیز برای وزن دهی در نظر می‌گیرد. ضمناً روش DFVA برای رفع مشکل ترافیک ورودی هجومی نیز راه حلی در نظر گرفته است. برای حل این مشکل، در الگوریتم مورد نظر، در هر دور از صف‌ها بازخورد گرفته می‌شود و بر اساس اطلاعات دریافتی از صف‌ها، وزن دهی پویایی را در هر دور انجام می‌دهد. با این کار اگر در اثر ترافیک ورودی هجومی به صفی، نرخ از دست رفتن بسته‌ها در آن صف به طور ناگهانی بالا رود، الگوریتم مورد نظر، جلوی حذف شدن بیش از حد بسته‌ها در آن صف را می‌گیرد و باعث می‌شود توزیع وزن بین صف‌ها به صورت عادلانه صورت گیرد.

الگوریتم DFVA برای محاسبه درصد پهنای باند تخصیص یافته به هر صف از رابطه (۴) استفاده می‌کند.

$$BW_{i,k} = \alpha_{k-1} \left( \frac{\sum_{j=1}^{m_i} R_{i,j,k-1}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} R_{i,j,k-1}} \right) + \beta_{k-1} \left( \frac{W_{i,k-1}}{\sum_{i=1}^n W_{i,k-1}} \right) + \gamma_{k-1} \left( \frac{\langle PLR_{i,k-1} \rangle \times \langle req_{i,k-1} \rangle}{\sum_{i=1}^n \langle PLR_{i,k-1} \rangle \times \langle req_{i,k-1} \rangle} \right) \quad (4)$$

رابطه (۱۲) به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$(\alpha_{2,k-1} + \beta_{2,k-1})(1 - \gamma_{k-1}) = 1 - \gamma_{k-1} \quad (15)$$

با استفاده از روابط (۱۳) و (۱۵):

$$(\alpha_{2,k-1} + \beta_{2,k-1})(1 - \gamma_{k-1}) = \alpha_{k-1} + \beta_{k-1} \quad (16)$$

سپس، ضرایب  $\alpha_{1,k-1}$  و  $\beta_{k-1}$  به صورت زیر انتخاب می‌شوند:

$$\alpha_{k-1} = (\alpha_{2,k-1})(1 - \gamma_{k-1}) \quad (17)$$

$$\beta_{k-1} = (\beta_{2,k-1})(1 - \gamma_{k-1}) \quad (18)$$

شکل ۳ فلوجارت روش وزن‌دهی DFWA در صورت نداشتن تغییر در تعداد متقاضی‌ها را نشان می‌دهد.

در ادامه برای روشن شدن نحوه کار الگوریتم DFWA در مواقع ترافیک هجومی، مثالی آورده خواهد شد.

مثال: فرض می‌شود سه ترافیک FHD با تعداد درخواست‌های ۲۳، ۱۶ و ۱۲؛ یک ترافیک HD با تعداد متقاضی ۶ و سه ترافیک SD با تعداد درخواست‌های ۵، ۸ و ۹ وارد OLT می‌شوند. لازم به ذکر است که نرخ ترافیک‌های ویدئویی FHD، HD و SD به ترتیب برابر ۲۰، ۱۰ و ۵ مگابیت بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن مقادیر آستانه  $N_1=10$  و  $N_r=20$ ، طبق الگوریتم وزن‌دهی FWA، وزن‌های تخصیص یافته به صف‌ها برابر  $Weight1=3$ ،  $Weight2=3$  و  $Weight3=3$  خواهد بود در حالی که با استفاده از روش DFWA: نرخ ترافیک صف‌های اول تا سوم به ترتیب برابر ۲۰، ۴۰ و ۲۵ مگابیت بر ثانیه و تعداد درخواست‌های صف‌های اول تا سوم به ترتیب برابر ۲۳، ۲۸ و ۲۸ به دست می‌آید.

$$\langle req_{k-1} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} req_{i,j,k-1} \quad (9)$$

سپس مقادیر  $\alpha_{1,k-1}$  و  $\beta_{1,k-1}$  به دست آمده مطابق زیر به صورت در صدی به دست آورده می‌شود.

$$\alpha_{2,k-1} = \frac{\alpha_{1,k-1}}{\alpha_{1,k-1} + \beta_{1,k-1}} \quad (10)$$

$$\beta_{2,k-1} = \frac{\beta_{1,k-1}}{\alpha_{1,k-1} + \beta_{1,k-1}} \quad (11)$$

واضح است که:

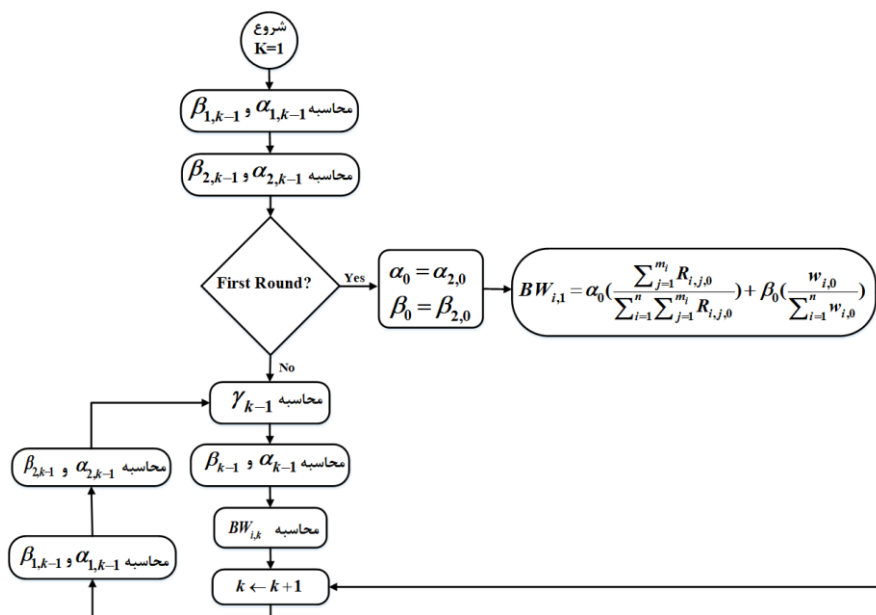
$$\alpha_{2,k-1} + \beta_{2,k-1} = 1 \quad (12)$$

از طرفی به دلیل اینکه مجموع درصد پهنای باند همه صف‌ها برابر ۱ یا همان ۱۰۰٪ است، بنابراین طبق رابطه (۴):

$$\alpha_{k-1} + \beta_{k-1} + \gamma_{k-1} = 1 \quad (13)$$

ضریب  $\gamma$  نشان‌دهنده قسمت پویای الگوریتم DFWA است. برای محاسبه ضریب  $\gamma$  از میزان تلفات کل بسته‌ها با در نظر گرفتن تعداد متقاضی هر بسته استفاده می‌شود. دلیل این انتخاب، این است که ممکن است در اثر ترافیک هجومی ورودی به صفی، نرخ تلفات بسته‌ها به طور ناگهانی بالا رود. در این گونه مواقع، الگوریتم DFWA یک قسمت از وزن‌دهی را متناسب با تلفات بسته‌ها تغییر می‌دهد.  $\gamma_{k-1}$  به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\gamma_{k-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} PLR_{i,j,k-1} \times req_{i,j,k-1}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} req_{i,j,k-1}}} \quad (14)$$



### شکل ۳: فلوجارت روش DFVA

در این قسمت، الگوریتم DFVA از لحاظ پارامتر تأخیر و نرخ از دست دادن بسته بررسی شده است. پارامتر نرخ از دست دادن بسته و تأخیر، از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت ویدئو دریافتی می‌باشند [۱۳].

شکل ۴، نمودار میانگین درصد از دست رفتن بسته‌ها در این سناریو برای روش DFVA و روش FWA را نشان می‌دهد منظور از Load، ترافیک IPTV نرمالیزه شده نسبت به تمام پهنای باند لینک است. همان‌طور که از شکل ۴ پیداست، هرچقدر که بار پس‌زمینه بیشتر می‌شود، الگوریتم DFVA عملکرد بهتری را نسبت به الگوریتم FWA از خود نشان می‌دهد. به طوری که در بار ۰/۹ این بهبود در حدود ۲۸ درصد است. مهم‌ترین عامل افت کیفیت تجربه کاربر در شبکه‌های فیبری، نرخ از دست رفتن بسته است، یعنی هرچقدر نرخ از دست دادن بسته‌ها کم باشد، کیفیت تجربه کاربری نیز افزایش پیدا خواهد کرد. دلیل این بهبود را می‌توان به این شکل بیان کرد: اگر صفی درصد حذف خیلی بیشتر باشد، نسبت به صف‌های دیگر داشته باشد، الگوریتم DFVA، با متعادل کردن وزن‌دهی، جلوی از دست رفتن بیش از اندازه بسته‌ها در آن صف را می‌گیرد.

با استفاده از الگوریتم DFVA وزن‌های اختصاص یافته به صف‌ها به صورت  $Weight_1=3$ ،  $Weight_2=4$ ،  $Weight_3=3$  به دست می‌آید. دلیل اینکه روش DFVA وزن بیش‌تری به صف دوم می‌دهد این است که با استفاده از مقادیر آستانه ۱۰ و ۲۰ برای دسته‌بندی، نرخ ترافیک ورودی به صف دوم بیش‌تر از دو صف دیگر به دست می‌آید. در بخش بعد نتایج شبیه‌سازی الگوریتم DFVA در سناریوهای مختلف آورده خواهد شد و این نتایج با الگوریتم‌های ارائه شده تاکنون، مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

### ۴- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت روش وزن‌دهی DFVA با الگوریتم FWA در دو سناریو مختلف مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از شبیه ساز NS-2 به دست آمده است. ترافیک ورودی به OLT در سه صف مطابق ضابطه (۱) دسته‌بندی می‌شود. همچنین فرض بر این است که بسته‌ها به صورت مکانیسم FIFO<sup>۱</sup> در صف‌ها زمان‌بندی می‌شوند. <sup>۸</sup> توزیع ترافیک در این شبکه همانند مقالات پیشین [۱۰، ۱۱]، به صورت نمایی انتخاب شده است.

### ۴-۱- سناریو اول: بررسی معیارهای کیفیت سرویس

پارامترهای شبیه‌سازی این سناریو در جدول ۲ آورده شده است. ضمناً فرض می‌شود که  $\frac{2}{3}$  از ظرفیت لینک خروجی مربوط به سرویس IPTV و  $\frac{1}{3}$  آن مربوط به سرویس پس‌زمینه است.

جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی

۳۲	تعداد ONUهای متصل به مقسم نوری
۱ Gbps	ظرفیت هر لینک
نمایی با میانگین $1/0.52 \lambda$ ms	توزیع ترافیک IPTV و پس‌زمینه
۵ Mbps	نرخ ترافیک SD
۱۰ Mbps	نرخ ترافیک HD
۲۰ Mbps	نرخ ترافیک FHD
۱۰۰ Kbit	اندازه هر صف
۱۰۵۲۸ bit	اندازه هر بسته
۱ μs	تأخیر انتشار لینک
۱۰۰ ثانیه	مدت زمان شبیه‌سازی

شکل ۴: نمودار میانگین درصد از دست رفتن بسته‌ها در سناریو اول

نمودار میانگین تأخیر بسته‌ها در این سناریو در شکل ۵ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تأخیر به دست آمده با روش DFVA نسبت به تأخیر به دست آمده با روش FWA بیش‌تر است به طوری که بار ۰/۹ این افزایش تأخیر در حدود ۰/۰۱۴ میلی ثانیه است. الگوریتم FWA در حالتی که تعداد گیرنده‌ها ثابت و مشخص باشد، فقط یک بار عمل وزن‌دهی را در ابتدا انجام می‌دهد، یعنی وزن‌دهی در این الگوریتم فقط با پیام‌های وصل و ترک هر ONU تغییر می‌یابد و تازمانی که پیام وصل یا ترک وجود نداشته باشد، وزن‌دهی ثابت است، ولی در روش DFVA این وزن‌دهی در صورت اتفاق افتادن حذف، در هر دور تغییر می‌کند و دلیل این تأخیر نیز می‌تواند مربوط به تغییر وزن‌دهی در هر دور متناسب با تعداد حذف‌ها باشد. در کل، پارامتر تأخیر در شبکه‌های فیبری به دلیل

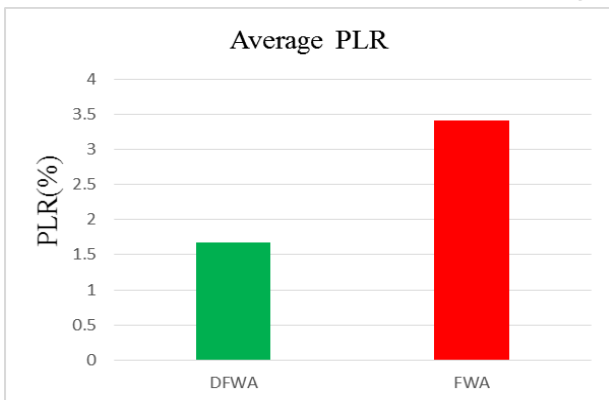
پایه‌سازی این سناریو به شکلی است که درصد تعداد فلوهای IPTV ورودی به صف اول برابر ۳۰ درصد، به صف دوم برابر ۱۳ درصد و به صف سوم برابر ۵۷ درصد است. همچنین، درصد مجموع نرخ‌های ورودی به صف اول برابر ۶۰ درصد، به صف دوم برابر ۱۲ درصد و به صف سوم برابر ۲۸ درصد است.





شکل ۶: ویدئوهای ارسالی در سناریو دوم شبیه‌سازی

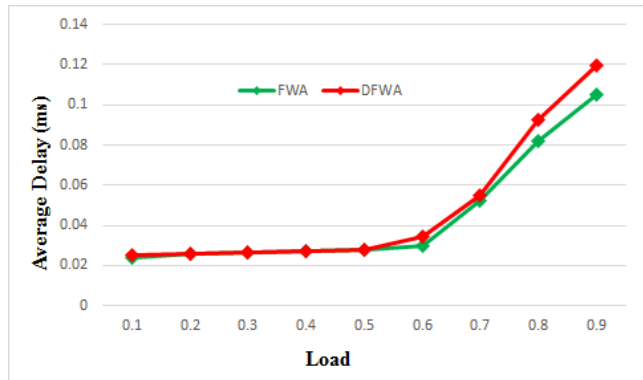
شکل ۷، نمودار میانگین درصد تلفات بسته به دست‌آمده در این سناریو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم DFWA، نرخ از دست رفتن بسته‌ها را نسبت به روش FWA در حدود ۵۰ درصد بهبود می‌دهد. یکی از دلایل این بهبود می‌تواند به این دلیل باشد که در ویدئو واقعی بعضی از مواقع نرخ ویدئو به دلیل عوض شدن صحنه یا تحرک‌های زیاد به‌طور ناگهانی زیاد می‌شود. در این گونه مواقع الگوریتم DFWA با تغییر وزن‌دهی جلوی ازدست‌رفتن بیش‌تر بسته‌ها را می‌گیرد.



شکل ۷: نمودار میانگین درصد تلفات بسته ویدئوها در سناریو دوم

هرچند ارزیابی عینی کیفیت تجربه ممکن است مانند [۱۴] با استفاده از معیار  $PSNR^1$  صورت گیرد، در این مقاله، به دلیل دقت بالاتر از معیار  $SSIM^2$ ، استفاده شده است.  $SSIM$  یک معیار مناسب برای اندازه‌گیری شباهت بین دو تصویر می‌باشد. این ارزیابی به صورت مناسبی با ادراک انسانی همبستگی دارد [۱۵]. به همین دلیل در این قسمت به‌عنوان معیار کیفیت تجربه کاربر مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار میانگین  $SSIM$  به‌دست‌آمده برای ویدئوها در سناریو دوم در شکل ۸ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی میانگین  $SSIM$  را حدود ۱۵ درصد بهبود داده است. بهبود میانگین

بالا بودن سرعت انتقال و پایین بودن مقدار آن، تأثیر زیادی در کیفیت تجربه کاربر نخواهد داشت.



شکل ۵: نمودار میانگین تأخیر بسته‌ها در سناریو اول

#### ۲-۴- سناریو دوم: بررسی معیارهای کیفیت تجربه کاربر

در این سناریو فرض شده است که ۳ سرور ویدئوهای زیر را به همراه ترافیک پس‌زمینه ارسال می‌کنند.

- ویدئو اول ducks\_take\_off نام داشته و با استفاده از کدگذار استاندارد H.264/MPEG-4 AVC و با اندازه فریم‌های  $1920 \times 1080$  پیکسل کد شده است.
- ویدئو دوم parkrun\_ter نام داشته و با استفاده از همان کدگذار و با اندازه فریم‌های  $1280 \times 720$  پیکسل کد شده است.
- ویدئوهای سوم و چهارم به ترتیب crowd\_joy و park\_joy بوده و با استفاده از همان کدگذار و با اندازه فریم‌های  $856 \times 480$  پیکسل کد شده‌اند.

نحوه ارسال ویدئوها توسط سرورها به‌صورت زیر است:

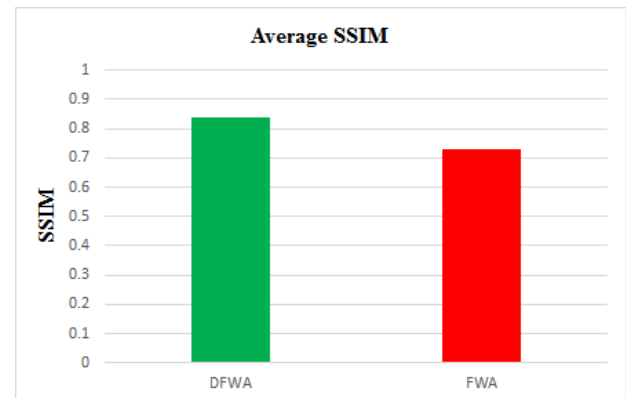
- سرور اول، ویدئو اول به‌علاوه ترافیک پس‌زمینه را ارسال می‌کند.
- سرور دوم، ویدئوهای دوم و چهارم را همراه با ترافیک پس‌زمینه می‌فرستد.
- سرور سوم، ویدئوهای دوم، سوم و چهارم و ترافیک پس‌زمینه را ارسال می‌کند.

شکل ۶ نمونه تصاویری از ویدئوهای کدشده ارسالی در این سناریو را نشان می‌دهد. در این سناریو فرض شده است که تعداد درخواست‌ها برای ویدئوی ducks\_take\_off برابر ۲۱، برای ویدئوی parkrun\_ter از سرور دوم، برابر ۱۳ و از سرور سوم، برابر ۷، برای ویدئوی crowd\_joy، برابر ۹ و برای ویدئوی park\_joy از سرور دوم، برابر ۱۱ و از سرور سوم، برابر ۸ باشد. با توجه به مقادیر  $N_1$  و  $N_2$  که به ترتیب برابر ۱۰ و ۲۰ فرض شده‌اند، ویدئوی ducks\_take\_off در صف اول، ویدئوی parkrun\_ter از سرور دوم در صف دوم و از سرور سوم در صف سوم، ویدئو crowd\_joy در صف سوم، ویدئوی park\_joy از سرور دوم در صف دوم و از سرور سوم در صف سوم و از سرور سوم در صف سوم دسته‌بندی می‌شوند.

الگوریتم ژنتیک». مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵.

- [4] A. T. Liem, I.-S. Hwang, A. Nikoukar, C.-Z. Yang, M. S. Ab-Rahman, and C.-H. Lu, "P2P live-streaming application-aware architecture for QoS enhancement in the EPON," volume. PP, issue. 99, *IEEE Systems Journal*, 2016.
- [5] J. L. Sun and X. L. Dong, "Application of EPON Multicast Technology over IPTV," in *Advanced Materials Research*, vols. 971-973, pp. 1557-1560, 2014.
- [6] A. T. Liem, I.-S. Hwang, and A. Nikoukar, "Peer-to-peer application-aware mechanism for enhancing video streaming in enhanced EPON," in *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2015 International Conference on*, pp. 590-593, Denpasar, Indonesia, 2015.
- [7] G. Keiser, *FTTX concepts and applications* vol. 91: John Wiley & Sons, 2006.
- [8] S. Zare and A. G. Rahbar, "Congestion control in IPTV over PON using Digital Fountain forward error correction," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 37, pp. 240-252, 2014.
- [9] S. Zare and A. G. Rahbar, "An FEC scheme combined with weighted scheduling to reduce multicast packet loss in IPTV over PON," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, issue. 1, pp. 459-468, 2012.
- [10] I.-S. Hwang, A. Nikoukar, K.-C. Chen, A. T. Liem, and C.-H. Lu, "QoS enhancement of live IPTV using an extended real-time streaming protocol in Ethernet passive optical networks," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 6, issue. 8, pp. 695-704, 2014.
- [11] Y. Kwon, J. K. Choi, S. G. Choi, T.-W. Um, and S. G. Jong, "A weighted scheduling mechanism to reduce multicast packet loss in IPTV service over EPON," *ETRI journal*, vol. 31, issue. 4, pp. 469-471, 2009.
- [12] K. Abdollahi and A. G. Rahbar, "A new bandwidth allocation for IPTV services over EPON," in *Telecommunications (IST), 2012 Sixth International Symposium on*, pp. 477-482, Tehran, Iran, 2012.
- [13] H. J. Kim and S. G. Choi, "QoE assessment model for multimedia streaming services using QoS parameters," *Multimedia tools and applications*, vol. 72, pp. 2163-2175, 2014.
- [14] محمد حامدیان، بهروز شاهقلی قهفرخی، ندا مقیم، «یک پروتکل MAC آگاه از کیفیت تجربه کاربر مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11e»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶.
- [15] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE transactions on image processing*, vol. 13, pp. 600-612, 2004.

SSIM در روش پیشنهادی به این دلیل است که این روش با تغییر وزن‌دهی در هر دور باعث مدیریت بهتر بافر در صف‌ها می‌شود.



شکل ۸: نمودار میانگین SSIM ویدئوها در سناریو دوم

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش وزن‌دهی جدیدی برای الگوریتم چرخش نوبتی وزن‌دار معرفی شد که در آن وزن هر صف به‌طور پویا در هر دور تعیین می‌شود. این کار باعث می‌شود که اگر در یک صف ترافیک ورودی هجومی وجود داشته باشد، از حذف شدن بیش از حد بسته‌ها در آن صف جلوگیری شود. برخلاف روش‌های ذکر شده، الگوریتم DFWA هم تأثیر تعداد درخواست‌ها و هم تأثیر نرخ ورودی به هر صف را برای وزن‌دهی در نظر می‌گیرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نرخ تلفات بسته در این روش، به میزان قابل‌قبولی کم شده است. به‌عنوان پیشنهادهایی برای کارهای آینده، می‌توان بررسی روش‌های حذف هوشمند بسته‌ها به همراه روش DFWA در OLT را در نظر گرفت.

## مراجع

- [1] C. VNI, "Forecast and Methodology, 2015-2020, White paper," *CISCO Systems*, 2015.
- [2] ITU-T IPTV-GSI. <http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/index.html>
- [3] گلاره عزیزی، علیرضا عبدالله‌پوری، «تخصیص منابع در شبکه‌های WiMAX مبتنی بر OFDMA برای سیستم‌های IPTV با استفاده از

## زیرنویس‌ها

- <sup>1</sup> Streaming 1
- <sup>1</sup> Weighted Round Robin 2
- <sup>1</sup> Forward Error Correction 3
- <sup>1</sup> Reed Solomon 4
- <sup>1</sup> Extended Real-Time Streaming Protocol 5
- <sup>1</sup> Fine Weight Allocation 6
- <sup>1</sup> Dynamic Fine Weight Allocation 7
- <sup>1</sup> First In First Out 8
- <sup>1</sup> Peak Signal-to-Noise Ratio 9
- <sup>2</sup> Structural Similarity Index Measurement 0

- <sup>1</sup> Internet Protocol Television
- <sup>2</sup> Ethernet Passive Optical Network
- <sup>3</sup> Multicast
- <sup>4</sup> Optical Line Termination
- <sup>5</sup> Splitter
- <sup>6</sup> Point-to-multipoint
- <sup>7</sup> Optical Network Unit
- <sup>8</sup> Upstream
- <sup>9</sup> MultiPoint Control Protocol
- <sup>1</sup> Downstream 0