

A Dynamic Mechanism for Tuning MAC Parameters to Improve Video Transmission in Wireless LANs

Azadeh Pirhayati*, Mohammad Nassiri

¹*-Department of Computer Engineering, Faculty of Dokhtaran-Borujerd, Lorestan Branch, Technical and Vocational University (TVU), Borujerd, Iran.

²-Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

¹*apirhayati@tvu.ac.ir, ²m.nassiri@basu.ac.ir

Corresponding author address: Azadeh Pirhayati, Computer Department, Technical Faculty of Borujerd (Dokhtaran), Lorestan Branch, Technical and Vocational University (TVU), Borujerd, Iran, Post Code : 69166-88494.

Abstract- With the increasing growth of multimedia communications on the Internet, on the one hand, and with the expansion of deployment of wireless networks on the other hand, the quality of video transmission on these networks has become a major challenge. The 802.11e standard proposes a framework to provide the Quality of Service (QoS) in accordance with the type of traffic and which is used by next variants of the standard, namely, 802.11n and 802.11ac. One of the channel access mechanisms in this standard is EDCA, which has predicted four separate queues for different types of traffic. This mechanism defines distinct channel access parameters in each queue. In this paper, a dynamic method is provided for tuning the access parameters in each queue, such as the size of the Contention Window (CW), and Arbitration Inter-Frame Space (AIFS), which calculates their decrease or increase based on the varying network conditions. However, the average collision rate is used to determine the network load conditions. This criterion is calculated with a weighted average of each queue at each station and updated every time the packet is sent. The simulation results in NS2 indicate that the proposed method improves the quality of video transmission from the point of view of multiple criteria, including PSNR, throughput, packet loss rate and the end-to-end delay.

Keywords- Quality of Service (QoS), Video Transmission, Wireless LAN, Multimedia Application, EDCA, IEEE 802.11e.

مکانیسمی پویا برای تنظیم پارامترهای دسترسی به کانال جهت بهبود انتقال

ویدئو در شبکه‌های محلی بی‌سیم

آزاده پیرحیاتی*^۱، محمد نصیری^۲

*۱- دپارتمان کامپیوتر، دانشکده فنی دختران بروجرد، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان لرستان، ایران.

۲- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^{1*}apirhayati@tvu.ac.ir, ²m.nassiri@basu.ac.ir

*نشانی نویسنده مسئول: آزاده پیرحیاتی، بروجرد، خیابان شهید مهران، دانشکده فنی دختران بروجرد، گروه کامپیوتر، کد پستی: ۶۹۱۶۶۸۸۴۹۴

چکیده- با رشد روزافزون ارتباطات چندرسانه‌ای در اینترنت از یک طرف و با گسترش استقرار شبکه‌های بی‌سیم از طرف دیگر، کیفیت انتقال ویدئو بر روی این شبکه‌ها به یک چالش اصلی تبدیل شده است. استاندارد 802.11e چارچوبی برای تأمین کیفیت سرویس متناسب با نوع ترافیک ارائه نموده است که در گونه‌های بعدی این استاندارد نظیر 802.11n و 802.11ac نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مکانیسم‌های دسترسی به کانال در این استاندارد، EDCA است که چهار صف جداگانه برای ترافیک‌های متفاوت پیش‌بینی نموده است. این مکانیسم برای هر صف، پارامترهای دسترسی به کانال مجزایی تعریف نموده است. در این مقاله روشی پویا برای تنظیم پارامترهای دسترسی در هر صف از جمله اندازه پنجره رقابت و فاصله بین فریمی ارائه می‌شود که میزان کاهش یا افزایش آن‌ها را بر اساس شرایط متغیر شبکه محاسبه می‌نماید. ضمناً از نرخ تصادم متوسط برای تعیین شرایط بار شبکه استفاده می‌شود. این معیار با یک میانگین وزنی برای هر صف در هر ایستگاه محاسبه و پس از هر بار ارسال بسته، به‌روزرسانی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی در NS2 نشان می‌دهد که روش پیشنهادی باعث بهبود کیفیت انتقال ویدئو از نقطه‌نظر معیارهای متعدد از جمله کیفیت ویدئو دریافتی، گذر داد، نرخ اتلاف بسته و تأخیر انتها به انتها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت سرویس، انتقال ویدئو، شبکه بی‌سیم، کاربرد چندرسانه‌ای، مکانیسم EDCA، استاندارد IEEE 802.11e.

۱- مقدمه

طریق شبکه‌های بی‌سیم محلی را برای کاربران خود فراهم نموده‌اند [۳].

کاربردهای چندرسانه‌ای، برخلاف کاربردهای سنتی انتقال داده، نیاز به پشتیبانی از کیفیت سرویس^۲ از جمله پهنای باند تضمین شده، تأخیر و لرزش^۳ دارند. فراهم نمودن چنین کیفیت سرویسی در IEEE 802.11 چالش برانگیز است؛ زیرا در این استاندارد لایه فیزیکی و زیرلایه دسترسی به رسانه عموماً برای انتقال داده بهترین- تلاش^۴ (BE) طراحی شده‌اند.

در چند دهه گذشته ویدئو به عنوان یک رسانه مهم در ارتباطات و سرگرمی‌ها استفاده شده است. از دهه‌ی ۱۹۹۰ با عمومی شدن شبکه اینترنت، انگیزه انتقال ویدئو بر روی شبکه ایجاد شد. رشد روزافزون ارتباطات چندرسانه‌ای در اینترنت، انگیزه‌ی تحقیق در مورد نحوه عرضه ویدئو با کیفیت بهتر را ایجاد نمود [۱] و [۲]. از طرفی اغلب سازمان‌ها، شرکت‌ها و مؤسسات با راه‌اندازی نقاط دسترسی^۱ و بر اساس فناوری استاندارد IEEE 802.11 قابلیت اتصال به اینترنت از

باقی‌مانده مقاله به صورت زیر سازماندهی می‌شود: در بخش بعد، استانداردهای 802.11 و 802.11e را به اختصار معرفی می‌کنیم. سپس در بخش ۳ پژوهش‌های مرتبط با موضوع مقاله را بررسی نموده و در بخش ۴ روش پیشنهادی را به تفصیل مطرح می‌کنیم. در بخش ۵ با استفاده از یک بستر شبیه‌سازی ترکیبی، روش پیشنهادی را با سایر روش‌های پیاده‌سازی شده مقایسه نموده و عملکرد آن‌ها را ارزیابی و گزارش می‌کنیم. بالاخره در بخش ۶ نتیجه‌گیری و جهت‌گیری کارهای آینده انجام می‌شود.

۲- استانداردهای شبکه بی‌سیم محلی

در این بخش استاندارد مشهور 802.11 و تبصره 802.11e برای فراهم‌آوری کیفیت سرویس در شبکه‌های بی‌سیم محلی با تأکید بر مکانیسم دسترسی به کانال آن‌ها به‌طور اختصار معرفی می‌شوند.

۱-۲- استاندارد IEEE 802.11

استاندارد IEEE 802.11 و گونه‌های متعدد آن از جمله a, b, g و n دو لایه‌ی زیرین فیزیکی و پیوند داده‌ای را برای ارتباطات بی‌سیم محلی فراهم می‌آورد. مطابق این استاندارد، ارتباطات بین گره‌ها در باند 2.4 گیگاهرتز یا 5 گیگاهرتز انجام می‌شود. کنترل دسترسی در این استاندارد با دو مکانیسم به نام DCF^{۱۱} و PCF^{۱۱} قابل انجام است که پیاده‌سازی مکانیسم اول در تجهیزات سخت افزاری اجباری و دومی اختیاری است [۹] و [۱۰].

استاندارد IEEE 802.11 یک مکانیسم دسترسی توزیع شده مبتنی بر رقابت به نام DCF دارد. این مکانیسم از CSMA/CA^{۱۲} استفاده می‌کند و برای رقابت یک مکانیسم backoff نمایشی به کار می‌برد [۱۰] و [۱۱]. در DCF هر ایستگاه برای ارسال بسته، به کانال گوش می‌دهد، هرگاه کانال بی‌کار شد، یک دوره زمانی به اندازه DIFS^{۱۳} صبر می‌کند، سپس یک شمارنده backoff تصادفی در بازه (0 تا CW-1) انتخاب می‌کند که اندازه پنجره رقابت^{۱۴} یا CW نام دارد. زمانی که ایستگاه‌های دیگر در حال ارسال هستند شمارنده تغییری نمی‌کند. هرگاه رسانه بی‌کار شد، شمارنده مرتباً کاهش می‌یابد. هرگاه شمارنده صفر شد، ایستگاه اجازه دسترسی به رسانه و ارسال دارد. شکل ۱ مکانیسم DCF را نشان می‌دهد.

کانال بی‌سیم یک رسانه همه‌پخشی^۵ است. بنابراین ارسال همزمان بسته‌ها از گره‌های مختلف موجب ایجاد تداخل و از بین رفتن بسته داده می‌شود. از طرف دیگر به علت ویژگی‌های شبکه‌های بی‌سیم از قبیل تأخیر بسته‌ها، نرخ خطای بالا، پهنای باند محدود، سرعت متفاوت ارسال ایستگاه‌ها و وضعیت متغیر کانال، فراهم کردن کیفیت سرویس برای ارسال ویدئو در این شبکه‌ها با چالش‌های بیشتری مواجه می‌شود. به علت کیفیت‌های متفاوت کانال، تحرک گره‌های بی‌سیم باعث ایجاد نوسان پهنای باند می‌شود. حتی اگر ایستگاه بی‌سیم ثابت باشد، ممکن است پهنای باندش به علت تداخل کانال، اختلال نویز و ... نوسان داشته باشد. نوسان پهنای باند اصلی-ترین چالش جریان‌سازی ویدئو بلادرنگ بر روی شبکه‌های بی‌سیم است [۴] و [۵].

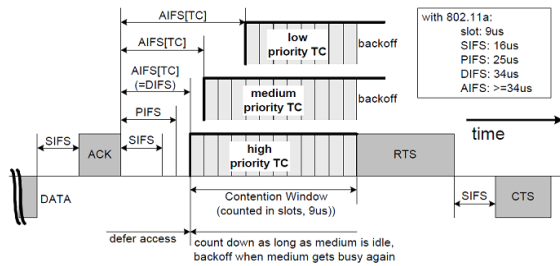
استاندارد IEEE 802.11e برای فراهم آوردن کیفیت سرویس در زیرلایه دسترسی رسانه ارائه شده است. مکانیسم EDCA^۶ یک بستر مناسب برای پشتیبانی از کیفیت سرویس فراهم می‌کند. با این حال برای دستیابی به کارایی بالاتر در شبکه، لازم است پارامترهای این مکانیسم به‌خوبی تنظیم شوند. از آنجا که در این مکانیسم پارامترهای هر گروه دسترسی^۷ (AC) مستقل از شرایط شبکه و به صورت ایستا تنظیم می‌شوند، مکانیسم مذکور به تنهایی نمی‌تواند بیشترین مقدار کیفیت سرویس را برای کاربردهای چندرسانه‌ای فراهم کند [۶]. از طرف دیگر، با وجود ارائه این سرویس، هنوز کیفیت سرویس کاربردهای بلادرنگی مثل انتقال ویدئو و صوت، تضمین نشده است [۳] و [۷]. بنابراین نیاز به ارائه راهکارهایی برای مقابله با شرایط خاص کانال بی‌سیم احساس می‌شود.

استاندارد H.264/AVC برای کدگذاری ویدئو، توسط JVT^۸ توسعه داده شده است که برای کاربردهای اینترنتی و به‌ویژه جریان‌سازی ویدئو بر روی شبکه مناسب است. H.264 قابلیت فشرده‌سازی و کارایی بالایی نسبت به استانداردهای موجود فراهم می‌کند. یکی از ویژگی‌های اصلی این استاندارد، قطعه‌بندی ویدئو و کدگذاری آن در فریم‌هایی با انواع مختلف و با اهمیت‌های متفاوت است [۸].

در این مقاله، با بهره‌گیری از استاندارد IEEE 802.11e و اعمال تغییراتی در مکانیسم EDCA به کمک اطلاعات پویای شبکه، روشی برای تنظیم پارامترهای مختلف هر گروه دسترسی در لایه کنترل دسترسی رسانه^۹ ارائه می‌شود تا کیفیت انتقال ویدئو در شبکه‌های بی‌سیم بهبود یابد. لازم به ذکر است که در این مقاله از استاندارد ویدئویی H.264 برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی استفاده می‌شود.

۲-۲- استاندارد IEEE 802.11e

از آنجا که استاندارد IEEE 802.11 کیفیت سرویس را برای کاربردهای چندرسانه‌ای تضمین نمی‌کند، استاندارد IEEE 802.11e ارائه شده است [۱۲]. این استاندارد از چندین صف اولویت استفاده می‌کند تا دسته‌های ترافیکی^{۱۸} (TC) مختلف را مدیریت و اولویت‌دهی کند. شکل ۲ رابطه فضاهای بین فریمی در استاندارد IEEE 802.11e را نشان می‌دهد.



شکل ۲: رابطه فضاهای بین فریمی در استاندارد IEEE 802.11e [۱۷]

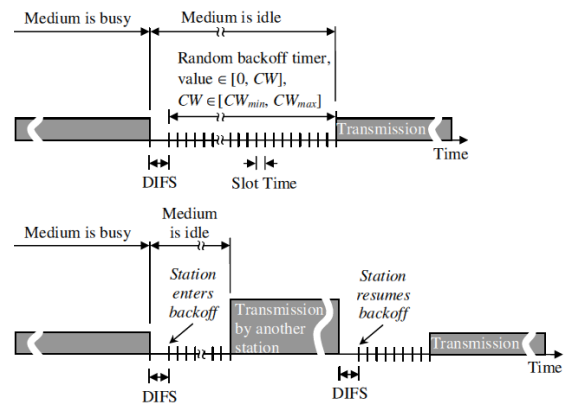
استاندارد IEEE 802.11e یک مکانیسم دسترسی رسانه به نام EDCA دارد. این مکانیسم بر پایه کنترل دسترسی رسانه DCF ساخته شده و بر مبنای رقابت است. کیفیت سرویس در EDCA با دسته‌بندی ترافیک در چهار گروه دسترسی فراهم می‌شود. این گروه‌های دسترسی با اولویت‌های متفاوتی برای به دست آوردن کانال رقابت می‌کنند.

همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، برای هر دسته ترافیکی با توجه به اولویت آن، چهار پارامتر تعریف می‌شود:

AIFS^{۱۹} شبیه به فضای بین فریمی در DCF است؛ یعنی مدت زمانی است که کانال باید قبل از دسترسی رسانه به کانال یا کاهش مقدار backoff مربوط به دسته ترافیکی متناظر، بیکار باشد.

CW_{min} حداقل اندازه CW است که باید برای کلاس‌هایی با اولویت بالاتر مقدار کمتری داشته باشد.

CW_{max} حداکثر اندازه CW است. کلاس‌هایی با اولویت پایین‌تر، مقدار CW بزرگ‌تری دارند، در نتیجه رفت‌وآمدهای دسترسی به رسانه بی‌سیم در آن‌ها کمتر است. با دادن اولویت ترافیکی بالاتر به پنجره‌های رقابت کوچک‌تر، آن‌ها زمان کمتری در حالت backoff می‌گذرانند، در نتیجه رفت‌وآمدهای دسترسی به رسانه بیشتر می‌شود.



شکل ۱: مکانیسم IEEE 802.11 DCF [۱۲]

به‌طور کلی اندازه CW، مقداری بین CW_{min} و CW_{max} است. در اولین ارسال، اندازه CW برابر با مقدار اولیه CW_{min} است. بعد از ارسال موفق هر بسته، اندازه CW به CW_{min} تنظیم می‌شود. وقتی یک ارسال ناموفق رخ می‌دهد، مکانیسم سعی می‌کند از تلاش دو یا چند ایستگاه دیگر برای ارسال بسته‌های هم‌زمان جلوگیری کند، پس اندازه CW را دو برابر می‌کند تا زمانی که به بیشترین مقدار یعنی CW_{max} برسد.

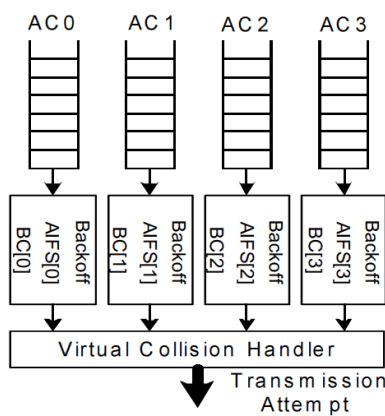
پس از ارسال یک فریم، فرستنده بعد از دوره زمانی کوتاه به طول SIFS^{۱۵} انتظار دریافت یک بسته تصدیق ACK^{۱۶} از مقصد دارد. اگر بسته تصدیق دریافت نشود، فرستنده فرض می‌کند فریم ارسالی تصادم دارد، بنابراین دوباره آن را ارسال می‌کند. هر ایستگاه فقط در شروع هر بازه زمانی اجازه ارسال دارد.

به‌طور کلی در DCF همه ایستگاه‌ها با اولویت‌های یکسان برای منابع و کانال با هم رقابت می‌کنند و فقط از سرویس‌های BE پشتیبانی می‌نمایند. این سرویس‌ها برای پشتیبانی از پهنای باند، تأخیر بسته و لرزش برای ترافیک‌هایی با اولویت بالا یا جریان‌های چندرسانه‌ای، هیچ مکانیسم متمایزی فراهم نمی‌کنند. پارامترهای کنترل دسترسی رسانه مربوطه، شامل SIFS، DIFS، CW_{min} ، CW_{max} و برش زمانی^{۱۷} است که مقدار پیش‌فرض هر کدام در گونه‌های مختلف a، b، g و n در استاندارد IEEE 802.11 متفاوت است [۱۵-۱۲].

این مکانیسم مستقل از نوع ترافیک داده‌ای عمل می‌کند و نمی‌تواند بین انواع مختلفی از جریان‌های چندرسانه‌ای تفاوت قائل شود و اهمیت دریافت بخش‌های متفاوت یک جریان چندرسانه‌ای را در نظر نمی‌گیرد [۱۶].

AC (گروه دسترسی)	AC_VO (صوتی)	AC_VI (ویدیویی)	AC_BE (بهترین-تلاش)	AC_BK (پس-زمینه)
اولویت	۰	۱	۲	۳
AIFS	۲	۲	۳	۷
CW _{min}	۷	۱۵	۳۱	۳۱
CW _{max}	۱۵	۳۱	۱۰۲۳	۱۰۲۳
TXOPlimit	۰/۰۰۳۰۰۸	۰/۰۰۶۰۱	۰	۰

شکل ۳ نیز صف‌های چندگانه استاندارد IEEE 802.11e و مجموعه پارامترهای آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳: چهار گروه دسترسی IEEE 802.11e

۳- مروری بر کارهای مرتبط

تاکنون کارهای زیادی در زمینه فراهم کردن کیفیت سرویس در شبکه‌های بی‌سیم انجام شده است که مکانیسم‌های متعددی در لایه‌های مختلف شبکه از جمله لایه پیوند داده، لایه شبکه، لایه انتقال و لایه کاربرد ارائه نموده‌اند. با این حال در این مقاله تمرکز ما بر روی روش‌هایی است که کیفیت سرویس را در لایه پیوند داده و زیرلایه کنترل دسترسی و براساس استاندارد IEEE 802.11e فراهم نموده‌اند.

استاندارد IEEE 802.11e برای رفع کمبود قابلیت کیفیت سرویس در IEEE 802.11 ارائه شد. بر این اساس مکانیسم EDCA معرفی شد تا جریان‌های ترافیکی را از طریق گروه‌هایی از پارامترهای MAC متمایز نماید. اگرچه EDCA یک پیکربندی پیش فرض برای این پارامترها دارد، ولی ثابت شده که این پیکربندی برای بسیاری از سناریوها بهینه نیست [۲۰]. مثلاً با تمام ترافیک ویدیویی به صورت یکسانی برخورد می‌کند و تمام فریم‌های ویدیویی را به یک

TXOPlimit یا فرصت ارسال، به یک ایستگاه که به رسانه دسترسی دارد، اجازه می‌دهد تا تعدادی از واحدهای داده را بدون رقابت برای دسترسی به رسانه انتقال دهد [۱۷] و [۱۱]. فرصت ارسال برای هر صف ترافیکی بر حسب ثانیه تعریف می‌شود.

هر صف AC شبیه یک ایستگاه مستقل DCF کار می‌کند و دارای پارامترهای رقابتی خودش مثل AIFS و CW_{min} و ... است. برای گروه دسترسی با اولویت i که i تواند مقادیر ۰ تا ۳ را طبق جدول ۱ داشته باشد، پارامترهای اولویت‌دهی صف‌های ترافیکی AIFS[i]، CW_{min}[i] و CW_{max}[i] و TXOPlimit[i] هستند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌کنید، در EDCA ترافیک با اولویت بالاتر، مقادیر AIFS، CW_{min} و CW_{max} کمتری نسبت به ترافیک با اولویت پایین‌تر دارد. بنابراین ترافیک با اولویت بالاتر زودتر وارد دوره رقابت خواهد شد و سریع‌تر از ترافیک با اولویت کمتر به رسانه بی‌سیم دسترسی پیدا می‌کند. برای مثال اگر i اولویت یک گروه دسترسی و j اولویت گروه دسترسی دیگری باشد و i اولویت کمتری از j داشته باشد، رابطه (۱) را داریم [۱۸]:

$$AIFS[i] > AIFS[j] \quad (1)$$

شبیه به ایستگاه DCF، در EDCA نیز هر گروه دسترسی به کانال گوش می‌دهد. هرگاه کانال بیکار شد، بازه زمانی به طول AIFS صبر می‌کند. سپس یک شمارنده تصادفی در بازه (1 تا CW+1) انتخاب می‌کند و شمارش معکوس از آن را شروع می‌کند. هرگاه شمارنده صفر شد، آن گروه دسترسی اجازه دسترسی به رسانه و ارسال دارد. هر اولویت ترافیکی مقدار backoff متفاوتی دارد، هرچه اولویت بالاتر باشد مقدار backoff کمتری دارد. طرح تعیین مقدار backoff برای هر صف ترافیکی، برابر با روش نمایی backoff دودویی DCF است [۱۹]. در EDCA بعد از هر ارسال ناموفق، اندازه CW با استفاده از معادله (۲) افزایش می‌یابد [۱۸].

$$CW_{new}[AC] = 2 * CW_{cur}[AC] + 1 \quad (2)$$

CW_{cur} نیز اندازه جاری پنجره رقابت است. در این مکانیسم بعد از ارسال موفق هر بسته، اندازه پنجره رقابت گروه دسترسی i یعنی CW_{new}[i] با استفاده از معادله (۳) به CW_{min}[i] کاهش می‌یابد.

$$CW_{new}[i] = CW_{min}[i] \quad (3)$$

مشکل اصلی مکانیسم EDCA در شبکه‌های محلی بی‌سیم این است که شرایط کانال بی‌سیم را در نظر نمی‌گیرد و مقدار پارامترهای هر صف در آن ثابت است.

جدول ۱: گروه‌های دسترسی و پارامترهای IEEE 802.11e [۱۲]

در این روش، پس از هر ارسال موفق، اندازه پنجره رقابت بر اساس معادله (۶) به مقداری کمتر از مقدار جاری CW_{cur} کاهش می‌یابد.

$$CW_{new} = CW_{min} + ratio * (CW_{cur} - CW_{min}) \quad (۶)$$

بنابراین مقدار CW_{new} به دست آمده، در واقع بیانگر تأثیر شرایط شبکه در تعیین اندازه backoff برای هر گروه دسترسی است.

روش $CR-AEDCF^{[۲۱]}$ جهت بهبود کارایی $802.11e$ برای اندازه‌های مختلف ترافیک پیشنهاد شده است. در $CR-AEDCF$ نیز شبیه EDCA، اندازه CW بعد از تصادم یا ارسال موفق بسته، تنظیم می‌شود. با این حال برخلاف EDCA، اندازه CW به آرامی کاهش داده می‌شود تا کاهش فوری آن بعد از ارسال موفق بسته منجر به افزایش نرخ تصادم نشود. در این روش سه عامل در تعیین اندازه WC برای یک گروه دسترسی تأثیر داده می‌شوند: اندازه جاری CW ، میانگین نرخ تصادم تخمینی در هر ایستگاه و بالاخره تفاوت اولویت هر گروه دسترسی. بدیهی است که گروه دسترسی با اولویت بالاتر پنجره رقابت کوچک‌تری به دست می‌آورد و در نتیجه زودتر به رسانه دسترسی می‌یابد. نرخ تصادم تخمینی از نسبت تعداد تصادم رخ داده در یک ایستگاه به تعداد کل بسته‌های ارسالی آن ایستگاه در یک بازه زمانی ثابت محاسبه می‌شود و همواره مقداری بین $[0,1]$ دارد. برای هموار کردن مقادیر تخمینی و کاهش تصادم‌های زودگذر از میانگین تخمین‌گر نمایی استفاده می‌شود. میانگین نرخ تصادم تخمینی در مرحله i ام به روزرسانی برابر با F_{avg}^i است و اندازه جدید CW بعد از ارسال موفق بسته از معادله (۷) به دست می‌آید. این مقدار هیچ‌گاه از CW_{min} کمتر نمی‌شود.

$$cw_{new}[i] = \max(cw_{min}[i], cw_{old}[i] * \min((1 + 2i) * F_{avg}^i, 0.8)) \quad (۷)$$

که CW_{old} برابر مقدار قبلی CW و i اولویت یک گروه دسترسی است. نکته دیگر این است که در این روش وقتی تصادم رخ می‌دهد، برخلاف مکانیسم EDCA، اندازه پنجره رقابت دو برابر نمی‌شود. هر گروه دسترسی i از یک فاکتور ماندگاری یا $PF[i]^{[۲۲]}$ برای افزایش پنجره رقابت استفاده می‌کند. ترافیک با اولویت بالاتر، فاکتور ماندگاری کمتری دارد. فاکتور ماندگاری احتمال تصادم را کاهش می‌دهد و در نتیجه تأخیر نیز کاهش می‌یابد. در روش $CR-AEDCF$ اندازه جدید پنجره رقابت بعد از رخداد تصادم از معادله (۸) به دست می‌آید:

$$CW_{new}[i] = \min(CW_{max}[i], CW_{old}[i] * PF[i]) \quad (۸)$$

صف نگاشت می‌کند، در نتیجه در زمان تصادم ترافیک ویدئویی، بافر مربوطه پر می‌شود و محتوی ویدئو از دست می‌رود.

مکانیسم EDCA با معرفی گروه‌های دسترسی چندگانه، بستری مناسب برای ارائه سرویس به انواع ترافیک داده‌ای با اولویت متفاوت ایجاد نموده است. با این حال دو رویکرد کلی برای بهبود عملکرد آن در پژوهش‌های بعدی ارائه شد. رویکرد اول مبتنی بر تنظیم پویای پارامترها برای گروه‌های دسترسی از جمله پارامترهای CW ، AIFS و TXOP است. رویکرد دوم مبتنی بر نگاشت پویای انواع ترافیک به گروه‌های دسترسی است. در این روش، هر بسته داده با توجه به اولویت و نوع محتوی آن و نیز بر اساس شرایط بار هر گروه دسترسی، به صف مناسب نگاشت می‌شود. از طرفی، تابع نگاشت می‌تواند با هدف بهبود کیفیت سرویس، کاهش تأخیر متوسط و یا افزایش گذر داد پیاده‌سازی شود. علاوه بر این، تابع مذکور می‌تواند بر حسب شرایط شبکه فریم‌های ویدئویی را به صف‌های مختلف نگاشت نماید.

آرتیل و همکارانش [۱۲] روش $SR-AEDCF^{[۲۳]}$ را برای بهبود EDCA در شبکه‌های محلی بی‌سیم ارائه کردند که به جای ضریب ثابت هنگام تنظیم CW ، ضریب متغیری بر اساس وضعیت شبکه استفاده می‌کند. روش $SR-AEDCF$ برای کاهش اندازه پنجره رقابت از وضعیت پویای شبکه استفاده می‌کند. با کاهش بهره‌وری کانال، احتمال تصادم و به تبع آن اندازه CW کاهش می‌یابد. بدیهی است که با افزایش احتمال تصادم، اندازه CW افزایش می‌یابد. در این روش از یک طرح بازگشتی غیرمستقیم برای کاهش اندازه پنجره رقابت استفاده می‌شود و سطح تصادم شبکه با استفاده از مقادیر پیشین CW به دست می‌آید. سطح تصادم تخمینی به صورت معادله (۴) تعریف می‌شود:

$$ratio = CF * \left(\frac{CW_{cur} - CW_{min}}{CW_{max} - CW_{min}} \right) \quad (۴)$$

مقدار متغیر $ratio$ بیانگر میزان رقابت در کانال است. هر چند مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد به معنای خالی بودن کانال و هر چه به مقدار $CF^{[۲۴]}$ نزدیک‌تر باشد به معنای رقابت بیشتر در کانال است. مقدار CF یا فاکتور اطمینان از معادله (۵) محاسبه می‌شود. مقدار این تابع به ازای فواصل زمانی کوتاه، حداکثر $0,7$ و برای فواصل زمانی طولانی، حداقل $0,4$ است.

$$CF = 0.3 \exp(-0.001t^2) + 0.4 \quad (۵)$$

که در آن t زمان سپری شده از آخرین ارسال موفق پیشین است.

مجهز به یک کنترلگر منطق فازی است که برای تنظیم پارامترها در محیط‌های پویا استفاده می‌شود.

در [۲۵]، راشوند و میسک، تأثیر تخصیص پارامترهای TXOP و AIFS را با مقادیر مختلف، روی کارایی یک شبکه بی‌سیم تک‌گامه EDCA تحت نوسان‌های بار شبکه بررسی کردند. میزان بار شبکه توسط پارامترهای اندازه فریم، نرخ ورودی هر گروه دسترسی، و تعداد گره‌های فعال در هر گروه دسترسی تغییر داده می‌شود تا اثر پارامترهای بار شبکه بر پایداری شبکه بررسی شود. بر اساس ادعای نویسندگان مقاله مذکور، با تنظیم نرخ ورودی برای هر گروه دسترسی و نیز با تنظیم مقدار TXOP مناسب می‌توان کارایی شبکه را به‌طور چشمگیری بهبود داد. هم‌چنین با بزرگ شدن اندازه فریم‌ها کارایی شبکه برای همه گروه‌های دسترسی افزایش می‌یابد. درحالی‌که میانگین تأخیر دسترسی به فریم با توجه به زمان طولانی‌تر انتقال فریم و نرخ خطای فریم افزایش می‌یابد. بنابراین هنگامی‌که بار شبکه افزایش می‌یابد، مقادیر TXOP، اندازه فریم و خصوصاً تعداد گره‌ها در هر گروه دسترسی، ابزارهای کنترلی مناسبی برای حفظ شبکه در یک وضعیت پایدار هستند.

مک کنزی و همکارانش در [۸] کیفیت انتقال ویدئو را با ارسال تعداد زیادی جریان ویدئویی بر روی شبکه‌های 802.11e بررسی کردند. آن‌ها با مقایسه روش‌های مختلف نگاشت بسته‌های ویدئویی، نشان دادند که در صورت وقوع تصادم، طرح‌های نگاشتی که بر اساس نوع فریم بسته‌های ویدئویی را متمایز می‌کنند، کیفیت ویدئوی بهتری ارائه می‌دهند. به‌طور خلاصه، الگوریتم نگاشت این مقاله به‌صورت زیر است: بسته بدون اولویت به صف BE تخصیص داده می‌شود. هم‌چنین، برای کاهش خطا، فریم‌های I و P و B به ترتیب اولویت به صف‌های AC0 و AC1 و AC2 تخصیص می‌یابند. در [۸]، میزان تأثیر استفاده از ویژگی FMO^{۲۸} نیز بررسی شده است. در صورت غیرفعال‌سازی این قابلیت در H.264، در انتهای هر فریم ممکن است خرابی‌هایی ایجاد شود. در صورت استفاده از ویژگی FMO، تکه‌های گم‌شده فریم از طریق ماکرو بلاک‌های هم-جوار بازسازی می‌شوند تا خطای گم‌شدن آن‌ها از دید کاربر پنهان بماند. درنهایت، طرح پیشنهادی نگاشت، بسته‌ها را بر اساس نوع فریم متمایز می‌کند. علاوه بر این، با افزایش نرخ تصادم، کیفیت ویدئو را به تدریج کم می‌کند تا از کاهش بسیار سریع کیفیت که در طرح‌های دیگر اتفاق می‌افتد، پرهیز کند. این مقاله نیز تأثیر مثبت نگاشت پویای فریم‌ها به افزایش کیفیت ویدئو در این شبکه‌ها را تایید می‌نماید.

روش CR-AEDCF به‌طور متوسط کارایی انواع ترافیک را بهبود می‌بخشد و مکانیسم EDCA مورد استفاده در 802.11e را با تغییر تطبیقی پنجره رقابت اصلاح می‌کند [۱۲].

SSD^{۲۴} [۲۲] اندازه CW را با شیب کندی کاهش می‌دهد. این کاهش با استفاده از ضریب ثابت ۰٫۵ به صورت ایستا انجام می‌شود. اندازه پنجره رقابت در روش SSD بعد از ارسال موفق هر بسته، با استفاده از معادله (۹) کاهش می‌یابد.

$$CW_{new} = 0.5 * (CW_{cur} - CW_{min}) + CW_{min} \quad (9)$$

با این حال استفاده از ضریب ثابت در شرایط مختلف شبکه کارآمد نیست [۱۲].

در [۲۰] یک روش پیش‌بینی پویا برای تنظیم پارامترهای گروه‌های دسترسی جهت افزایش کیفیت انتقال صدا و ویدئو ارائه شده است. این روش پویا، ترکیبی از AIFSN و اندازه CW را برای بهینه‌سازی دسترسی به رسانه برای ایستگاه‌هایی که از EDCA استفاده می‌کنند، با حفظ سازگاری با آنها می‌کند که تنها از DCF پشتیبانی می‌کنند، ارائه می‌دهد. این مدل از چند مدل پیش‌بینی فرعی نظیر مدل طبقه‌بندی درخت تصمیم J48 و مدل رگرسیون M5 ساخته شده است. از آن‌جا که APها تنها دستگاه‌هایی هستند که از این الگوریتم استفاده می‌کنند نیازی به تغییر کارت شبکه موجود در آن‌ها نیست. نتایج، بهبود ارسال‌های صوتی و ویدئویی و بهبود سطح QoS شبکه نسبت به مکانیسم EDCA و افزایش عملکرد ارتباطات چندرسانه‌ای بیش از ۲۰٪ در برخی از سناریوها را نشان می‌دهد. علاوه بر این، این رویکرد منجر به کاهش تعداد تلاش‌های ارسال مجدد می‌شود و موجب افزایش بازده کلی شبکه می‌شود.

همان‌طور که در ابتدای این بخش اشاره شد، برخی روش‌ها (از جمله [۸]، [۲۳] و [۲۴]) از نگاشت پویای بسته‌های داده به گروه‌های دسترسی استفاده می‌کنند. در [۲۴] ون و همکارانش یک روش زمان‌بندی تطبیقی^{۲۵} بین لایه‌های^{۲۶} به نام DFAA^{۲۷} ارائه کرده‌اند که میزان اعوجاج ویدئوی دریافتی در شبکه‌های IEEE 802.11e را کاهش می‌دهد. این روش تأخیر نسبی صف را به صورت تقریبی و بر اساس مکانیسم انتخاب گروه دسترسی محاسبه می‌نماید. سپس، تقریبی از تأخیر واقعی صف ارائه شده است. با قرار دادن هر فریم ویدئو در یک گروه دسترسی با حداقل تأخیر صف‌بندی، تأخیر ارسال هر فریم و اعوجاج کل جریان ویدئویی کاهش می‌یابد. الگوریتم DFAA طول صف‌ها، تأخیر تقریبی هر صف و اولویت فریم ویدئویی را به عنوان ورودی می‌گیرد و با توجه به ترافیک بلادرنگ شبکه بهترین نگاشت را برای فریم‌های ویدئویی فراهم می‌کند. این روش

هستند. بنابراین به ازای هر گروه دسترسی در هر ایستگاه، مقادیر جاری پارامترهای CW و AIFS و نیز مقادیر بیشینه و کمینه هر پارامتر نگهداری می‌شود.

مقدار تخمینی نرخ تصادم در گروه دسترسی i ، به صورت $CR_{cur}[i]$ تعریف می‌شود که از تقسیم تعداد بسته‌های گم شده بر تعداد کل بسته‌های ارسالی آن گروه دسترسی در یک دوره زمانی ثابت که برابر با تعدادی برش زمانی است، به دست می‌آید. از آنجا که همواره تعداد بسته‌های ارسالی از تعداد بسته‌های گم شده بیشتر است، نتیجه همواره عددی در بازه 0 و 1 است. به دلیل نوسانات معمول در کانال بی‌سیم و با هدف کاهش تأثیر تصادم‌های گذرا، از میانگین وزنی در محاسبه نرخ تصادم با فاکتور هموارسازی α استفاده می‌کنیم. مقدار پیشنهادی آلفا پس از انجام آزمایش‌های مختلف شبیه‌سازی 0.8 انتخاب شد. فرمول (10) میانگین نرخ تصادم تخمینی را نشان می‌دهد.

$$CR_{avg}[i] = (1 - \alpha) * CR_{cur}[i] + \alpha * CR_{avg}[i] \quad (10)$$

که در آن $0 < \alpha < 1$ ، $CR_{avg}[i]$ در سمت راست معادله بیانگر مقدار میانگین نرخ تصادم تخمینی در مرحله قبلی گروه دسترسی i و $CR_{avg}[i]$ در سمت چپ معادله مقدار میانگین جدید برای نرخ تصادم است. لازم به ذکر است که روش CR-AEDCF نیز با انجام شبیه‌سازی مقدار 0.8 را برای α در نظر گرفته است [21]. اگر ترافیک کانال زیاد باشد، نرخ تخمینی تصادم بالا و اگر ترافیک کانال کم باشد، نرخ تخمینی تصادم پایین است. شبه‌کد روش پیشنهادی در زیر آمده است. در ادامه چگونگی تنظیم پارامترهای هر گروه دسترسی در روش پیشنهادی شرح داده می‌شود.

Pseudo code I Our Enhanced EDCA Algorithm

```

1: Initialization:
2:   for each AC  $i$ 
3:      $CR[i] \leftarrow 0$ ;
4:      $CW[i] \leftarrow CW_{min}[i]$ ;
5:      $AIFS[i] \leftarrow AIFS_{min}[i]$ ;
6:      $\alpha \leftarrow 0.8$ ;
7:
8: After Successful TX in Access Category  $i$ :
9:    $CR[i] \leftarrow (1-\alpha)*CR_{cur}[i] + \alpha*CR[i]$ ;
10:   $CW[i] \leftarrow CW_{min}[i] + CR[i]*CW[i]$ ;
11:   $AIFS[i] \leftarrow AIFS_{min}[i] + CR[i]*AIFS[i]*(1+\gamma_i)$ ;
12:
13: After Collision in Access Category  $i$ :
14:   $CR[i] \leftarrow (1-\alpha)*CR_{cur}[i] + \alpha*CR[i]$ ;
15:   $CW[i] \leftarrow CW_{min}[i] - CR[i]*CW[i]$ ;
16:   $AIFS[i] \leftarrow (1+CR[i])*AIFS[i]$ ;
    
```

از آنجا که در EDCA پارامترهای هر صف به صورت ثابت تنظیم می‌شوند، با افزایش اندازه شبکه، ممکن است توان عملیاتی شبکه به طور چشمگیری کاهش یابد. توان عملیاتی شبکه درصد زمانی است که شبکه ارسال موفق دارد. چگونگی تنظیم درست پارامترهای backoff برای بهینه نمودن توان عملیاتی شبکه در تجهیزات متفاوت، یک چالش است. در [26]، یک مدل تحلیلی برای حل این مشکل پیشنهاد شده است. توان عملیاتی هر گره بستگی به سایز CW و AIFS اولیه دارد. برای رسیدن به حداکثر توان عملیاتی شبکه، اندازه CW اولیه برای هر AC باید به صورت خطی متناسب با اندازه شبکه افزایش یابد. در این مدل هر گره یک AC مجزا دارد و زمانی که با موفقیت به کانال دسترسی پیدا می‌کند، می‌تواند یک بسته را ارسال کند. زمانی که همه گره‌ها با AP ارتباط برقرار می‌کنند تعداد گره‌های هر AC توسط AP از هدر هر فریم به دست می‌آید. استاندارد 802.11e در حالت اشباع شبکه در یک نقطه پایدار عمل می‌کند. نقطه پایدار، از طریق احتمال ارسال موفق بسته‌های سرخط یا HOL^۹ بر اساس افزایش توان عملیاتی شبکه و گره، زمانی که کانال بیکار است، تعیین می‌شود. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که حداکثر توان عملیاتی شبکه صرفاً در زمان عرضه بسته‌های HOL در زمان ارسال موفق و تصادم تعیین می‌شود. اگرچه حداکثر توان عملیاتی شبکه با نسبت‌های هدف مشخص در توان عملیاتی گره AC ها به دو روش تنظیم CW و تنظیم AIFS می‌تواند بدست آید، اما روش تنظیم CW ترجیح داده می‌شود زیرا نیاز به تنظیم پارامترهای کمتری دارد و دقت بیشتری نسبت به AIFS دارد [26]. روش ارائه شده در این مقاله مبتنی بر رویکرد اول است و مکانیسمی پویا برای تنظیم پارامترهای هر گروه دسترسی ارائه می‌دهد. علاوه بر این، روش پیشنهادی ساختار EDCA و یا پروتکل ارتباطی 802.11 را تغییر نمی‌دهد.

۴- راه‌کار پیشنهادی

در این روش سعی شده با بهره‌گیری از استاندارد 802.11e و با استفاده از اطلاعات وضعیت شبکه روشی پویا برای تنظیم پارامترهای مختلف هر گروه دسترسی ارائه شود تا کیفیت انتقال ویدئوها در شبکه‌های بی‌سیم بهبود یابد. مکانیسم پیشنهادی پارامترها را بر اساس وضعیت شبکه تنظیم می‌کند. به عبارت دقیق‌تر، بعد از هر ارسال موفق یا ناموفق، اندازه پارامترهای CW و AIFS را بر اساس اولویت گروه دسترسی و نیز مقدار بار موجود در شبکه تنظیم می‌کند.

جریان‌های ترافیکی که توسط هر ایستگاه در شبکه ارسال می‌شوند، اغلب متعلق به کلاس‌های مختلف سرویس با اولویت‌های متفاوت

۴-۱- تنظیم CW و AIFS بعد از هر ارسال موفق

بعد از هر ارسال به تعداد کل بسته‌های ارسالی اضافه می‌شود. در صورتی که ارسال فعلی موفق باشد، تعداد ارسال‌های ناموفق تغییر نمی‌کند و در نتیجه نرخ تصادم کوچک‌تر می‌شود. حال آنکه اگر یک ارسال ناموفق باشد، نرخ تصادم را افزایش می‌دهد. بنابراین نرخ تصادم می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از وضعیت شبکه تلقی شود. از همین رو در روش پیشنهادی از آن برای تعیین پارامترهای هر گروه دسترسی استفاده می‌کنیم. در شبهه کد ۱ نرخ تصادم تخمینی پس از هر ارسال به‌روزرسانی می‌گردد (خطوط ۹ و ۱۴ در شبهه کد ۱).

بعد از ارسال موفق هر بسته اندازه پارامتر CW کاهش می‌یابد. الگوریتم پیشنهادی باید CW را به مقداری نزدیک به مقدار قبلی آن تنظیم کند تا احتمال وقوع تصادم و تعداد ارسال‌های مجدد کاهش یابد. وقتی میانگین نرخ تصادم کم است، اندازه پنجره رقابت به مقدار حداقل آن، $CW_{min}[i]$ ، نزدیک می‌شود تا میانگین مقدار backoff و به تبع آن تأخیر کلی کاهش یابد. لازم به ذکر است که با کاهش مقدار backoff، که تابعی از اندازه CW است، زمان انتظار برای دسترسی به کانال نیز کاهش می‌یابد. علاوه بر این، پس از اتمام backoff، گروه دسترسی i قبل از ارسال باید به اندازه $AIFS[i]$ نیز کانال را خالی ببیند. به‌منظور کاهش تأخیر، می‌توان این پارامتر را نیز مناسب با شرایط و به ویژه برای نرخ‌های تصادم پایین، کاهش داد.

برای کاهش پارامترهای CW و AIFS می‌توان از میانگین نرخ تصادم تخمینی برای هر گروه دسترسی استفاده نمود. همان‌گونه که در فرمول (۱۰) مشاهده می‌شود، نرخ تصادم برای هر گروه دسترسی به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. بنابراین پس از هر ارسال موفق مقدار CW از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (خط ۱۰ در شبهه کد ۱):

$$CW_{new}[i] = CW_{min}[i] + CR_{avg}[i] * CW_{cur}[i] \quad (11)$$

در رابطه فوق مقدار پارامتر CW از $CW_{min}[i]$ کمتر نمی‌شود. علاوه بر این، هر چه نرخ تصادم به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، مقدار CW به CW_{min} نزدیک‌تر می‌شود. هر چه نرخ تصادم به عدد یک نزدیک‌تر باشد، اندازه پنجره رقابت بزرگ‌تر می‌شود. به عبارت دیگر روند کاهش اندازه CW پس از هر ارسال موفق با سرعت کمتر و با توجه به وضعیت پویای شبکه انجام می‌شود.

در این روش بعد از تنظیم مقدار CW هر گروه دسترسی، رابطه اولویت بین گروه‌های مختلف همچنان برقرار می‌ماند، زیرا طبق مقادیر جدول ۱ مقدار CW_{min} برای گروه‌های مختلف متفاوت است

و در روش پیشنهادی این مقادیر تغییر نمی‌یابند. پس در رقابت بین گروه‌های دسترسی، غالباً گروه دسترسی با اولویت بالاتر مقدار CW کوچک‌تری به‌دست می‌آورد و زودتر به رسانه دسترسی می‌یابد. در واقع روش تطبیقی برای کاهش اندازه CW، میزان تصادم در طول ارسال بسته و نیز زمان backoff را بر حسب شرایط شبکه کاهش می‌دهد.

مشابه روش فوق، می‌توان اندازه AIFS را نیز با توجه به میزان ترافیک شبکه برای هر گروه دسترسی تنظیم نمود. به این منظور از نرخ تصادم تخمینی در فرمول (۱۰) برای تنظیم AIFS استفاده می‌کنیم. مقدار جدید پارامتر AIFS پس از ارسال موفق هر بسته برای هر گروه دسترسی از فرمول (۱۲) به‌دست می‌آید (خط ۱۱ در شبهه کد ۱):

$$AIFS_{new}[i] = AIFS_{min}[i] + CR_{avg}[i] * AIFS_{cur}[i] * (1 + 2 * i) \quad (12)$$

از آن‌جا که نرخ تصادم مقداری بین ۰ و ۱ دارد و ضریب $(1+2*i)$ در بازه ۱ تا ۷ است، پس مقدار جاری AIFS در عددی بین ۰ تا ۷ ضرب می‌شود. یعنی به‌طورکلی با این فرمول، گروه دسترسی با اولویت بالاتر، AIFS کوچک‌تر و گروه دسترسی با اولویت پایین‌تر، AIFS بزرگ‌تری انتخاب می‌کند. همچنین رابطه بالا تضمین می‌کند که مقادیر AIFS هیچگاه از مقادیر کمینه آن در استاندارد کوچک‌تر نمی‌شوند. به دلیل مشابه در آنچه که در خصوص CW بیان شد، اولویت دسترسی به رسانه بین گروه‌های دسترسی مختلف حفظ می‌شود.

۴-۲- تنظیم CW و AIFS بعد از هر تصادم

بعد از ارسال ناموفق هر بسته، به منظور جلوگیری از افزایش احتمال تصادم، اندازه پنجره رقابت CW و اندازه AIFS افزایش می‌یابد. در این حالت نیز میزان افزایش این پارامترها تابعی از نرخ تصادم است. بنابراین اگر نرخ تصادم پایین باشد، این پارامترها به میزان کمی افزایش داده می‌شوند تا ارسال‌های بعدی با تأخیر بیشتر مواجه نشوند. در صورت بالا بودن نرخ تصادم، اندازه این پارامترها افزایش بیشتری می‌یابد تا در نهایت احتمال رخداد تصادم کمتر گردد. به عبارت دیگر، افزایش این دو پارامتر در هر گروه دسترسی نیز کماکان تابع شرایط بار شبکه است.

معادله (۱۳) مقدار پارامتر CW را برای هر گروه دسترسی پس از هر ارسال ناموفق بسته، در روش پیشنهادی نشان می‌دهد (خط ۱۵ در شبهه کد ۱).

$$CW_{new}[i] = CW_{max}[i] - CR_{avg}[i] * CW_{cur}[i] \quad (13)$$

فریم‌هایی با ترکیب رنگی بالا و حجم زیاد دارد و ویدئوی دوم یعنی flower_cif.yuv فریم‌های تکراری بیشتری دارد و به‌طور کلی حرکت کمتری در این ویدئو وجود دارد. قابلیت FMO در ویدئو غیرفعال شده است تا بتوان تأثیر مستقیم روش پیشنهادی در لایه MAC را بررسی نمود. شایان ذکر است که این قابلیت در سطح لایه کاربردی و در استاندارد H.264 تعریف شده است و برای پنهان‌سازی خطای ویدئو از دید کاربر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اندازه بسته‌های ارسالی روی شبکه حداکثر ۱۰۲۴ بایت است. گر-های بی‌سیم در فضایی به ابعاد ۶۷۰*۶۷۰ قرار داده شده‌اند. مقدار پارامتر α نیز ۰.۸ در نظر گرفته شده است. پارامترهای شبیه‌سازی مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی

مقدار	نام پارامتر
۲۰	تعدادگره‌های بی‌سیم
۲	تعداد دنباله ویدئویی
۳۰ فریم در ثانیه	نرخ ویدئویی
۱۰۲۴ بایت	اندازه بسته‌ها
۶۷۰*۶۷۰	فضای استقرار گر-ها
802.11b	پارامترهای لایه فیزیکی و کنترل دسترسی
۲ مگابیت در ثانیه	نرخ ارسال
۰.۸	پارامتر α

در جدول ۳ تعداد فریم‌ها تشکیل دهنده هر ویدئو و نیز تعداد بسته‌هایی که برای انتقال هر ویدئو بر روی شبکه استفاده می‌شوند را نشان می‌دهد.

جدول ۳: تعداد فریم‌ها و بسته‌های هر ویدئو

تعداد بسته	تعداد فریم	
۷۸۵	۱۵۰	ویدئوی bus
۱۷۲۸	۲۵۰	ویدئوی flower

زمان شروع به ارسال هر یک از ویدئوها به صورت تصادفی و عددی بین ۰ تا ۱۰ است. در شرایط تصادم میزان ترافیک ارسالی گر-ها به گونه‌ای است که پهنای باند پر می‌شود و نرخ ارسال ۲ مگابیت در ثانیه در نظر گرفته شده است. در سناریوی موردنظر شبکه تصادم دارد و ۲ گر، ترافیک ویدئویی با اولویت بالا و ۳ گر ترافیک نرخ بیت ثابت CBR^{31} با اولویت‌های پایین یعنی ترافیک‌های BE و BK روی شبکه ارسال می‌کنند. در شکل ۴ این سناریو نمایش داده شده است.

معادله بالا نیز تضمین می‌کند که پس از رخداد تصادم، مقادیر جدید CW همواره کوچک‌تر یا مساوی CW_{max} است.

پس از ارسال ناموفق، علاوه بر اندازه پنجره رقابت، می‌توان مقدار AIFS را نیز بر اساس میزان نرخ تصادم به‌روزرسانی نمود. برای افزایش پارامتر AIFS بعد از هر ارسال ناموفق بسته در روش پیشنهادی، معادله (۱۴) ارائه می‌شود (خط ۱۶ در شبه‌کد ۱).

$$AIFS_{new}[i] = (1 + CR_{avg}[i]) * AIFS_{cur}[i] \quad (14)$$

از آن‌جا که مقدار جاری پارامتر AIFS برای اولویت‌های بالا کمتر از اولویت‌های پایین است، فرمول همواره برای اولویت‌های بالاتر مقدار کوچک‌تری تولید می‌کند و برعکس، در نتیجه اولویت دسترسی به رسانه بین گروه‌های دسترسی حفظ می‌شود.

۵- شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

برای بررسی کارایی مکانیسم پیشنهادی از شبیه‌ساز شبکه NS2 [۲۷] نسخه ۳۴ و ابزار Evalvid [۲۸] نسخه ۲،۷ استفاده شده و برای کدگذاری و کدگشایی فایل‌های ویدئویی خام، از ابزار JM³² نسخه ۱۸،۰ استفاده شده است [۲۹].

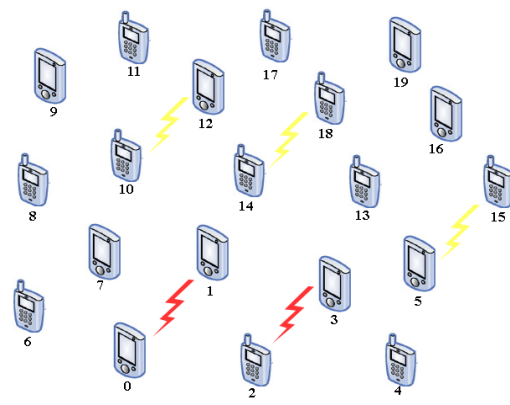
برای مقایسه کیفیت ویدئو، از ویدئوهای واقعی استفاده می‌شود که این ویدئوها باید به فرمت ورودی مناسب برای سناریوی شبیه‌ساز NS2 تبدیل شوند. بنابراین ابتدا ویدئوی خام توسط ابزار JM کدگذاری شده و سپس از چارچوب Evalvid برای انتقال و ارزیابی ویدئو بر روی شبکه استفاده می‌شود. این ابزار به صورت یک ماژول نرم‌افزاری در کنار NS2 قرار می‌گیرد و امکان ارسال بسته‌های ویدئویی را بر روی شبکه شبیه‌سازی فراهم می‌نماید. این چارچوب به همراه مجموعه ابزار همراه آن، برای ارزیابی ویدئوهای واقعی که بر روی شبکه‌های واقعی یا شبیه‌سازی شده انتقال داده شده‌اند، به کار می‌رود و در آن به راحتی می‌توان شبکه مورد آزمایش یا ساختار ویدئو را تغییر داد [۲] و [۳۰].

جهت بررسی سیستم پیشنهادی و ارزیابی کارایی آن، ۴ الگوریتم از بخش ۳ را پیاده‌سازی نموده و ۵ روش را در شرایط یکسان اجرا کرده‌ایم.

۵-۱- سناریو شبیه‌سازی و پارامترهای آن

در این سناریو تعداد ۲۰ گر بی‌سیم در نظر گرفته شده است. دو ویدئو به نام‌های bus_cif.yuv و flower_cif.yuv بعد از کدگذاری ویدئو در شبکه بی‌سیم ارسال می‌شوند. نرخ ویدئویی هر دو دنباله ویدئویی ۳۰ فریم در ثانیه است. ویدئوی اول یعنی bus_cif.yuv

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت سیگنال به نویز فریم‌های دریافتی در الگوریتم پیشنهادی نسبت به بقیه الگوریتم‌ها در اکثر فریم‌ها بیشتر و در برخی از فریم‌ها برابر بقیه الگوریتم‌ها است. شکل ۵ و ۶ نشان می‌دهند که در فریم‌های ۶۱، ۹۱ و ۱۲۱ هر دو ویدئو و فریم‌های ۱۵۱، ۱۸۱ و ۲۱۱ از ویدئوی flower، مقدار PSNR به شدت افزایش یافته است. دلیل این افزایش ناگهانی این است که این فریم‌ها اندازه‌ی بزرگ و چند برابر بقیه فریم‌ها دارند و تعداد بسته‌های پروتکل دیتاگرام کاربر^{۳۴} (UDP) در این فریم‌ها نیز چند برابر بقیه فریم‌ها است. از آن‌جا که معیار PSNR برابر با حداکثر درجه روشنایی سیگنال، تقسیم بر اختلاف فریم دریافتی و فریم مرجع است. هرچه اندازه فریم بزرگ‌تر باشد، اختلاف فریم دریافتی و فریم مرجع، کمتر خود را نشان می‌دهد. با کم شدن اختلاف فریم‌ها و کوچک‌تر شدن مخرج تقسیم در معیار PSNR، این مقدار افزایش می‌یابد و به همین دلیل در شماره فریم‌های مربوطه مقدار PSNR به شدت افزایش یافته است.



شکل ۴: سناریو استفاده شده در شبیه‌سازی

۵-۲-۱ ارزیابی الگوریتم‌ها

به منظور بررسی کارایی الگوریتم‌های موجود، سناریوی تشریح شده برای هر الگوریتم ۱۰ بار اجرا و نتایج میانگین گزارش شده است. در هر بار اجرا، زمان شروع به ارسال هر یک از ویدئوها و نیز بازه زمانی ارسال بسته‌های CBR تغییر می‌کند. برای ارزیابی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده در این مقاله، از معیارهای زیر استفاده شده است.

۵-۲-۱-۱ پیشینه نسبت سیگنال به نویز PSNR^{۳۳}

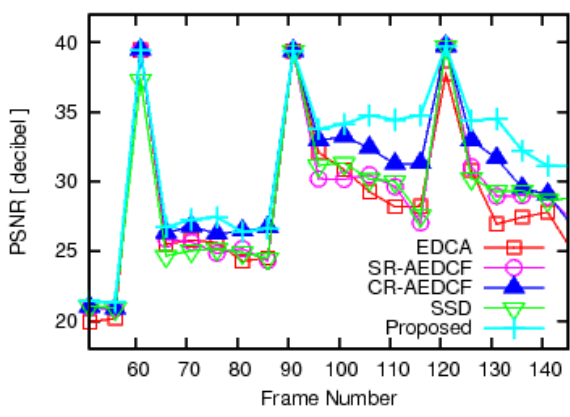
اولین معیاری که در ارزیابی کیفیت ویدئوی دریافتی در سمت گیرنده مورد استفاده قرار می‌گیرد، پیشینه نسبت سیگنال به نویز است. این معیار برای سنجش کیفیت یک فریم در گیرنده نسبت به فرستنده به کار می‌رود. در واقع PSNR خطای بین یک تصویر بازسازی شده و تصویر اصلی آن‌را اندازه‌گیری می‌کند. معادله (۱۵) تعریف PSNR بین مؤلفه روشنایی Y از تصویر منبع S و تصویر مقصد D را نشان می‌دهد.

$$PSNR(n)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{peak}}{\sqrt{\frac{1}{N_{col} N_{row}} \sum_{i=0}^{N_{col}} \sum_{j=0}^{N_{row}} [Y_S(n,i,j) - Y_D(n,i,j)]^2}} \right),$$

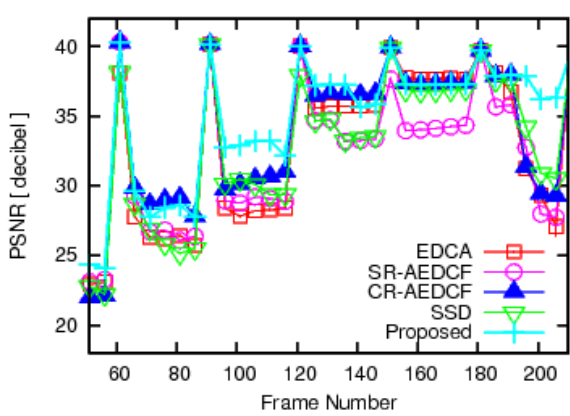
$$V_{peak} = 2^k - 1 \quad (15)$$

که در این معادله k برابر با تعداد بیت‌های هر پیکسل است [۲]. مخرج کسر در فرمول بالا تفاوت تصویر نهایی دریافتی با تصویر مرجع یا MSE^{۳۳} است و صورت کسر V_{peak} بیشترین مقدار ممکن برای سیگنال تصویر است [۳۰].

نمودار PSNR مربوط به تفاوت دو ویدئوی کدگذاری شده در منبع و ویدئوهای دریافتی متناظر در مقصد، برای الگوریتم در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. هرچه PSNR بیشتر باشد، نشان دهنده کیفیت بهتر ویدئوی دریافتی است.



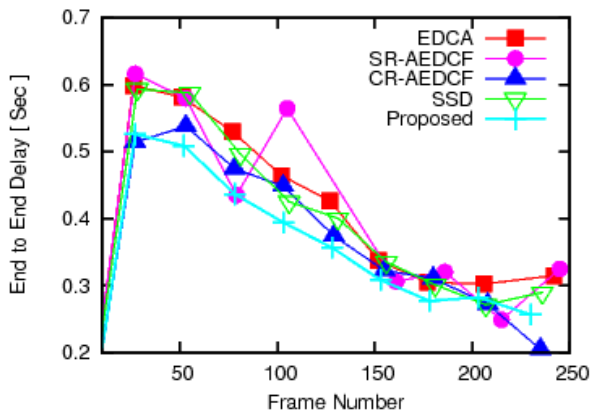
شکل ۵: psnr ویدئوی دریافتی bus در الگوریتم



شکل ۶: psnr ویدئوی دریافتی flower در الگوریتم

۵-۲-۲ درصد کلی فریم‌های از دست رفته^{۳۵}

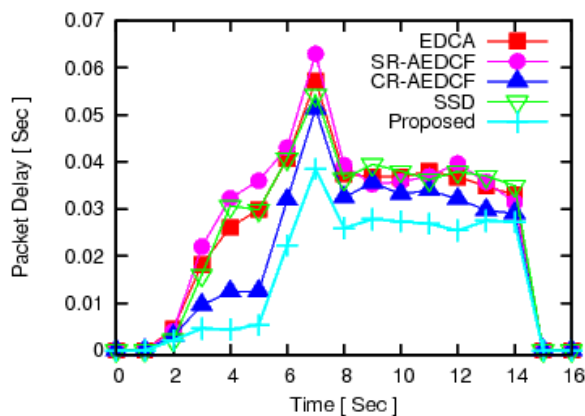
معیار دیگری که برای ارزیابی این الگوریتم استفاده شده، درصد کلی فریم‌های از دست رفته دو ویدئو است که در جدول ۴ نشان



شکل ۵: تأخیر انتها به انتهای فریم‌های دریافتی ویدئوی flower در ۵ الگوریتم

همان‌طور که شکل‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهند، تأخیر انتها به انتهای فریم‌های هر دو ویدئوی bus و flower در الگوریتم پیشنهادی در فریم‌های اولیه برابر با بقیه الگوریتم‌ها است و تقریباً از فریم شماره ۳۰ به بعد نسبت به بقیه کاهش می‌یابد. این نکته مؤید آن است که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر، اولویت بیشتری را به ترافیک ویدئویی تخصیص می‌دهد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ و ۱۱ نیز میزان تأخیر انتها به انتهای بسته‌های دریافتی را بر اساس زمان رسیدن آن‌ها برای ۳ نوع ترافیک ویدئو، BE و BK نشان می‌دهند. بررسی این نمودارها در کنار همدیگر نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای کاهش تأخیر ترافیک ویدئویی، میزان تأخیر در ترافیک‌های کم اولویت را نسبت به سایر روش‌ها اندکی بیشتر افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، هزینه اندک این روش همان افزایش قابل اغماض تأخیر در ترافیک‌های BE و BK است.



شکل ۹: تأخیر انتها به انتهای بسته‌های دریافتی بر اساس زمان رسیدن آن‌ها در ترافیک ویدئو برای ۵ الگوریتم

داده شده است. یعنی به‌طور کلی هر ویدئو پس از دریافت، چند درصد از فریم‌هایش را از دست داده است.

همان‌طور که جدول نشان می‌دهد، درصد فریم‌های از دست‌رفته برای هر دو ویدئو در الگوریتم پیشنهادی نسبت به بقیه الگوریتم‌ها کمتر است.

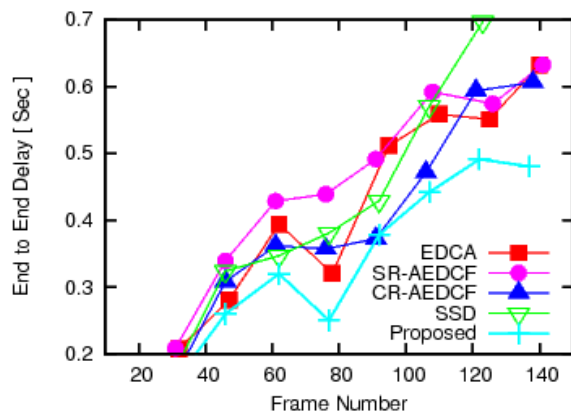
جدول ۴: درصد کلی فریم‌های از دست‌رفته دو ویدئو در ۵ الگوریتم

الگوریتم	ویدئوی اول bus	ویدئوی دوم flower
EDCA	5.9%	4.2%
SR-AEDCF	5.7%	5.4%
CR-AEDCF	5%	3.2%
SSD	6%	3.8%
Proposed	3.8%	1.5%

در این الگوریتم ویدئوی bus کمتر از ۰.۴٪ و ویدئوی flower کمتر از ۰.۲٪ از فریم‌هایش را از دست داده است. بیشترین درصد فریم‌های از دست‌رفته ویدئوی bus مربوط به الگوریتم‌های EDCA و SSD است و بیشترین درصد فریم‌های از دست‌رفته ویدئوی flower مربوط به الگوریتم SR-AEDCF است.

۳-۲-۵- تأخیر انتها به انتهای فریم‌های ویدئویی دریافتی

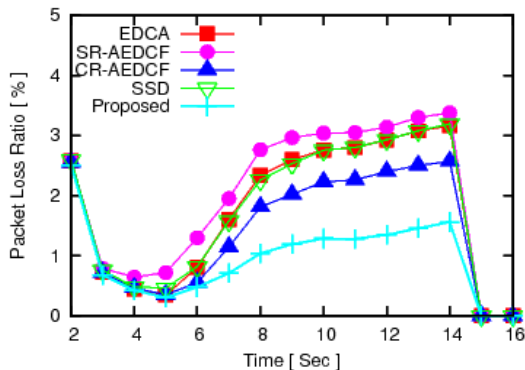
معیار دیگری که برای ارزیابی این الگوریتم‌ها به کار رفته، تأخیر انتها به انتهای فریم‌های ویدئویی دریافتی است که در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. تأخیر انتها به انتهای مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک بسته یا یک فریم به گیرنده برسد.



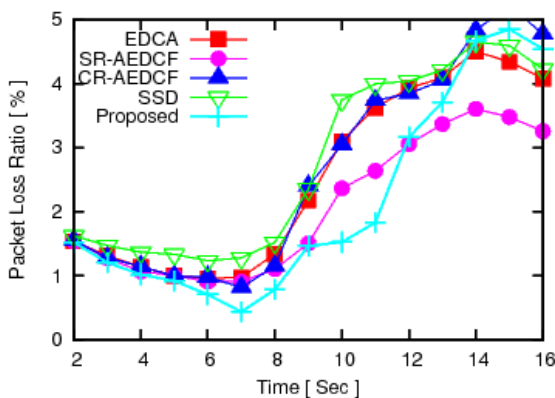
شکل ۷: تأخیر انتها به انتهای فریم‌های دریافتی ویدئوی bus در ۵ الگوریتم

۴-۲-۵- درصد گم‌شدن بسته‌ها بر حسب زمان

معیار دیگر ارزیابی این ۵ الگوریتم، درصد بسته‌های از دست رفته بر حسب زمان است که در شکل ۱۲ و ۱۳ برای ۲ نوع ترافیک ویدئو و BK نشان داده شده است.



شکل ۱۲: درصد گم‌شدن بسته‌های ترافیک ویدئو برای ۵ الگوریتم

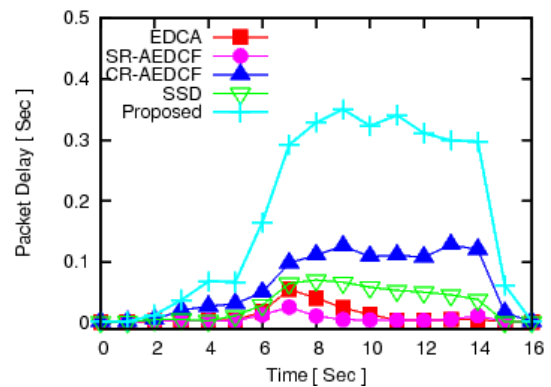


شکل ۱۳: درصد گم‌شدن بسته‌های ترافیک BK برای ۵ الگوریتم

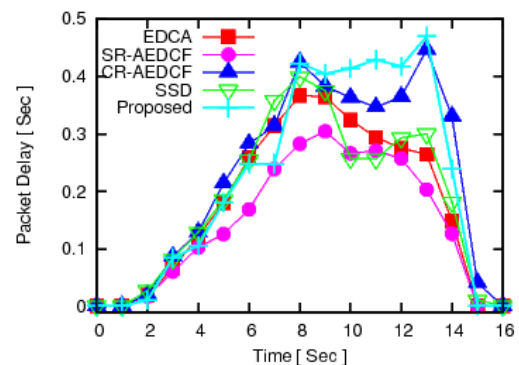
همان‌طور که شکل ۱۲ نشان می‌دهد نرخ بسته‌های از دست‌رفته ترافیک ویدئو تا ۳ ثانیه بعد از شبیه‌سازی در همه روش‌ها مشابه است و کاهش می‌یابد و پس از ثانیه ۳ این نرخ در الگوریتم پیشنهادی حدود ۱٪ است و از بقیه کمتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از ثانیه ۵ به بعد درصد گم‌شدن بسته‌های ویدئویی زیاد می‌شود و در ثانیه ۱۵ چون ارسال ویدئوها تمام می‌شود، این درصد به صفر می‌رسد. در ترافیک BK شکل ۱۳ نیز روش پیشنهادی تا ثانیه ۱۲ کمترین درصد گم‌شدن بسته‌ها را نشان می‌دهد و پس از آن اندکی افزایش می‌یابد. ولی اولویت در این تحقیق، ترافیک ویدئو است، بنابراین از این افزایش صرف‌نظر می‌شود. پس روش پیشنهادی کمترین درصد گم‌شدن بسته‌های ترافیک ویدئویی را دارد.

۴-۲-۵- گذرداد^{۳۶}

معیار دیگر، گذرداد است که در شکل ۱۴ برای ترافیک ویدئو نشان داده شده است. گذرداد، حجم داده رسیده در واحد زمان است.



شکل ۱۰: تأخیر آنها به انتهای بسته‌های دریافتی براساس زمان رسیدن آنها در ترافیک BE برای ۵ الگوریتم



شکل ۱۱: تأخیر آنها به انتهای بسته‌های دریافتی براساس زمان رسیدن آنها در ترافیک BK برای ۵ الگوریتم

همان‌طور که شکل ۹ نشان می‌دهد تأخیر رسیدن بسته در الگوریتم پیشنهادی برای ترافیک ویدئو از همه کمتر است. دلیل کاهش تأخیر برای ترافیک ویدئو این است که پارامترهای زمان دسترسی به کانال برای گروه دسترسی ویدئو در روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها کاهش بیشتری داشته‌اند. البته عکس این نکته در خصوص ترافیک BE صادق است و همان‌گونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، تأخیر روش پیشنهادی از بقیه بیشتر است. به عبارت دیگر، روش پیشنهادی در شرایط یکسان اولویت بیشتری را به ترافیک ویدئو می‌دهد که البته باعث می‌شود که بسته‌های ترافیکی BE در رقابت برای دستیابی به کانال مدت زمان بیشتری را سپری کنند. در شکل ۱۱ نیز مشاهده می‌شود که تأخیر روش پیشنهادی برای ترافیک BK تقریباً مشابه بقیه روش‌ها و اندکی بیشتر است. کمترین میزان تأخیر رسیدن بسته در ۲ ترافیک BE و BK مربوط به روش SR-AEDCF است و بقیه روش‌ها تفاوت اندکی دارند که قابل چشم‌پوشی است.

پس در روش پیشنهادی تأخیر رسیدن بسته‌های ترافیک ویدئو کاهش یافته یعنی بسته‌های ویدئویی سریع‌تر به مقصد رسیده‌اند که این بهبود، اهمیت بیشتری نسبت به ترافیک‌های دیگر (BE و BK) دارد، زیرا ترافیک ویدئویی در این تحقیق اولویت بیشتری دارد.

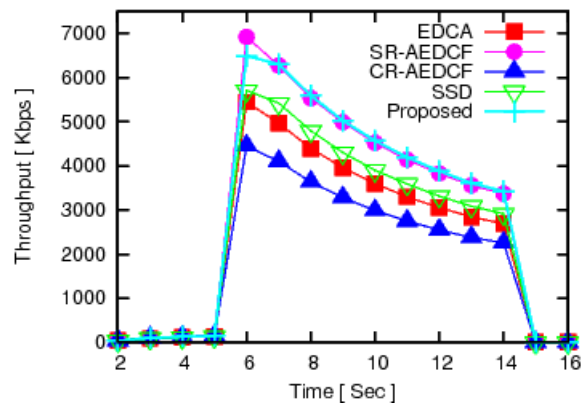
همان‌طور که شکل ۱۴ نشان می‌دهد ویدئوها از ثانیه ۵ تا ۱۵ ارسال می‌شوند. گذرداد ترافیک ویدئو از ثانیه ۵ تا ثانیه ۶ در حال افزایش است یعنی در این زمان یک ویدئو در حال ارسال است ولی با اضافه شدن ویدئوی دوم و افزایش تصادم شبکه، گذرداد ترافیک ویدئو کم می‌شود. در همه حالت‌ها گذرداد ویدئو در الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم SR-AEDCF مشابه و از بقیه روش‌ها بیشتر است و کمترین گذرداد مربوط به روش CR-AEDCF است.

با اینکه روش پیشنهادی در معیارهای مهم دیگر نظیر PSNR در قسمت‌های زیادی بهتر از بقیه روش‌ها رفتار می‌کند، ولی گذرداد آن نیز از بقیه بیشتر و مشابه با بهترین حالت رفتار می‌کند.

شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت نظیر 802.11ac ارائه دهیم و با پیاده‌سازی آن‌ها در محیط واقعی، عملکرد دقیق آن‌ها را بررسی و ارزیابی کنیم. در یک روش میان‌لایه‌ای می‌توان در لایه کنترل دسترسی، از تنظیم پارامترهای EDCA و نیز نگاشت پویای فریم‌های ویدئویی به هر صف و در لایه کاربرد می‌توان از تکنیک‌های پنهان‌سازی خطا به صورت توأمان بهره برد. متغیرهای دیگری از جمله تعداد بسته‌های موجود در هر صف را نیز می‌توان به عنوان عاملی برای تنظیم پارامترهای هر صف و یا نحوه نگاشت بسته‌ها به هر صف استفاده نمود.

همان‌طور که شکل ۱۴ نشان می‌دهد ویدئوها از ثانیه ۵ تا ۱۵ ارسال می‌شوند. گذرداد ترافیک ویدئو از ثانیه ۵ تا ثانیه ۶ در حال افزایش است یعنی در این زمان یک ویدئو در حال ارسال است ولی با اضافه شدن ویدئوی دوم و افزایش تصادم شبکه، گذرداد ترافیک ویدئو کم می‌شود. در همه حالت‌ها گذرداد ویدئو در الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم SR-AEDCF مشابه و از بقیه روش‌ها بیشتر است و کمترین گذرداد مربوط به روش CR-AEDCF است.

با اینکه روش پیشنهادی در معیارهای مهم دیگر نظیر PSNR در قسمت‌های زیادی بهتر از بقیه روش‌ها رفتار می‌کند، ولی گذرداد آن نیز از بقیه بیشتر و مشابه با بهترین حالت رفتار می‌کند.



شکل ۱۴: گذرداد ترافیک ویدئو برای ۵ الگوریتم

مراجع

- [1] Kurose James, Ross Keith, "Computer Networking, A Top-Down Approach" (Fifth Edition), Addison-Wesley, 2010.
- [2] Ke Chih-Heng, Shieh Ce-Kuen, Hwang Wen-Shyang and Ziviani Artur, "An Evaluation Framework for More Realistic Simulations of MPEG Video Transmission", Journal of Information Science and Engineering, Vol. 24 No. 2, pp.425-440, March, 2008.
- [3] Tanenbaum Andrews, "Computer Networks" (Fourth Edition), Prentice Hall, 2007.
- [4] Hsiao Yi-Mao, Lee Jeng-Farn, Chen Jai-Shiang and Chu Yuan-Sun, "H.264 video transmissions over wireless networks: Challenges and solutions", Elsevier Computer Communications, vol.34, pp.1661-1672, 2011.
- [5] Lu Mei-Hsuan, "Optimizing Transmission for Wireless Video Streaming", ProQuest, UMI Dissertation Publishing, p.170, 2011.
- [6] Ni Qiang, "Performance Analysis and Enhancements for IEEE 802.11e Wireless Networks", IEEE Network, vol.19, pp.21-27, 2005.
- [7] Chen Xiang, Zhai Hongqiang, Fang Yuguang, "Enhancing the IEEE 802.11e in QoS Support: Analysis and Mechanisms", Second International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, pp.8-23, 2005.
- [8] MacKenzie Richard, Hands David and O' Farrell Timothy, "An Evaluation of Quality of Service for H.264 over 802.11e WLANs", IEEE Conference Publications in Packet Video - PV, pp.1-10, 2009.
- [9] F. S. González, "Analysis of QoS using IEEE 802.11e for WLANs", 2004.

۶- نتیجه‌گیری و سوی کارهای آتی

استاندارد پایه IEEE 802.11 فاقد حمایت مؤثر از کاربردهای ویدئویی بلادرنگ در شبکه‌های بی‌سیم محلی است. در استاندارد IEEE 802.11e و گونه‌های پس از آن نظیر 802.11n و 802.11ac چهار گروه دسترسی یا صف با اولویت متفاوت در زیرلایه کنترل دسترسی تعریف شده است. پارامترهای دسترسی در هر صف به نحوی تنظیم شده است که اولویت ترافیک مربوطه در دسترسی به کانال رعایت شود. در این مقاله روشی پویا برای تنظیم پارامترهای هر گروه دسترسی مبتنی بر مکانیسم EDCA و بر اساس نرخ تصادم تخمینی ارائه شد.

هدف اصلی از ارائه این روش، بهبود کیفیت انتقال ویدئو بر بستر شبکه‌های بی‌سیم محلی است. برای ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه عملکرد آن با روش‌های موجود، از شبیه‌ساز NS2 استفاده نمودیم و ترافیک ویدئو به کمک ابزار Evalvid بر روی شبکه بی‌سیم شبیه‌سازی شده، در شرایط مختلف ارسال شد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که روش پیشنهادی از نقطه‌نظر معیارهای ارزیابی متعدد از جمله PSNR، تأخیر انتها به انتها، گذرداد و درصد گم‌شدن

- 802.11 Real-Time Applications", Wireless Communications and Mobile Computing, Article ID 5719594, Volume 2017.
- [21] Romdhani Lamia, Ni Qiang, Turletti Thierry, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc network", in: IEEE WCNC'03 (Wireless Communications and Networking Conference), vol.2, pp.1373-1378, 2003.
- [22] Aad Imad, Castelluccia Claude, "Differentiation mechanisms for IEEE 802.11", IEEE Infocom 2001, Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, vol.1, pp.209-218, 2001.
- [23] Ahmadian, Tahere, and Mohammad Nassiri. "A fuzzy-based cross-layer mechanism to improve the quality of video transmission over wireless LANs." International Journal of Wireless and Mobile Computing 7.6, pp.528-535, 2014.
- [24] Wan Zheng, Xiong Naixue, Ghani N. G., Peng Min, Vasilakos A. V. and Zhou Liang, "Adaptive Scheduling for Wireless Video Transmission in High-Speed Networks", Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2011 IEEE Conference on, pp.180-185, 2011.
- [25] Rashwand Saeed, Mistic Jelena, "stable operation of IEEE 802.11e EDCA: Interaction between offered load and MAC parameters", in Elsevier Recent Advances in Analysis and Deployment of IEEE 802.11e and IEEE 802.11p Protocol Families, vol.10, issues.2, pp.162-173, 2012.
- [26] Yayu Gao, Xinghua Sun, Member, IEEE, and Lin Dai, "IEEE 802.11e EDCA Networks: Modeling, Differentiation and Optimization", Senior Member, IEEE, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 13, NO. 7, JULY 2014.
- [27] NS-2 simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [28] Evalvid - A Video Quality Evaluation Tool-set, Available from <http://www.tkn.tu-berlin.de/menue/research/evalvid>.
- [29] Sühring Karsten, "H.264/AVC Software Coordination", Fraunhofer Institute for Telecommunications, Heinrich Hertz Institute, Image Processing Research Department, 2011.
- [30] Klauwe Jirka, Rathke Berthold and Wolisz Adam, "EvalVid - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation", 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance & Evaluation, vol.2794, pp.255-272, 2003.
- [10] IEEE Std 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specification", Edition 1999.
- [11] Richard Haywood, Saty Mukherjee and Xiao-Hong Peng, "Investigation of H.264 Video Streaming over an IEEE 802.11e EDCA Wireless Testbed", IEEE international conference on Communications, pp.1516-1520, 2009.
- [12] Artail Hassan, Safa Haidar, Naoum-Sawaya Joe, Ghaddar Bissan, Khawam Sami, "A simple recursive scheme for adjusting the contention window size in IEEE 802.11e wireless adhoc networks", Science Direct Elsevier, Computer Communications, Vol.29, Issue 18, November, pp.3789-3803, 2006.
- [13] Gu Daqing, Zhang Jinyun, "QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless area Network", IEEE Communications, Mag.41, issue 6, pp.120-124, 2003.
- [14] Mangold stefan, Choi sunghyun, Hiertz Guido, May Peter, Klein Ole, Walke Bernhard, "Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LAN", IEEE Wireless Communications, vol.10, issue 6, pp.40-50, December, 2003.
- [15] Ni Qiang, Romdhani Lamia, Turletti Thierry, "A survey of QoS enhancements for IEEE 802.11 wireless LAN", Wireless Communications and Mobile Computing, vol.4, issue 5, pp.547-566, August, 2004.
- [16] Fiandrotti Attilio, Gallucci Dario, Masala Enrico and De Martin Juan Carlos, "High-Performance H.264/SVC Video Communications in 802.11e Ad-Hoc Networks", Lecture Notes in Computer Science, Vol.5464, pp.198-206, 2009.
- [17] Mangold stefan, Choi sunghyun, May Peter, Klein Ole, Hiertz Guido and Stibor Lothar, "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service (invited paper)", In Proceedings of the European Wireless, Vol.1, pp.32-39, Florence, Italy, February, 2002.
- [18] IEEE Std 802.11e-2005, "IEEE Standard for Information technology", Telecommunications and information exchange between systems LAN/MAN Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, 2005.
- [19] IEEE draft, "Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)", 2003.
- [20] Estefanía Coronado, José Villalón, and Antonio Garrido, "An Adaptive Medium Access Parameter Prediction Scheme for IEEE

زیر نویس ها:

¹⁹ Arbitration Inter-Frame Space (AIFS)

²⁰ Simple Recursive Adaptive Enhanced DCF (SR-AEDCF)

²¹ Certainty Factor (CF)

²² Collision Rate-based Adaptive Enhanced DCF (CR-AEDCF)

²³ Persistence Factor (PF)

²⁴ Static Slow Decrease (SSD)

²⁵ Adaptive Scheduling

²⁶ Cross Layer

²⁷ Dynamic Frame Assignment Algorithm (DFAA)

²⁸ Flexible Macroblock Ordering (FMO)

²⁹ head-of-line (HOL)

³⁰ Joint Model (JM)

³¹ Constant BitRate (CBR)

³² Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

³³ Mean Squared Error (MSE)

³⁴ User Datagram Protocol (UDP)

³⁵ Loss Rate

³⁶ Throughput

¹ Access Points

² Quality of Service (QoS)

³ Jitter

⁴ Best Effort (BE)

⁵ Broadcast

⁶ Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)

⁷ Access Category (AC)

⁸ Joint Video Team (JVT)

⁹ Medium Access Control (MAC)

¹⁰ Distributed Coordination Function (DCF)

¹¹ Point Coordination Function (PCF)

¹² Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)

¹³ Distributed Inter-Frame Space (DIFS)

¹⁴ Contention Window (CW)

¹⁵ Short Inter-Frame Space (SIFS)

¹⁶ Acknowledgement

¹⁷ Slot time

¹⁸ Traffic Category (TC)