Archive of SID

ارائه و پیاده‌سازی یک ساختار منعطف در بستر واقعی جهت ارزیابی روش‌های بهبود QoS در شبکه‌های بی‌سیم

محمدحسن داعی[۱]، محمد نصیری[۲]، سید وحید ازهری[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد شبکه‌های کامپیوتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان mhdaei@gmail.com

[۲]استادیار مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان m.nassiri@basu.ac.ir

[۳] استادیار مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران azharivs@iust.ac.ir

چکیده

امروزه، فراهم‌آوری کیفیت سرویس به یکی از مباحث چالش برانگیز در شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت تبدیل شده است. از طرفی روش‌های متنوعی برای بهبود کیفیت سرویس به ویژه در زیرلایه کنترل دسترسی ارائه شده که پیاده‌سازی آن‌ها در هسته لینوکس، اغلب، غیرمتمرکز، غیرپویا و در برخی موارد وابسته به درایور و ناقص است.

در این مقاله، یک ساختار متمرکز، منعطف و پویا جهت تسهیل پیاده‌سازی روش‌های مختلف بهبود کیفیت سرویس در زیر لایه کنترل دسترسی برای شبکه‌های بی‌سیم ارائه می‌گردد. بنابراین می‌توان روش‌های مختلفی برای تجمیع فریم مبتنی بر A-MPDU یا A-MSDU، مدیریت و زمانبندی صف و نیز نگاشت بسته‌ها به صفوف اولویت‌دار را بر روی این ساختار پیاده‌سازی کرده و عملکرد هر کدام را ارزیابی و مقایسه نمود. پیاده‌سازی ساختار پیشنهادی در هسته لینوکس انجام شده و علاوه بر آن، به منظور ارزیابی کارایی، یک روش تجمیع فریم مبتنی بر A-MPDU به ساختار پیشنهادی و نیز به درایور اضافه شده است. نتایج حاصل بیانگر بهبود گذرداد شبکه به میزان حدود ۳۰ درصد نسبت به درایور ath9k می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت، کیفیت سرویس، بستر آزمایشی، IEEE 802.11n، تجمیع فریم

۱- مقدمه

با توجه به استفاده روزافزون از برنامه‌هایی مثل پخش‌زنده شبکه‌های تلویزیونی، YouTube، بازی‌های آنلاین و ...، فراهم‌آوری کیفیت سرویس (QoS) نه‌تنها برای فراهم‌کنندگان سرویس بلکه برای تولیدکنندگان تجهیزات شبکه به یکی از مباحث چالش‌برانگیز و حیاتی تبدیل شده است؛ علاوه براین انتظار می‌رود که ترافیک ویدئویی تا سال ۲۰۱۹ حدود ۸۰درصد از ترافیک کل اینترنت را به دلیل گسترش سریع تلفن‌های هوشمند به خود اختصاص دهد [۱]، بنابراین بیشتر ترافیک‌های ویدئویی درنهایت از طریق شبکه‌های بی‌سیم به‌ویژه شبکه‌های بی‌سیم محلی دریافت خواهند شد.

در جدیدترین استانداردهای شبکه‌های محلی بی‌سیم که از استاندارد اصلی IEEE 802.11 مشتق می‌شوند، توجه اصلی به افزایش کارایی و تا حد امکان فراهم‌آوری کیفیت سرویس بوده است. استاندارد 802.11e روش EDCA[1] را معرفی می‌کند که بر اساس آن ترافیک به صف‌های اولویت-بندی شده (AC) تقسیم شده و صف با اولویت بالاتر از شانس بیشتری برای دسترسی به کانال برخوردار خواهد بود. باوجود این، روش EDCA به تنهایی قادر به تضمین کیفیت سرویس برای برنامه‌هایی که نیازمند کیفیت سرویس سخت‌گیرانه‌ای هستند نخواهد بود [۲]. از طرف دیگر طیف گسترده‌ای از برنامه‌های چندرسانه‌ای مثل تلفن تصویری، کنفرانس ویدئویی، تلویزیون‌های وضوح بالا (HDTV) و ... وجود دارند که نیازمند ارسال با نرخ بسیار بالایی هستند [۳].

در استاندارد 802.11n نرخ انتقال لایه فیزیکی تا 600Mbps و در استاندارد 802.11ac تا 6933Mbps افزایش یافته است. این افزایش با بهبودهایی در لایه فیزیکی مثل استفاده از فناوری MIMO[2] و پیوند کانال (Channel Bonding) فراهم شده است؛ اما این نرخ با توجه به سربار

[1] Enhanced Distributed Channel Access

[2] Multiple-Input Multiple-Output

www.SID.ir

Archive of SID

رقابت (برای دسترسی به کانال) و همین‌طور سرآیندهای طویلی که با پایین‌ترین نرخ ارسال می‌شوند، به خوبی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد. علاوه بر این اتصال MIMO نوسانات قابل‌توجهی از خود نشان می‌دهد که برای استفاده بهینه از کانال باید در نظر گرفته شود.

ویژگی تجمیع فریم که برای اولین بار در استاندارد 802.11n معرفی شد و در استاندارد 802.11ac نیز به طور مشابه مورداستفاده قرار گرفته با تجمیع چند فریم و ارسال آن به عنوان یک فریم واحد، باعث کاهش سربار و درنتیجه استفاده موثرتر از کانال پرسرعت می‌شود. دو نوع تجمیع فریم به نام‌های A-MSDU[1] و A-MPDU[2] در استاندارد معرفی شده که قابل ترکیب نیز هستند. در روش A-MPDU، فریم‌ها پس از پردازش در لایه کنترل دسترسی و افزودن سرآیندهای موردنیاز، تجمیع شده و به عنوان یک فریم به لایه فیزیکی تحویل داده می‌شوند؛ اما در روش A-MSDU این تجمیع قبل از پردازش‌های لایه کنترل دسترسی انجام خواهد شد. در نتیجه روش A-MSDU تاثیر بهتری در کاهش سرآیند داشته اما در صورت بروز خطا که در شبکه‌های بی‌سیم نیز امری متداول است به علت عدم وجود سرآیند بررسی خطا، ارسال کننده مجبور به بازارسال تمام فریم تجمیعی خواهد بود حتی اگر خطا مربوط به یکی از فریم‌ها باشد.

در استاندارد 802.11n، حداکثر اندازه A-MSDU برابر با ۷۹۵۵ بایت و برای A-MPDU، ۶۵۵۳۵ بایت درنظرگرفته شده است، علاوه براین برای استفاده از هردو روش به طور همزمان، به علت محدودیت اندازه MPDU، حداکثر اندازه A-MSDU به ۳۸۳۹ بایت کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به موضوعات گفته شده، در عمل از روش A-MPDU استفاده می‌شود به خصوص برای ارسال ترافیک ویدئویی که اندازه بسته‌ها خیلی کوچک نبوده و بازارسال بسته در صورت خطا بسیار پرهزینه است.

از دید مشخصه‌های مربوط به کیفیت سرویس، اگرچه تجمیع هرچه بیشتر فریم، باعث افزایش نرخ ارسال در لایه کنترل دسترسی می‌شود اما انتظار برای فراهم کردن تعداد فریم بیشتر (در صورت پایین بودن نرخ ورود بسته‌ها)، تاخیر را که یکی از مشخصه‌های مهم در کیفیت سرویس است افزایش خواهد داد [۴].

علاوه براین، توپولوژی غالب در شبکه‌های بی‌سیم محلی از نوع Hotspot است که در آن چندین ایستگاه به یک نقطه دسترسی (AP) متصل شده و از طریق آن به شبکه محلی سازمان راه می‌یابند؛ از طرفی، بار موجود روی این شبکه اغلب از نوع دانلود بوده که از نقطه دسترسی (AP) به سمت ایستگاه‌ها انتقال پیدا می‌کند. بنابراین ارائه یک روش زمانبندی ارسال بسته‌ها از AP به ایستگاه‌های پایین‌دست می‌تواند در بهبود عملکرد شبکه بسیار موثر باشد.

با توجه به روش EDCA، نحوه نگاشت فریم‌ها به هریک از صف‌های اولویت‌دار نیز در معیارهای کیفیت سرویس بسیار موثر خواهد بود.

بنابراین می‌توان عامل‌های موثر در فراهم‌سازی کیفیت سرویس در لایه کنترل دسترسی را به طور کلی به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱- نوع، نحوه و اندازه تجمیع فریم

۲- زمانبندی ارسال بسته‌ها

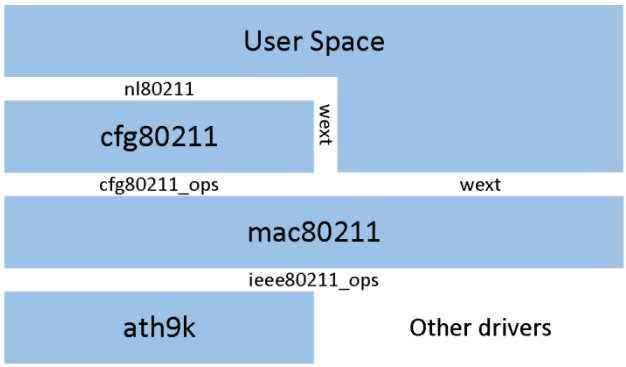
۳- نگاشت بسته‌ها

۴- مدیریت صف

تغییر هر یک از عوامل فوق به صورت بهینه می‌تواند به سایر عوامل دیگر نیز وابسته باشد.

روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی یک یا چند عامل، معرفی و ارزیابی شده‌اند اما در استاندارد IEEE 802.11، روشی برای هریک از این عوامل مشخص نشده و نگاشت بسته‌ها نیز به صورت خیلی ساده و کاملا ایستا انجام می‌شود.

به طور کلی برای ارزیابی روش‌ها و الگوریتم‌های موجود در حوزه شبکه‌های بی‌سیم می‌توان به سه طریق تحلیل ریاضی، ابزارهای شبیه‌ساز و بسترآزمایشی واقعی عمل کرد. هرچند مقیاس‌پذیری و تحرک ایستگاه‌ها در شبیه‌ساز بسیار ساده‌تر صورت می‌گیرد ولی با توجه به ویژگی‌های رسانه‌ی بی‌سیم از جمله وجود نویزهای متنوع، تداخل امواج، نوسانات شرایط کانال، پدیده‌ی محوشدگی، نوسانات موجود در اتصال MIMO و ... نمی‌توان آن را به طور دقیق و مطابق با دنیای واقعی مدلسازی و شبیه‌سازی کرد؛ بنابراین نتایج بدست آمده از بستر آزمایشی، واقعی‌تر و صحیح‌تر خواهد بود.



شکل1 : ساختار زیرلایه MAC در هسته لینوکس و ارتباط ماژول‌های مختلف آن با یکدیگر

زیرلایه‌های مربوط به استاندارد 802.11 به صورت شکل ۱ در هسته لینوکس پیاده‌سازی شده است. نگاشت بسته‌ها در قسمت mac80211؛ و زمان‌بندی بسته‌ها و تجمیع فریم A-MPDU در قسمت درایور پیاده‌سازی شده‌اند. تجمیع فریم A-MSDU نیز در قسمت mac80211 در حال پیاده‌سازی است. مدیریت صف در حال حاضر در درایور انجام می‌شود اما در طراحی جدید هسته لینوکس اقدامات لازم برای انتقال آن به قسمت mac80211 فراهم شده است. همانطور که مشخص است علاوه براین‌که قسمت‌های فوق در یک زیرلایه متمرکز نشده‌اند، نحوه و روش زمان‌بندی و همین‌طور تجمیع فریم A-MPDU وابسته به درایور خواهد بود.

مزایای پیاده‌سازی واقعی یک روش به جای شبیه‌سازی آن برکسی پوشیده نیست اما علاوه بر زمان‌بر بودن و دشواری این نوع پیاده‌سازی، متمرکز نبودن عوامل یاد شده در پیاده‌سازی‌های انجام شده، مشکلات موجود را دوچندان کرده است.

[1] Aggregate MAC Service Data Unit

[2] Aggregate MAC Protocol Data Unit

www.SID.ir

Archive of SID

در ساختار پیشنهادی ارائه شده، کنترل و مدیریت تمامی این موارد در یک زیرلایه و دقیقا در یک بخش متمرکز شده است. همچنین، بر روی یک الگوریتم یا روش خاص برای بهبود کیفیت سرویس تمرکز نشده بلکه ساختار پیشنهادی به نحوی طراحی و پیاده‌سازی شده است که بتوان هر الگوریتم و روشی را به سهولت و با کمترین میزان برنامه‌نویسی به ساختار اصلی اضافه نمود. بنابراین می‌توان روش‌های مختلفی برای تجمیع فریم مبتنی بر A-MPDU یا A-MSDU، مدیریت و زمانبندی‌صف و نیز نگاشت بسته‌ها به صف‌های اولویت‌دار را بر روی این ساختار پیاده‌سازی، و عملکرد هر کدام را ارزیابی و مقایسه نمود.

۲- مروری برکارهای مرتبط

بهبودهای تعریف‌شده در استاندارد IEEE 802.11n نه‌تنها در لایه فیزیکی بلکه در لایه کنترل دسترسی نیز صورت گرفته‌اند [۵]. بهبودهای لایه فیزیکی شامل MIMO [۶]، پیوند کانال و فاصله حفاظتی کوتاه (SGI) باعث شده‌اند که نرخ ارسال در این لایه به 600Mbps برسد؛ اما این افزایش باعث کاهش کارایی لایه MAC قدیمی شده است [۷]. به طور مثال حتی تحت شرایط ایده‌آل برای کانال ارتباطی، کارایی MAC از ۴۲درصد به ۱۰ درصد در هنگام افزایش نرخ لایه فیزیکی از 54Mbps به 432Mbps می‌رسد [۸].

در [۹] به بررسی نقاط ضعف پیاده‌سازی‌های انجام شده در درایور ath9k پرداخته و سعی کرده با الگوریتمی ساده این کاستی‌ها را برطرف کند. پیاده‌سازی انجام شده کاملاً مبتنی بر روش A-MPDU بوده و با انتخاب پارامترهای مناسب برای بسته‌های کوچک مثل صدا (voice) نیز قابل استفاده خواهد بود. پیاده‌سازی و ارزیابی روش فوق به طور کامل در درایور ath9k انجام شده است.

روش‌های تجمیع فریم دیگری نیز معرفی شده‌اند. به عنوان مثال در [۸] و [۱۰]، برای تجمیع و زمان‌بندی، یک روش با مقادیر ثابت برای اندازه فریم تجمیعی و حداکثر زمان انتظار برای تشکیل آن پیشنهاد و ارزیابی شده است. در [۳] نیز روشی همانند [۱۰] معرفی شده، با این تفاوت که روش پیشنهادی با آگاهی از نوع ترافیک بهینه‌سازی شده است بدین صورت که مشخصه‌های حداقل و حداکثر اندازه فریم تجمیعی و همین‌طور حداکثر زمان انتظار برای هر صف اولویت‌دار (AC) متفاوت خواهد بود. اما در هیچ کدام از این مقالات مقدار عددی پارامترها به طور واضح مشخص نشده‌اند. لازم به ذکر است که هدف ساختار پیشنهادی در این مقاله هم تعیین این پارامترها و چگونگی تاثیر هریک و ... نیست؛ بلکه فراهم‌کردن مسیری هموار برای ارزیابی الگوریتم‌های مختلف در بستر آزمایشی واقعی است و همان‌طور که گفته شد تاکنون ساختاری با ویژگی‌های گفته شده برای پیاده‌سازی روش‌های فوق معرفی نشده و پیاده‌سازی آن‌ها نیز کاملا خاص هریک، و محدود به یک بخش بوده‌اند.

۳- معرفی ساختار پیشنهادی

اولین و اصلی‌ترین گام برای طراحی یک ساختار جامع و پویا در زیرلایه MAC 802.11، متمرکز کردن مدیریت و کنترل چهار عامل نرم‌افزاری مؤثر در بهبود کیفیت سرویس در یک بخش خواهد بود. با توجه به این‌که در هسته لینوکس، بخش کوچکی از زیرلایه MAC 802.11 در درایور پیاده‌سازی شده، در ساختار پیشنهادی با مستقل‌سازی فرایندهای تجمیع و زمان‌بندی از درایور، نه‌تنها متمرکز کردن عوامل یادشده فراهم شده بلکه فرایند پیاده‌سازی از پیچیدگی‌های درایور به دور بوده و استفاده از ساختار و مکانیزم طراحی شده برای هر دو استاندارد 802.11n و 802.11ac با کمترین میزان تغییرات همراه خواهد بود.

در پیاده‌سازی جدید mac80211 در داخل هسته لینوکس، صف‌هایی نرم‌افزاری به صورت میانی ایجاد شده‌اند. هدف از ایجاد این صف‌ها توسط گروه توسعه‌دهنده هسته لینوکس به صورت زیر بیان شده است:

- فراهم کردن عدالت (Fairness) بین ایستگاه‌های مختلف
- مدیریت صف پویا و مستقل از درایور
- نقطه‌ی شروعی برای پیاده‌سازی روش تجمیع A-MSDU

در ساختار پیشنهادی از صف‌های جدید ایجاد شده نیز استفاده شده است، این امر نه‌تنها هماهنگی ساختار را با دیگر مولفه‌های لایه MAC افزایش داده بلکه باعث خواهد شد که در نسخه‌های جدید هسته لینوکس نیز قابل استفاده باشد. در نسخه اولیه نیز برای کاهش پیچیدگی، بسته‌های کنترلی بدون اضافه شدن به صف میانی همانند سابق مستقیما تحویل درایور خواهند شد.

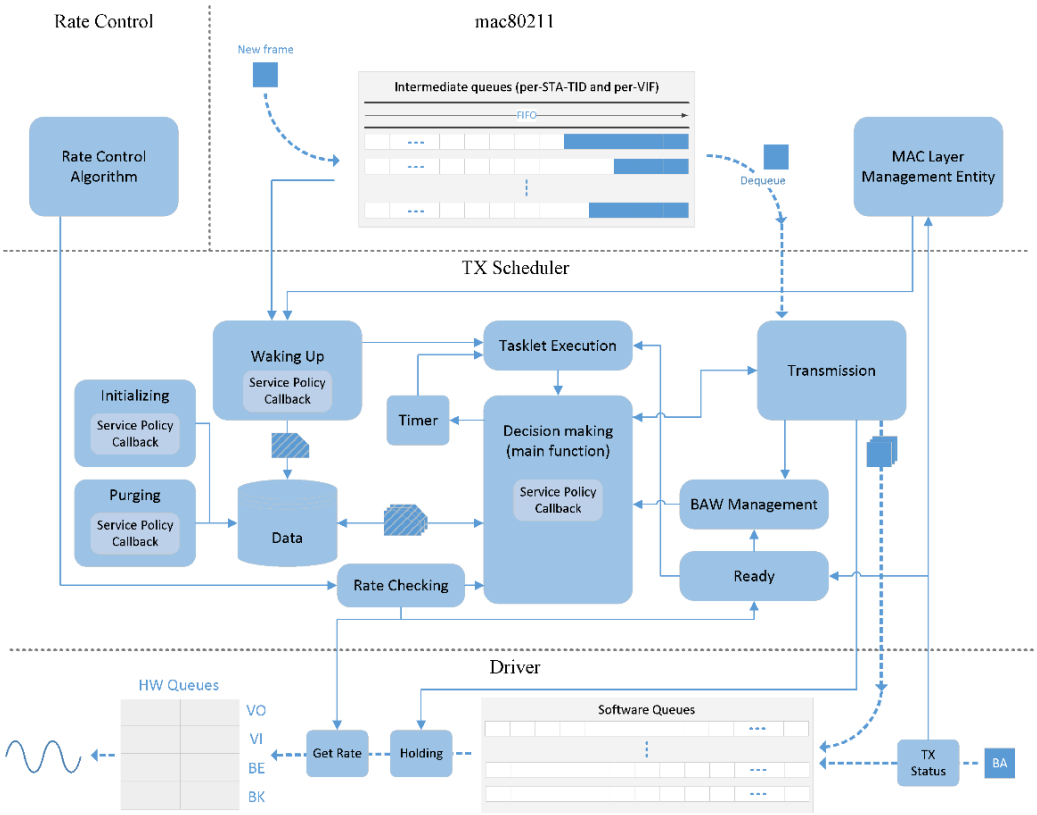
ویژگی دیگر مورد انتظار از ساختار و بستر پیشنهادی، منعطف بودن آن است، به طوری که بتوان روش‌های مختلف تجمیع، زمان‌بندی، نگاشت و مدیریت صف را درکمترین زمان ممکن و با کمترین میزان برنامه‌نویسی به بستر اصلی اضافه نمود. برای این منظور تمام بخش‌های کلیدی یک روش یا الگوریتم به صورت تابع‌هایی مجزا در نظر گرفته شده‌اند. بستر طراحی شده، متناسب با شرایط، توابع فوق را فراخوانی کرده و نیازی به برنامه‌نویسی کارهای مشترک بین الگوریتم‌های مختلف نخواهد بود. به عبارت دیگر برای اضافه کردن یک الگوریتم جدید تنها کافی است یک سری توابع با توجه به توضیحات موجود، و متناسب با عملکرد الگوریتم موردانتظار اضافه شوند. علاوه براین تعدادی توابع کمکی که در الگوریتم-های مختلف ممکن است نیاز شوند به صورت مشترک طراحی شده‌اند تا فرایند افزودن الگوریتم جدید به راحتی و به سرعت انجام شود.

پیاده‌سازی انجام شده از MAC 802.11 در هسته لینوکس با توجه به وجود استانداردهای مختلف در این لایه، دارای پیچیدگی‌های زیادی است در نتیجه افزودن یک ساختار جامع در این زیرلایه برای کنترل عوامل یادشده کاری دشوار و زمان‌بر خواهد بود؛ از طرف دیگر دستکاری و تغییر توابع پیاده‌شده در هسته لینوکس از پایداری آن کم کرده و اشکالات نرم-افزاری را به شدت افزایش خواهد داد. برای جلوگیری از این امر، بستر پیشنهادی به صورت یک زیرلایه‌ی میانی بین mac80211 و درایور و با کمترین میزان تغییرات در توابع هر دو زیرلایه دیگر به ویژه درایور پیاده-سازی شده است.

نحوه ارتباط ساختار پیشنهادی با سایر بخش‌ها و ماژول‌های پیاده‌سازی شده MAC 802.11 در هسته لینوکس به صورت انتزاعی در

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: ساختار پیشنهادی بسترآزمایشی به صورت یک زیرلایه میانی بین mac80211 و درایور

شکل۲ ترسیم شده است. بستر پیشنهادی را می‌توان به سه بخش اصلی ورود بسته جدید، تصمیم گیری و ارسال بسته به درایور تقسیم‌بندی کرد که در ادامه به توضیح هربخش پرداخته می‌شود.

با اضافه شدن هر فریم به صف میانی، تابعی به نام Wake برای اطلاع از افزوده شدن فریم جدید فراخوانی خواهد شد سپس ماژول Waking Up اجرا شده و اطلاعات موردنیاز متناسب با فریم (مثل اندازه، نوع، زمان ورود و ...) را به ساختاراطلاعاتی اضافه می‌کند. داده‌ساختار مورد استفاده برای فریم‌های موجود در صف میانی طبق پیاده‌سازی توسعه‌دهندگان هسته لینوکس برای هر ایستگاه و هر TID[1] جداگانه نگهداری و به روز می‌شود. از طرف دیگر چون یک الگوریتم ممکن است دارای داده-ساختارهای اضافه‌تری نیز باشد تابع مربوط به الگوریتم نیز با آرگومانی از مشخصات فریم، فراخوانی خواهد شد.

واحد Initializing وظیفه مقداردهی اولیه داده‌ساختارها را به عهده دارد که در هنگام بارگذاری ماژول mac80211 فراخوانی می‌شود. در هنگام قطع ارتباط یک ایستگاه نیز اطلاعات موردنیاز به واحد Purging منتقل شده تا داده‌ساختارها و اطلاعات آن ایستگاه حذف شوند.

در واحد Decision Making تصمیمات اصلی اتخاذ شده و در نهایت صف موردنظر (TXQ) و تعداد فریم‌های تشکیل دهنده بسته تجمیعی به بخش Transmission ارسال می‌شوند تا به صورت متوالی برای درایور ارسال شده و فرایند تجمیع با توجه به خالی بودن صف سخت‌افزاری بر روی آن‌ها انجام شود. در هر واحد تابع مربوط به الگوریتم در حال اجرا، به صورت Callback فراخوانی خواهد شد که در شکل ۲ به صورت مستطیل-هایی داخل هر واحد مشخص شده‌اند.

Ready بودن درایور بدین معناست که صف سخت‌افزاری درایور حداقل به اندازه یک A-MPDU خالی بوده یا به عبارت دیگر بسته تجمیع شده قبلی ارسال شده است. بعد از دریافت BA[2] مربوط به بسته ارسالی، درایور اطلاعات فریم‌های ارسالی، اندازه فریم تجمیعی و ... را به MLME[3] ارسال می‌کند که از آن برای تشخیص Ready و ارسال بسته بعدی استفاده شده است.

فرایند تجمیع دارای محدودیت‌های بسیاری است بنابراین بخش تصمیم‌گیری باید تمامی اطلاعات لازم را در اختیار داشته تا تجمیع، دقیق و بدون شکست انجام شود، محدودیت‌های اصلی به صورت زیر درنظر گرفته شده‌اند:

۱- تعداد شکاف‌های خالی پنجره BA
۲- نرخ مشخص‌شده برای ارسال بسته
۳- نوع بسته ارسالی (داده، کنترلی، مدیریتی)
۴- اندازه فریم تجمیعی (برحسب بایت)

[1] Traffic Identifier

[2] Block Acknowledgement

[3] MAC Sublayer Management Entity

www.SID.ir

Archive of SID

۵- تعداد فریم‌های تجمیع شده
۶- محدودیت ایستگاه دریافت کننده

بخش تصمیم‌گیری ممکن است برای تجمیع فریم‌های بیشتر، ارسال فریم‌های موجود را به تعویق بیاندازد و به طور موقت فرایند را متوقف کند؛ حال اگر در زمان موردنظر به هر دلیلی فریمی جدید وارد صف نشود تاخیر فریم‌های موجود بیشتر از انتظار خواهد شد، برای جلوگیری از این مشکل واحد Timer درنظر گرفته شده که قبل از توقف فرایند، تنظیم شده و در زمان موردنظر فرایند تصمیم‌گیری را مجددا فراخوانی خواهد کرد.

واحد Transmission، به تعداد تعیین شده در بخش تصمیم‌گیری، فریم از صف میانی موردنظر برداشته و به صورت متوالی و بدون وقفه به درایور ارسال خواهد کرد تا همگی به عنوان یک فریم تجمیعی ارسال شوند.

واحد "BAW Management" مدیریت پنجره BA را برعهده دارد. اگرچه فریم‌ها در داخل درایور شماره‌گذاری می‌شوند اما با توجه به مستقل سازی فرایند تجمیع، فرایند شماره‌گذاری جداگانه‌ای در این قسمت نیز انجام خواهد شد. بنابراین واحد تصمیم‌گیری در هر لحظه می‌تواند از تعداد شکاف‌های خالی موجود در پنجره BA مربوط به هر TID مطلع شده و عملیات تجمیع را متناسب با آن انجام دهد. بایستی توجه نمود که فرایند شماره‌گذاری فریم‌ها یک فرایند داخلی بوده و سربار برای فریم منتقل شده به درایور نخواهد داشت.

مساله‌ی دیگری که می‌تواند مراحل فوق را قدری پیچیده کند این است که همواره فریم‌های تجمیعی در حالت A-MPDU دارای BA کاملی نیستند؛ به طور مثال ممکن است از ۲۰ فریم ارسال شده به صورت تجمیعی فقط ۱۸ فریم به صورت صحیح و بدون خطا دریافت شوند. ۲ فریم باقی مانده باید در اولین فرصت مجددا ارسال شوند اما تجمیع ۲ فریم و ارسال آن‌ها در یک نوبت بهینه نخواهد بود. بنابراین باید بتوان در زمان مناسب تعداد فریم لازم را در صورت امکان به فریم‌های قبلی اضافه نمود. این کار مستلزم آن است که فرایند بازارسال در درایور در صورت نیاز متوقف شود اما ایجاد این توقف، پیاده‌سازی را هرچند اندک، به درایور وابسته خواهد کرد؛ برای رفع این وابستگی در ساختار پیشنهادی، فرایند متوقف سازی (Holding) در بخش اعمال نرخ ارسال (Get Rate) ایجاد شده است، چون نرخ ارسال را خود زیرلایه mac 80211 تعیین می‌کند درایورها (از هر نوعی که باشند) مجبورند تابعی از زیرلایه فوق را فراخوانی کنند. لذا با تغییری کوچک در تابع مذکور، فرایند کاملا مستقل از درایور پیاده‌سازی خواهد شد.

سه فرایند ورود بسته جدید، تصمیم گیری و ارسال بسته به درایور می‌توانند به صورت همزمان اجرا شوند لذا برای دسترسی به منابع مشترک باید از فرایندهای قفل گذاری مناسبی استفاده شود، با توجه به نوع فرخوانی توابع و وقفه‌های سخت‌افزاری موجود در زیرلایه MAC، از روش spinlock_bh برای کنترل دسترسی استفاده شده است. در این روش وقفه‌های نرم‌افزاری قبل از قفل، غیرفعال شده اما وقفه‌های سخت‌افزاری همچنان فعال خواهند بود. برای سرعت بخشیدن به فرایند تصمیم‌گیری و ارسال، فراخوانی تابع اصلی با tasklet صورت پذیرفته تا در مواجهه با وقفه‌های سخت‌افزاری نیز دچار مشکل نشود؛ taskletها فرایندهایی تجزیه‌ناپذیر (Atomic) هستند. البته سایر فرایندهای مشابه در هسته لینوکس نیز با این روش پیاده‌سازی شده‌اند.

برای ارتباط بسترااصلی و الگوریتم‌های تعریف شده با فضای کاربری جهت تنظیم مشخصه‌ها و همین‌طور خروجی اطلاعات لازم برای ارزیابی، از ماژول DebugFS در هسته لینوکس استفاده شده و برای حفظ ساختارکلی، به فرایند DebugFS اصلی پیوند خورده است. DebugFS یک سیستم فایل موجود در هسته لینوکس به منظور اشکال‌زدایی[1] و ارتباط با فضای کاربری است.

۴- ارزیابی کارایی

لازم به ذکر است که در این مقاله، تنها یک ساختار پیشنهادی برای طراحی بستری جامع جهت پیاده‌سازی واقعی روش‌های مختلف بهبود کیفیت سرویس در لایه MAC و ارزیابی آن‌ها ارائه شده است و نه پیشنهاد روشی برای بهبود کیفیت سرویس، لذا برای ارزیابی آن کافی است که نتایج یک روش پیاده‌شده به صورت مستقیم با نتایج حاصل از همان روش در بسترپیشنهادی یکسان باشند.

یکی از درایورهای متن‌باز و مرسوم برای استفاده در بسترآزمایشی واقعی، درایور ath9k است. برای بررسی صحت و کارایی پیاده‌سازی انجام شده، الگوریتم مورد استفاده در ath9k نیز به طور کاملا یکسان در بستر آزمایشی پیاده‌سازی شده است. در این بررسی، با ابزار Iperf3، ترافیک‌هایی با نرخ ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ مگابیت برثانیه به صورت Best Effort، ویدئو و ترکیب این دو، با تعداد ایستگاه‌های ۱، ۲و ۴ از AP به سمت هر ایستگاه ارسال شده‌اند، پارامترهای اندازه‌گیری، گذرداد متوسط شبکه، متوسط تاخیر و Jitterکل بودند که توسط خود ابزار Iperf3 گزارش می‌شوند. نتایج حاصل از هر دو پیاده‌سازی کاملا یکسان بودند؛ و می‌توان گفت مزیت دیگر این ساختار پیشنهادی، عدم تحمیل سربار اضافی به شبکه است.

به منظور بررسی و ارزیابی دو الگوریتم متفاوت، یک الگوریتم متداول دیگر نیز برای تجمیع فریم و زمان‌بندی به بستر اضافه شد (در این مقاله با نام min-agg به آن اشاره شده است). در این روش برای تجمیع فریم هر یک از دسته‌های اولویت‌دار، یک حد بالا و پایین و حداکثر زمان انتظار قابل تعیین است. زمان‌بندی ارسال بسته‌ها نیز در صورت وجود شرایط کافی برای تجمیع به صورت FIFO خواهد بود. به طور مثال اگر بسته‌هایی برای تجمیع با بسته موجود در سرصف وجود داشته باشند و اندازه بسته تجمیعی به حداقل اندازه مشخص شده برسد، بسته تجمیعی با توجه به محدودیت‌های ذکر شده ساخته و ارسال خواهد شد. اگر اندازه فریم تجمیعی به اندازه مطلوب نرسیده باشد فقط در صورت منقضی شدن زمان انتظار ارسال می‌شود. اگر هیچ یک از این دو شرط نیز برقرار نباشند فرایند برای بسته‌های دیگر موجود در صف FIFO بررسی و تکرار خواهد شد.

[1] Debugging

www.SID.ir

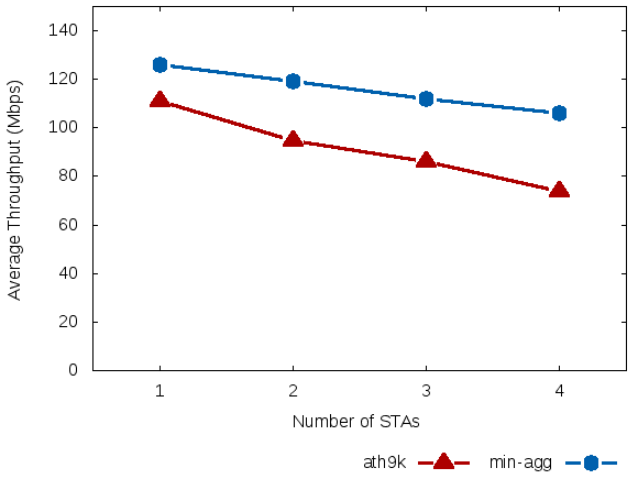
Archive of SID

جدول ۱: مشخصه‌های ورودی الگوریتم اضافه شده به بسترآزمایشی

دسته اولویت‌دار (AC)	BE	VI
حداقل اندازه تجمیع فریم	۴۰ کیلوبایت	۲۰ کیلوبایت
حداکثر اندازه تجمیع فریم	$+\infty$	$+\infty$
حداکثر انتظار برای تجمیع	۴۰۰ میلی‌ثانیه	۵۰ میلی‌ثانیه

مشخصه‌های الگوریتم پیاده‌سازی شده مطابق جدول ۱ تنظیم شدند. در این آزمایش برای هر ایستگاه یک ترافیک ویدئویی با نرخ متوسط 4Mbps و یک ترافیک Best effort به صورت اشباع شده ارسال شده‌اند. هر دو ترافیک از نوع UDP بوده و برای تولید آن از ابزارIperf3 استفاده شده است.

مقدار متوسط تاخیر (Delay) برای ترافیک Best Effort در الگوریتم اضافه شده به بستر نسبت به الگوریتم ath9k افزایش پیدا می‌کند اما به دلیل تنظیم مقدار حداکثر آن بر روی ۴۰۰ میلی‌ثانیه، حداکثر تاخیر قابل قبول خواهد بود. به عبارت دیگر این روش با افزایش تاخیر ترافیک Best Effort تا یک اندازه قابل تعیین، باعث افزایش گذرداد آن می‌شود. لازم به یادآوری است که هدف از ارائه این ساختار پیشنهادی، بهبود مولفه‌های کیفیت سرویس نیست بلکه ایجاد مسیری هموار برای پیاده‌سازی و ارزیابی واقعی روش‌های مختلف در این حوزه است؛ لذا در این مقاله تنها به مقایسه گذرداد شبکه اکتفا شده است.



شکل ۳: تغییرات میانگین گذرداد شبکه بر اساس تعداد ایستگاه‌ها

این آزمایش با تعداد ایستگاه ۱ تا ۴ تکرار شده و همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، کارایی ساختار پیاده‌سازی شده از نقطه نظر گذرداد شبکه به میزان حدود ۳۰ درصد نسبت به ساختار مورد استفاده در درایور ath9k افزایش یافته است. محور افقی مشخص کننده تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در هر آزمایش است و همان‌طور که مشاهده می‌شود این روش با افزایش تعداد ایستگاه‌ها، کارایی بهتری نسبت به درایور فوق از خود نشان می‌دهد. بایستی توجه نمود که افزایش کارایی فوق بیشتر در زمانی خود را نشان می‌دهد که علاوه بر ترافیک چندرسانه‌ای، ترافیک عادی از نوع BE یا پس‌زمینه نیز در شبکه وجود داشته باشد.

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آتی

یکی از بهترین روش‌های ارزیابی الگوریتم‌های فراهم‌آوری کیفیت سرویس در شبکه‌های بی‌سیم، پیاده‌سازی آن بر روی بسترآزمایشی واقعی است. در ساختار پیشنهادی ارائه شده با متمرکز کردن عوامل مختلف در یک بخش و همین‌طور ایجاد یک بستر جامع، پیاده‌سازی و افزودن الگوریتم‌ها تسهیل شده و سرعت گرفته است. نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های اضافه شده به بستر نیز صحت عملکرد ساختار پیشنهادی را تصدیق می‌کنند.

در واقع بستر و ساختار ایجاد شده مسیری هموار را برای ارزیابی الگوریتم‌های مختلف ایجاد کرده است. در ادامه کار می‌توان با اضافه کردن و مقایسه نتایج الگوریتم‌های معرفی شده و همین‌طور معرفی روش‌ها و الگوریتم‌های جدید، یک روش بهینه و جامع برای بهبود کیفیت سرویس در شبکه‌های محلی بی‌سیم پرسرعت ارائه داده و عملکرد آن را در بستر واقعی ارزیابی نمود.

مراجع

[1] CISCO, "Cisco visual networking index: Forecast and methodology," 2014-2019 White Paper, May 2015.

[2] Tinnirello, I., Choi, S. "Temporal fairness provisioning in multi-rate contention based 802.11e WLANs." in Proc. IEEE WoWMoM, June 2005, pp.220-230.

[3] E. Charfi, C. Gueguen, L. Chaari, B. Cousin and L. Kamoun, "Dynamic frame aggregation scheduler for multimedia applications in ieee 802.11 n networks", Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2015

[4] Peyman Teymoori, Nasser Yazdani, Seyyed Alireza Hoseini, Mohammad Reza, "Analyzing Delay Limits of High-Speed Wireless Ad hoc Networks Based on IEEE 802.11n." in Proc. IST, 2010, pp. 489-495.

[5] IEEE 802.11n, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Enhancements for Higher Throughput, 2009.

[6] Gerard. J. Foschini, "Layered Space-Time Architecture for Wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi-Element Antennas," Bell Laboratories Technical Journal. October: 41–59, 1996.

[7] Y. Xiao and J. Rosdahl, "Performance analysis and enhancement for the current and future IEEE 802.11 MAC protocols," ACM SIGMO-BILE Mobile Computing Communication Rev., vol. 7, no. 2, pp. 6–19, Apr.2003.

[8] T. Li, Q. Ni, D. Malone, D. Leith, T. Turletti, and Y. Xiao, "Aggregation with Fragment Retransmission in Very High-Speed WLANs," In IEEE/ACM Transcations on Networking, March 2006.

[9] Eun-Chan Park Dong-Young Kim Chong-Ho Choi Jungmin So , "Improving Quality of Service and Assuring Fairness in WLAN Access Networks", Mobile Computing, IEEE Transactions, vol. 6, no. 4, pp 337-350, 2007.

[10] T. Selvam and S. Srikanth, "A frame aggregation scheduler for IEEE 802.11n," National Conference on Communications (NCC) 2010, Issue Date: 29-31 Jan. 2010.

[11] Matthew Gast, "802.11n: A Survival Guide," Oreilly, 2012.

www.SID.ir