Scientific Journal of Passive Defence
Vol. 15, No. 2, Summer 2024, Serial No. 58
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

Improving Channel Access QoS using Application Scheduling in Internet of Things

Omid Abedi* , Mahdieh Ghazvini , Fatemeh Ghodsi

* Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

(Received: 10/01/2024, Revised: 03/04/2024, Accepted: 29/06/2024, Published: 15/08/2024)
DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.5.4

ABSTRACT

In recent years, we are constantly facing the increase of Internet of Things devices in the fields of health, agriculture, industry and other applications. The using of these networks will increase by improving the quality of service. Usually, data are generated heterogeneously by IoT's sensors at different times with different sizes and priorities, and none of previous works in this field do not consider all these modes together; on the other hand, these studies either have worked on the queue model and priority package selection, or on the channel access methods and its prioritization. Therefore, in our proposed model in this paper, with the aim of improving quality of service, thight scheduling of delay-sensitive packets, and also avoiding starvation for lower priority packets, we consider an architecture including two levels of prioritization. In the first level, the packet is selected for sending based on a type of dynamic prioritization and relative to its delay deadline field. Since in this paper the application of Internet of Things in health care is considered, the sensors generate data both of modes, periodically (fixed) and on demand (critical), and therefore, two queue models D /G/1 and M/G/1 are used. In addition, the second level includes channel prioritization. At this level, by using a control channel and setting the waiting time of the sending node for listening to the channel, we have sending the packet through the control channel. Furthermore, a consolidated channel hopping model has been used for nodes to use the available bandwidth. Also, a buffer to keep the information of the last connection of the node helps to send and receive faster with less number of switching. After simulating and comparing this model with the 802.11 standard and similar media access protocols, significant improvements in increasing the packet delivery rate, operational throughput, and also reducing the end-to-end delay are showed.

Keywords: Internet of Things, Channel Access QoS, Scheduling, Dynamic Prioritization

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: oabedi@uk.ac.ir

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، (پیاپی ۵۸): صص ۷۳-۶۱

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | **شاپای الکترونیکی:** ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی – پژوهشی

بهبود کیفیت سرویس دسترسی به کانال با زمان‌بندی کاربردهای مبتنی بر اینترنت اشیا

امید عابدی*[۱]، مهدیه قزوینی[۲]، فاطمه قدسی[۳]

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.5.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر پیوسته با افزایش دستگاه‌های اینترنت اشیا در زمینه‌های سلامت، کشاورزی، صنعت و دیگر کاربردها روبرو هستیم، آن‌چنان که بهبود کیفیت سرویس هنوز از الزامات این شبکه‌ها است. معمولاً تولید داده توسط حسگرهای اینترنت اشیا به‌صورت ناهمگن در زمان‌های مختلف با اندازه و اولویت‌های متفاوت هستند، در این مقاله باهدف بهبود کیفیت سرویس، ارسال به‌موقع بسته‌های حساس به تأخیر و همچنین عدم گرسنگی بسته‌های با اولویت‌های پایین‌تر، یک معماری شامل دو بخش اولویت‌بندی ارائه شده است. در بخش اول، انتخاب بسته جهت ارسال بر اساس یک نوع اولویت‌بندی پویا و نسبت به مهلت تأخیر آن بسته انجام می‌گردد. ازآنجاکه در این مقاله کاربرد اینترنت اشیا در مراقبت سلامت در نظر گرفته شده است و حسگرها هم به‌صورت دوره‌ای (ثابت) و هم بر اساس ضرورت (بحرانی) داده تولید می‌کنند: بنابراین بر اساس ویژگی بار کاری، در این بخش از دو مدل صف D/G/1 و M/G/1 استفاده می‌شود. بخش دوم نیز شامل اولویت‌بندی کانال است. در این بخش با استفاده از یک کانال کنترلی و تنظیم زمان انتظار گره فرستنده برای گوش‌دادن به کانال، ارسال بسته از طریق کانال مجاز را داریم. علاوه بر این از یک مدل پرش کانال تلفیقی نیز برای استفاده گره‌ها از پهنای باند موجود استفاده شده است. همچنین یک بافر برای نگهداری اطلاعات آخرین ارتباط گره، کمک می‌کند تا ارسال و دریافت سریع‌تر با تعداد سوئیچینگ کمتر انجام شود. پس از شبیه‌سازی و مقایسه این مدل با استاندارد ۸۰۲/۱۱ و پروتکل‌های دسترسی به رسانه مشابه، شاهد بهبود قابل‌توجهی در افزایش نرخ تحویل بسته، نرخ‌گذردهی و همچنین کاهش تأخیر انتها به انتها هستیم.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا، کیفیت سرویس دسترسی به کانال، زمان‌بندی، اولویت‌بندی پویا

[۱] استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران (oabedi@uk.ac.ir)- نویسنده مسئول

[۲] دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

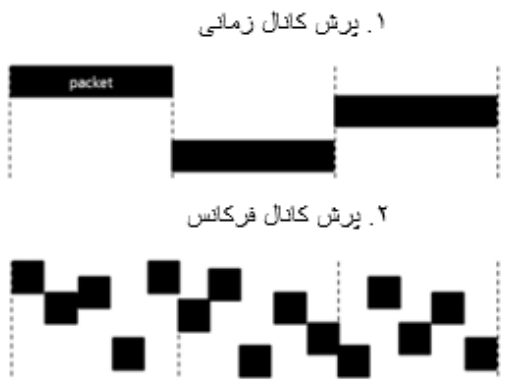
© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۱- مقدمه

امروزه مفهوم اینترنت اشیا(IoT) بر روی ابعاد مختلف زندگی و کار انسان‌ها تأثیر دارد. اصطلاح جدیدی نیز با عنوان اینترنت همه چیز IoE توسط سیسکو معرفی شده است که توسعه یافته IoT می‌باشد. در تعریف اینترنت همه چیز، " افراد، فرآیندها، داده‌ها و اشیا گرد هم می‌آیند تا ارتباطات شبکه‌ای مرتبط‌تر و ارزشمندتر شود[۱]". اینترنت اشیا در برنامه‌های هوشمند مختلف از جمله خانه، کشاورزی ، بیمارستان، شهر و وسایل نقلیه [۴-۲] کاربرد دارد. اطمینان از کیفیت خدمات خوب با تأخیر کم برای برنامه‌های IoT و پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی بلادرنگ آگاه از تأخیر بسیار مهم است. اهمیت بهبود کیفیت سرویس در اینترنت اشیا تا آنجاست که در موارد حساس مانند ایمنی وسایل نقلیه و یا هشدارهای مراقبت سلامت، تأخیر می‌تواند فاجعه به بار آورد. در همین راستا [۵] نیز به ارزیابی عوامل مؤثر در کیفیت سرویس پروتکل‌های مسیریابی پرداخته است. مؤلفه‌های کیفیت سرویس در لایه شبکه مؤلفه‌هایی از جمله تأخیر انتها به انتها، نوسان تأخیر، نرخ تحویل بسته و نرخ‌گذردهی است [۶]. با وجود تلاش‌های بسیاری که تاکنون برای بهبود کیفیت سرویس در اینترنت اشیا صورت گرفته است، این عرصه همچنان نیازمند روش‌های نوین برای تحقق این امر است.

استفاده از سامانه صف و اولویت‌بندی پویا در بهبود کارایی و عملکرد شبکه اینترنت اشیا تأثیر بسزایی دارد. در روش پیشنهادی کاربرد اینترنت اشیا در برنامه مراقبت سلامت در نظر گرفته شده است، در این مدل یک دسته از داده‌ها دمای بدن و یا فشارخون به صورت دوره ای با توزیع ثابت و دسته دیگر داده‌هایی مانند ضربان قلب به صورت بحرانی با توزیع پواسن و ورود نمایی به صف اولویت خود وارد می‌شوند و سپس سرویس‌دهی بسته‌ها بر اساس اندازه، اولویت و مهلت زمانی با مدل G کندال انجام می‌شود. همچنین شبکه اینترنت اشیا همان شبکه‌های حسگر بی‌سیم[1](WSN) با استاندارد IEEE802.11 است. در روش پیشنهادی این مقاله از پروتکل MAC با رقابت بین گره‌ها (CSMA) استفاده می‌شود و برای دسترسی گره به رسانه انتقال، مؤلفه‌هایی چون اندازه بسته، اولویت بسته، تعداد گره‌ها، تعداد و پهنای باند کانال دخالت دارند. همچنین در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به منظور افزایش نرخ انتقال و کاهش تصادم، از چند کانال انتقال به جای یک کانال، بین فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود و سپس با توجه به اولویت کانال یا اهمیت داده‌ها، کانال مناسب انتخاب می‌شود. در این روش نیز عملیات همگام‌سازی بین گره فرستنده و گیرنده لازم است تا هر دو روی کانال مناسب توافق کنند[۷]. در شکل (۱) رهیافت‌های کلی دسترسی به رسانه، نشان داده شده است[۸].



شکل (۱): پرش کانال زمانی [2]و پرش کانال فرکانس[3]

ما در روش پیشنهادی خود از تلفیق CSMA و TDMA برای دسترسی گره به کانال استفاده می‌کنیم. گره پس از پیروزی در رقابت، متناسب با اولویت بسته‌های ارسالی و تعداد کل اولویت‌ها، می‌تواند کانال را به مدت‌زمان محدودی در اختیار داشته باشد. همچنین در این مقاله زمان انتظار گره برای گوش‌دادن به کانال و رقابت با دیگر گره‌ها (Backoff)، به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که گره دارای بسته با اولویت بالاتر زودتر بتواند به کانال دسترسی پیدا کند. در مرحله آخر نیز با درنظرگرفتن یک بافر برای هر گره در شبکه، ارسال سریع‌تر بسته‌ها و کاهش سوئیچینگ بین کانال را داریم.

در ادامه در بخش دوم کارهای مرتبط و مزایا و معایب آن‌ها بیان می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی را توضیح می‌دهیم. در بخش چهارم به ارزیابی روش پیشنهادی و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- کارهای مرتبط

تاکنون محققان برای بهبود مؤلفه‌های کیفیت سرویس، روش‌های متعددی ارائه کرده‌اند. ازآنجاکه بسته‌های تولید شده توسط حسگرهای شبکه اینترنت اشیا دارای سطوح تحمل تأخیر متفاوت هستند: بنابراین برای ارسال به‌موقع و جلوگیری از حذف بسته‌ها، سامانه صف تأثیر بسزایی دارد همان‌طور که در [۹] تأثیر صف بر عملکرد ترافیک چند کلاسه در یک شبکه مورد بحث قرار گرفته است. از طرفی در بحث بهبود روش‌های دسترسی به رسانه انتقال

[1] Wireless Sensor Network

[2] Time division multiple access

[3] frequency division multiple access

نیز برای زمان‌بندی و اولویت‌بندی کانال‌ها و پرهیز از برخورد، روش‌هایی پیشنهاد شده است. توجه این مطالعه به هر دو بعد قضیه می‌باشد؛ بنابراین کارهای مورد نظر، روش‌هایی است که با مدل صف بر روی تخصیص بهینه کانال کار کرده‌اند. با این حال به دلیل محدود بودن تعداد این نمونه کار، در اینجا ابتدا به دسته بندی کارهای با مبنای زمان‌بندی و مدل صف پرداخته می‌شود و پس از آن نمونه پیشنهادهایی که برای بهبود شبکه و تخصیص کانال انجام شده است و در نهایت پیشنهاداتی که با مدل صف بر روی تخصیص کانال ارائه شده است مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲-۱- تطبیق کیفیت سرویس بسته‌ها مبتنی بر کیفیت سرویس کانال

نویسندگان در [۱۰] برای تجزیه و تحلیل عملکرد برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا مدل احتمالی ON/OFF را تعمیم داده و به نتیجه کاهش زمان انتظار و افزایش نرخ رسیدن بسته‌ها دست یافته‌اند. مشکل این روش این است که عمر محدود بسته‌ها را در نظر نمی‌گیرد بنابراین برای داده‌های بلادرنگ مناسب نیست. دایویا و سیما[۱۱] نیز با استفاده از تئوری صف، سامانه مدیریت پارک هوشمند را ارائه داده‌اند، که از طریق پورتال وب نزدیکترین جایگاه خالی پارک را به کاربر نشان می‌دهد. آنها از مدل صف چند سروری با مدل FIFO استفاده کرده‌اند. این کار برای جلوگیری از ازدحام در ساعات اوج مصرف، پیشنهاد شده و زمان انتظار کاربر در صف را تخمین می‌زند هرچند که این تخمین زیاد دقیق نیست. در [۱۲] با هدف بهبود توان عملیاتی و کاهش تأخیر، یک مدل دو کلاسه حساس به تأخیر و با تحمل تأخیر در ارتباطات ماشین به ماشین در نظر گرفته شده است و با تنظیم زمان عقب‌گرد به تناسب هر کلاس، توانسته است به اهداف خود دست یابد. در [۱۳] ترافیک همزمان خانه هوشمند با بازی صف مدل شده است. به این صورت که سه ترافیک دوره‌ای، تصادفی و پیوسته برای ورود به دروازه خانه هوشمند در نظر گرفته شده که ترافیک دوره‌ای با ورودی مشخص و ثابت، ترافیک تصادفی با ورودی توزیع پواسن و ترافیک پیوسته را با بازی صف به صورت برنده بازنده، مدل می‌کنند. نتیجه کار کاهش تأخیر کل می‌باشد اما مشکل الگوریتم پیشنهادی آنها، سربار اضافی و همچنین فرض یکسان بودن اندازه تمام بسته‌های ورودی است. نویسندگان یک پیشنهاد دیگر [۱۴] برای صف پویا آگاه از کیفیت سرویس و کیفیت تجربه (QoS/QoE) ارائه کرده‌اند که در آن یک مدل صف برای ترافیک خانه هوشمند با دو سطح اولویت بسته ورودی، باعث کاهش تأخیر و جلوگیری از قحطی زدگی اولویت‌های پایین شده است. در این روش نیز اندازه تمامی بسته‌های ورودی یکسان فرض شده است. نویسندگان [۱۵] حسگرهای اینترنت اشیا را بر اساس مکان و تعداد هسته‌ها در هر دستگاه در ساختمان هوشمند را گروه بندی نموده و سپس با ارائه یک معماری مبتنی بر صف D/M/C/K/FCFS، عملکردهای مختلف را ارزیابی کرده‌اند. کیم[۱۶] نیز با توجه به پویا بودن ترافیک شبکه و الزامات QoS ومدیریت کنترل ترافیک، با یک بازی چانه زنی دو سطحی، اشتراک‌گذاری و تخصیص پهنای باند را در مورد ترافیک خانه هوشمند پیشنهاد می‌دهد. سیدکیوان و علی[۱۷] با هدف مدیریت فعال صف و کنترل ازدحام، الگوریتم محاسبه احتمال حذف بسته به صورت تابع دوگانه لگاریتمی و نمایی با عملیات سوئیچ را پیشنهاد کردند که توسط آن حذف بسته‌ها به صورت انتخابی و احتمالی یعنی آگاهانه و با رعایت عدالت انجام می‌شود. این الگوریتم افزایش توان عملیاتی و کاهش بسته‌های حذف شده را نتیجه داده است. نویسندگان [۱۸] با یک مدل تحلیلی مبتنی بر زنجیره مارکوف برای اطمینان از محدودیت های اولویت، عملکرد صف چند طبقه را مدلسازی و ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها کلاس‌های اولویت و محدودیت مهلت بسته‌های ورودی را برای بسته‌های با ورودی ثابت در نظر گرفته و به ورودی‌های با توزیع پواسن توجهی نداشته‌اند.

در بحث شبکه، گایونگ و مینجونگ[۱۹] الگوریتمی برای محاسبه تعداد کانال بهینه و به حداقل رساندن تعداد کانال‌ها توسط یک روش پرش تطبیقی ارائه کرده‌اند این الگوریتم برای اینترنت اشیا در سامانه ارتباطات سیار 5G بوده و نتیجه آن بهبود عملکرد سامانه و اجتناب از برخورد می‌باشد. همچنین نویسندگان [۲۰] یک پروتکل دسترسی به رسانه تطبیقی کارآمد برای برنامه‌های حیاتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه کرده‌اند این پروتکل شامل دو الگوریتم است. الگوریتم اول مبتنی بر اولویت است که گره با بسته‌های زیاد به عنوان سرخوشه اتخاب می‌شود و الگوریتم دوم تکنیک رگرسیون برای چرخه وظایف گره بر اساس میزان ترافیک و انرژی باقیمانده گره است. نتیجه‌ی کار صرفه‌جویی در انرژی و مقیاس‌پذیر بودن است همچنین این روش برای برنامه‌های بلادرنگ نیز مناسب است. پروتکل دسترسی به رسانه چند کاناله دیگری در [۲۱] برای مسافت‌های طولانی و بدون تداخل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است این کار شامل الگوریتم تخصیص کانال بوده و با ترکیب

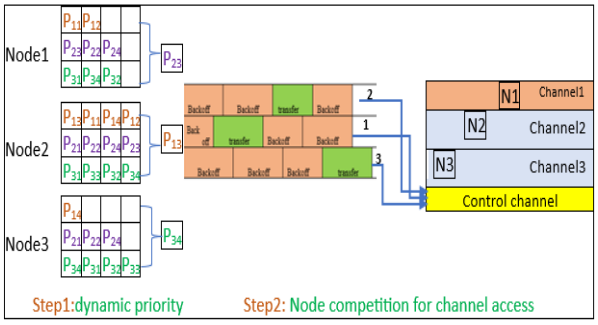
CSMA و TDMA باعث افزایش توان عملیاتی و کاهش تأخیر نسبت به سناریوهای چند کاناله ۸۰۲/۱۱ شده است. نویسندگان این روش از توالی پرش فرکانس متفاوت استفاده کرده‌اند. آن‌ها از یک کانال کنترل و چند کانال انتقال داده در کار خود استفاده کرده‌اند. روش‌هایی که از پرش فرکانس در آن‌ها استفاده می‌شود به طور کلی مشکل مصرف بالای انرژی دارند. یک کار دیگر با ایجاد تغییراتی در CSMA/CA بسته‌های با مهلت زمانی را در نظر می‌گیرد که در صورت انقضای زمان، بسته را حذف می‌کند. افزایش دریافت بسته‌ها در زمان مجاز و کاهش برخورد و صرفه جویی در انرژی از مزایای این پروتکل است که آن را برای داده‌های بلادرنگ نیز مناسب می‌کند. از معایب این کار فرض یکسان بودن تمام بسته‌ها می‌باشد[۲۲]. [۷] نیز پروتکل MAC-pro را به منظور افزایش توان عملیاتی، کاهش میانگین تأخیر و اجتناب از برخورد پیشنهاد داده است. نویسندگان برای یافتن مناسب‌ترین کانال و تخصیص کانال اولویت یک الگوریتم ارائه می‌کنند که به جای یک عدد تصادفی گروهی از اعداد تصادفی بر اساس مؤلفه‌های اولویت تولید کرده و در صورتی که همه اعداد از تمامی اعداد گره‌های دیگر کمتر باشد پس کانال به آن گره تعلق می‌گیرد. این روش مشکل سربار اضافی دارد. [۲۳] نیز با هدف کاهش تأخیر انتها به انتها، افزایش توان عملیاتی، کاهش مصرف انرژی و طول عمر شبکه یک پروتکل دسترسی به رسانه چند کاناله مبتنی بر حد نصاب برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه کرده‌اند، این کار با دو مرحله ۱- بکار گرفتن یک برنامه زمانی بیداری مشترک برای گره‌هایی که با هم تعامل دارند ۲-تخصیص مجموعه ای کانال به هر گره و ارسال کننده های آن، انجام شده است. سو و همکاران او در [۲۴] یک پروتکل دسترسی به رسانه چندکاناله بر اساس فرآیند تصمیم گیری مارکوف طراحی کرده‌اند که تخصیص کانال‌ها به گره‌های حسگر به صورت تطبیقی انجام می‌شود. این کار برای سامانه سلامت الکترونیکی با قابلیت Edge در نظر گرفته شده و کاهش نرخ برخورد و مصرف انرژی، افزایش توان عملیاتی و بهبود استفاده از کانال را نتیجه داده است.

نویسندگان [۲۵] با ارائه یک طرح دو بخشی ۱- مکانیسم دسترسی به کانال اولویت‌دار برای گره اولویت (بالا و یا پایین) و ۲- زمان‌بندی بسته‌ها با مدل صف M/G/1 ، به کاهش تأخیرو بهبود قابلیت‌اطمینان در مقایسه با صف بدون اولویت در اینترنت اشیا بی‌سیم کمک کرده‌اند. در نتیجه کار این گروه افزایش قابلیت‌اطمینان بالاتر برای اولویت بالا نسبت به اولویت پایین می بینیم که این خود به معنی قحطی زدگی بسته‌های با اولویت پایین می‌باشد. [۲۶] نیز به طراحی سامانه موقعیت‌یابی و ارسال علائم حیاتی و محیطی نیروی عملیاتی پرداخته است. علاوه بر اینها تعدادی از افراد بر روی بررسی، ارزیابی و طبقه‌بندی انواع پروتکل‌های دسترسی به رسانه و مکانیسم های کیفیت سرویس در شبکه‌های حسگر بی‌سیم کار کرده‌اند[۳۰-۲۷].

مطابق با مواردی که در بالا ذکر شد، اکثر کارهایی که در زمینه بهبود کیفیت سرویس در اینترنت اشیا و شبکه‌های حسگر بی‌سیم صورت‌گرفته است، بر روی یک موضوع خاص از جمله کنترل ازدحام و زمان‌بندی بسته‌ها و یا پیشنهاد یک پروتکل برای بهبود دسترسی به کانال‌های شبکه می‌باشد درحالی‌که این مقاله یک معماری را ارائه می‌نماید که به هر دو جنبه کار توجه شده است و پس از اولویت‌بندی بسته‌ها و ورود آن‌ها به صف مخصوص خود در گره حسگر، رقابت بین گره‌ها را باتوجه‌به اولویت کانال‌ها از طریق کانال کنترلی شبیه‌سازی می‌کند.

۳- پروتکل پیشنهادی

در روش دوبخشی پیشنهادی، یک شبکه متشکل از N گره در نظر گرفته شده است و هر گره، بسته‌های متعدد از سمت حسگرهای شبکه دریافت می‌کند. ما فرض می‌کنیم ۱- بسته‌های ورودی در اولویت، تحمل تأخیر و اندازه با هم متفاوت هستند، ۲- اندازه و تحمل تأخیر بسته‌های هم اولویت نیز ممکن است متفاوت باشد و ۳- هر گره می‌تواند از هر کلاس اولویت، بسته دریافت کند. شکل (۲) یک نمونه از زمان‌بندی بسته‌ها و رقابت گره‌ها را نشان می‌دهد، گره ۲ به‌دلیل اینکه ۱. تعداد بسته‌های اولویت بالای بیشتری دارد و ۲. بسته با مهلت زمانی کمتری دارد، زمان انتظارش کمتر است و سریع‌تر به کانال دسترسی می‌یابد و پس از آن به ترتیب گره‌های ۱و۳ می‌توانند کانال را به‌دست آورند.



شکل (۲): مدل دوبخشی پیشنهادی

۳-۱- فاز اول

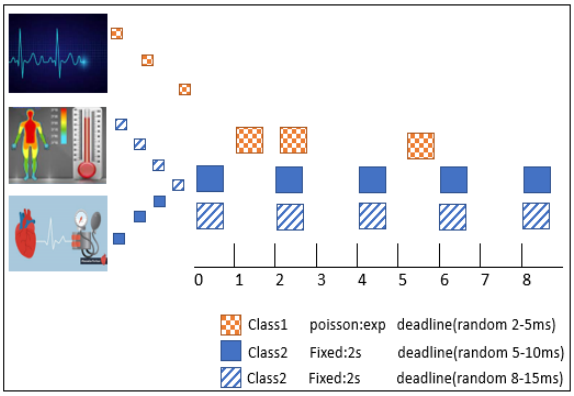
در بخش اول برای هر بسته، دو فیلد کلاس اولویت و مهلت زمانی

در نظر گرفته شده است. به‌طوری‌که بسته باکلاس اولویت بالاتر مهلت زمانی کمتری نسبت به بسته باکلاس اولویت پایین‌تر دارد. با فرض اینکه مهلت زمانی بسته باکلاس اولویت i ، $Deadline_i$ می‌باشد و $i\epsilon\{1,2,\dots,p\}$ است بنابراین داریم :

$$\text{Deadline}_1 < \text{Deadline}_2 < \cdots < \text{Deadline}_i \qquad (۱)$$

نکته قابل‌توجه این است که در مدل پیشنهادی، مهلت زمانی بسته‌های هم اولویت لزوماً یکسان نیستند. ممکن است یک بسته از اولویت c مهلت زمانی متفاوتی نسبت به بسته دیگری از همان اولویت داشته باشد شکل (۲). به‌عنوان‌مثال بسته s هشدار سرقت و بسته h مربوط به هشدار حریق، هر دو از یک کلاس اولویت و دارای مهلت زمانی کم هستند، اما ممکن است $Deadline_s = 20$ میلی‌ثانیه و $Deadline_h = 25$ میلی‌ثانیه باشد. همچنین با توجه به ترافیک تولید شده توسط دستگاه‌های اینترنت اشیا دو مدل صف در نظر گرفته شده است. مدل اول، D/G/1 برای آن دسته از ترافیک در نظر گرفته شده است که به صورت دوره‌ای و در زمان‌های t ثانیه‌ای با توزیع ثابت و مشخص D وارد گره می‌شوند. میانگین ورود در این گروه λ_D می‌باشد . مدل دوم، M/G/1 و برای ترافیک‌های با اولویت بالا و بحرانی است که زمان ورود ثابت و مشخصی ندارند، این گروه با فرآیند توزیع پواسن و نرخ بین دو ورود نمایی با میانگین ورود λ_M مدل شده است. بنابراین اگر p کلاس اولویت در نظر بگیریم نرخ ورود ترافیک آن‌ها $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ می‌باشد. ازآنجاکه بسته از هر اولویت در زمان‌های متفاوت به یک گره وارد می‌شود، نرخ ورود (λ_i) به‌طوری‌که $i \in \{1,2,\dots,p\}$ می‌باشد. با فرض اینکه p اولویت در شبکه وجود دارد. بنابراین λ کل با توزیع پواسن و نرخ نمایی برابر است با :

$$\lambda = \sum_{i=1}^{p} \lambda_i \qquad (۲)$$



شکل (۳): کلاس‌بندی و نحوه تعیین مهلت زمانی بسته‌ها

میانگین نرخ سرویس‌دهی μ که در شبکه با عنوان مدت‌زمان انتقال بیان می‌شود، برای همه کلاس‌ها به‌صورت تطبیقی نسبت به‌اندازه بسته ورودی، مطابق با رابطه (۳) مدل شده است. ازآنجا که بسته‌ها در شبکه اینترنت اشیا به‌صورت ناهمگن و با اندازه‌های متفاوت تولید می‌شوند، با افزایش اندازه بسته، مدت‌زمان سرویس‌دهی نیز افزایش می‌یابد و مطابق با فرمول زیر هر چه اندازه بسته بزرگ‌تر باشد نسبت به پهنای باند کانال، مدت‌زمان انتقال آن بیشتر است. همچنین با فرض اینکه بسته‌های هر کلاس اولویت از نظر اندازه در محدوده خاصی قرار گرفته‌اند و نسبت به کلاس‌های دیگر بزرگ‌تر یا کوچک‌تر هستند؛ بنابراین زمان انتقال به‌اندازه بسته، کلاس اولویت و پهنای باند کانال انتقال آن بستگی دارد.

$$st = \mu_i = \begin{cases} \dfrac{d_1}{b_1} & i = 1 \\ \dfrac{d_i}{(b_j)} & i > 1 \end{cases} \qquad (۳)$$

که:

d_i: اندازه بسته از کلاس اولویت i

b_j: پهنای باند کانال‌های مجاز اولویت i مطابق با رابطه (۹)

طبق رابطه بالا چنانچه بسته موردنظر جهت ارسال، اولویت یک داشته باشد فقط از طریق کانال شماره یک می‌تواند ارسال شود. پس زمان سرویس این بسته برابر با اندازه بسته تقسیم بر پهنای باند کانال یک می‌شود و اگر بسته موردنظر از اولویت‌های بالاتر از یک باشد، از طریق کانال با پهنای باند b_j ارسال می‌شود؛ بنابراین زمان ارسال آن برابر با اندازه بسته تقسیم بر کانال مجاز برای ارسال این اولویت می‌شود که در ادامه، کانال‌های مجاز و پهنای آن‌ها شرح داده می‌شود.

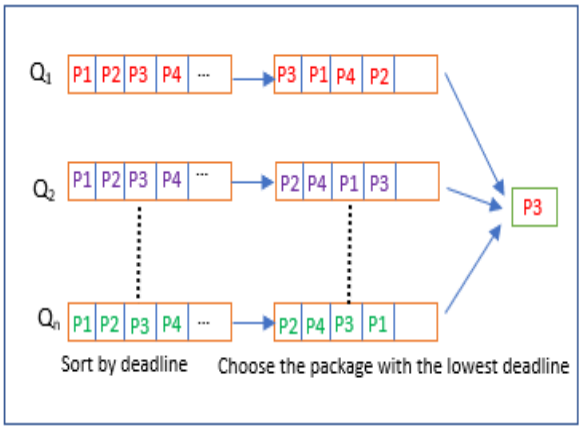
۳-۱-۱- اولویت‌بندی پویا و انتخاب بسته جهت ارسال

در روش پیشنهادی، یک اولویت‌بندی پویا یا عنوان کوتاه‌ترین مهلت زمانی[1](SDL) نیز در نظر گرفته شده است. در این مدل، بسته ورودی نسبت به فیلد کلاس که نشان‌دهنده اولویت آن بسته بوده به یکی از صف‌های اولویت وارد می‌شود و با ورود بسته به صف، زمان‌سنج بکار می‌افتد و از مهلت زمانی بسته کاسته می‌شود. برای جلوگیری از حذف بسته‌هایی که بحرانی‌تر بوده و محدودیت زمانی کمتری دارند، در هر لحظه مرتب‌سازی بسته‌ها در صف بر اساس مهلت زمانی انجام می‌شود و همیشه بسته با

[1] Shortest Deadline

محدودیت زمانی کمتر جهت سرویس‌دهی، در ابتدای صف قرار می‌گیرد. درصورتی‌که محدودیت زمانی یک بسته تمام شود (عدد مهلت زمانی به صفر برسد)، بسته از صف خارج شده و از بین می‌رود. به دلیل اینکه محدودیت زمانی بسته با اولویت بالاتر به ترتیب کمتر از اولویت پایین‌تر است، پس بیشتر، از بسته‌های اولویت‌های بالاتر برای سرویس‌دهی انتخاب می‌شوند.

همان‌گونه که در شکل (۴) نیز مشاهده می شود در مرحله اول بسته ها در صف اولویت خود قرار می‌گیرند سپس هر صف بسته های خود را مطابق با مهلت زمانی به ترتیب مرتب می‌کند. برای انتخاب یک بسته جهت انتقال، بسته های سر صف همه کلاسها با هم مقایسه شده و بسته با کمترین مهلت زمانی برای ارسال انتخاب می‌گردد.



شکل (۴): اولویت بندی پویا (SDL)

در مدل پیشنهادی این مقاله از مدل غیر پیشگیرانه[1] استفاده می‌شود و میانگین زمان انتظار در این مدل، برای اولویت i از رابطه (۴) بدست می‌آید[۲۴].

$$W_i = \frac{W_o}{(1-(\rho_1+\rho_2+\dots+\rho_i))(1-(\rho_1+\rho_2+\dots+\rho_{i+1}))} \quad i\epsilon\{1,2,\dots,p\}: \qquad (۴)$$

که در آن p تعداد کل اولویت‌ها و ρ همان نرخ بهره‌وری است و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۲۴]:

$$\rho_i = \sum_{j=1}^{i} \lambda_j E[S_j] \qquad (۵)$$

ρ_i نرخ بهره‌وری کل، λ_j نرخ ورود اولویت j و $E[S_j]$ میانگین زمان سرویس اولویت j است.

همچنین W_o میانگین زمانی است که یک بسته وارد شده، باید منتظر بماند تا سرویس فعلی که در حال انجام است به اتمام برسد[۲۴].

$$W_o = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{i} \lambda_j E[S_j^2] \qquad (۶)$$

بنابراین، میانگین زمان انتظار اولویت i برابر است با:

$$E[W_i] = \frac{\sum_{j=1}^{i} \rho_j E[S_j^2]}{(1-\rho_i)(1-\rho_{i+1})} \qquad (۷)$$

جایی که:

$$E[S_j^2] = \frac{4}{3} E[S_j]^2 \qquad (۸)$$

۳-۲- فاز دوم

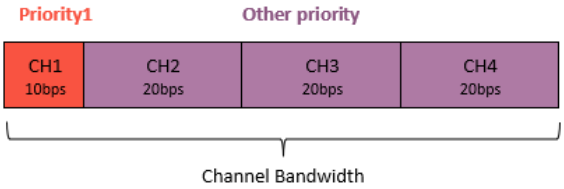
پس از اینکه یک گره، بسته اولویت خود را برای ارسال انتخاب کرد حال نیاز به رقابت بین گره‌ها برای به‌دست‌آوردن کانال در شبکه است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه به‌منظور افزایش توان عملیاتی و کاهش تداخل، از چند کانال به‌جای یک کانال واحد استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی این مطالعه، کانال‌ها به‌صورت ناهمگن در نظر گرفته شده است؛ یعنی پهنای باند کانال به چند قسمت به‌گونه‌ای تقسیم می‌شود تا بتوان بسته‌های با اولویت‌های متفاوت را به‌موقع ارسال کرد. براین‌اساس برای بسته‌های با اولویت یک که بالاترین اولویت بوده و مربوط به بسته‌های بحرانی هستند، قسمتی از کانال رزرو می‌شود و ازآنجاکه نرخ ارسال این بسته‌ها کمتر است برای جلوگیری از کاهش بهره‌وری کانال، پهنای باند کمتری در نظر گرفته شده است. البته مقدار خیلی کم این پهنای باند نیز ممکن است باعث کاهش نرخ انتشار بسته‌های اولویت بالا شود. پهنای باند باقی‌مانده، برای ارسال بسته‌های با اولویت‌های بعدی به چند قسمت مساوی تقسیم می‌گردد.

$$b_j = \begin{cases} m & j = 1 \\ \frac{n-m}{c} & j = 2,3,\dots,p \end{cases} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق، p تعداد کل اولویت‌های موجود، n کل پهنای باند شبکه است و m مقداری از پهنای باند شبکه است که برای انتقال بسته‌های اولویت یک رزرو می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد معمولاً ترافیک اولویت یک کمتر از سایر اولویت‌ها است؛ چون در مواقع خاص و بحرانی تولید می‌شود؛ بنابراین مؤلفه m باتوجه‌به تعداد بسته‌های اولویت یک در نظر گرفته می‌شود. c تعداد کانال‌های مجاز برای بسته‌های از کلاس اولویت دو و بالاتر می‌باشد که به‌صورت مؤلفه و بسته به بارکلی شبکه و میزان

[1] non-preventive

پهنای باند موجود در نظر گرفته می‌شود، و P تعداد کل اولویت‌ها است. به‌عنوان‌مثال در شکل (۵)، کل پهنای باند شبکه ۷۰ bps می‌باشد که نسبت به بسته‌های اولویت موجود، ۱۰ bps آن به بسته‌های اولویت یک و مابقی به‌صورت سه کانال ۲۰تایی به سه اولویت دیگر اختصاص‌داده‌شده است.



شکل (۵): تقسیم و تخصیص کانال اولویت

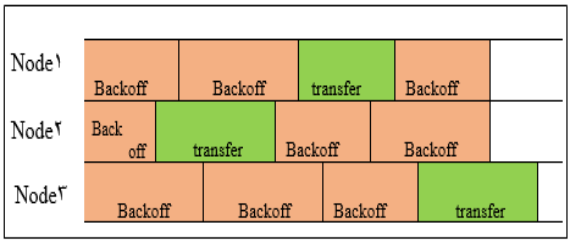
همچنین به‌منظور بهبود توان عملیاتی در شبکه، برای هماهنگی (دست دهی) بین گره‌های فرستنده و گیرنده از یک کانال کنترلی استفاده می‌شود. برای جلوگیری از تداخل و همچنین اطمینان بالاتر، گره فرستنده ابتدا مدت زمانی (عقب‌گرد[1]) منتظر می‌ماند و پس از آن به کانال کنترلی گوش می‌دهد و در صورت آزاد بودن کانال، بسته درخواست خود (RTS) را به سمت گیرنده ارسال می‌کند. ما می‌خواهیم هر اندازه که گره، بسته‌های بیشتری از اولویت بالاتر دارد به همان میزان، زودتر به کانال گوش دهد؛ یعنی زمان انتظار آن گره کمتر شود؛ بنابراین مطابق با رابطه (۱۰) برای هر اولویت یک وزن معادل با همان اولویت در نظر گرفته شده است. مثلاً بسته با اولویت i وزنی معادل عدد i دارد. همچنین هر چه تعداد بسته‌های اولویت بالاتر در یک گره بیشتر باشد آن گره زمان کمتری را به‌عنوان عقب‌گرد طی می‌کند. علاوه بر این تعداد گره‌ها نیز در تعیین میزان عقب‌گرد نقش مؤثری دارد. باتوجه‌به این‌که با افزایش تعداد گره‌های شبکه تقاضا برای دسترسی به کانال کنترلی بیشتر می‌شود پس بهتر است که زمان انتظار گره‌ها کمتر باشد تا گره سریع‌تر بتواند به کانال کنترلی دسترسی یابد و مدت‌زمان بیکاری این کانال به حداقل برسد. پس به‌ازای هر گره زمان انتظار معادل مجموع حاصل‌ضرب تعداد بسته‌های اولویت i آن گره (p_i) در وزن هر بسته (w_i)، تقسیم به تعداد گره‌های موجود در شبکه (n) می‌شود.

$$\text{Backoff} = \frac{\sum_{i=1}^{c} p_i w_i}{n} \qquad i = \{1,2,3,\dots,c\} \qquad (۱۰)$$

از طرفی با افزایش تقاضا، اگر زمان انتظار (Backoff) کم شود ممکن است احتمال برخورد افزایش یابد بنابراین یک T_{min} در نظر گرفته شده است که اگر زمان عقب‌گرد از این میزان کمتر شود گره مجبور شود x بار مقدار Backoff را محاسبه کرده و منتظر آن بماند. مقدار x از رابطه زیر به دست می‌آید:

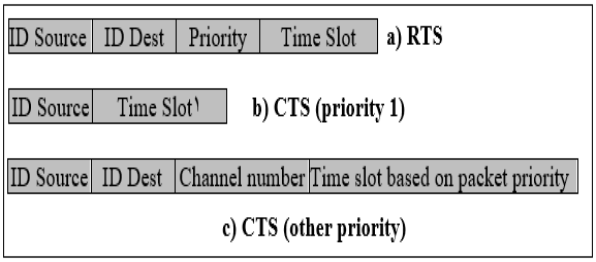
$$\{x = 1,2,\dots | x \times \text{Backoff} > T_{min}\} \qquad (۱۱)$$

پس از اینکه زمان انتظار گره به پایان رسید به کانال کنترل گوش می‌دهد چنانچه کانال کنترل مشغول باشد مجدداً یک عقب‌گرد دیگر صبر کرده و پس از آن به کانال گوش می‌دهد و همین روند ادامه دارد تا کانال آزاد شود. به‌عنوان‌مثال در شکل (۶) گره 2 بسته‌های با اولویت بالای بیشتری دارد پس زمان انتظار آن کمتر بوده و سریع‌تر بسته درخواست خود را ارسال می‌کند و به همین ترتیب گره شماره ۱ و نهایتاً گره شماره ۳ که بسته‌های اولویت پایین تر باعث شده است این گره زمان انتظار طولانی تری داشته باشد و هر بار با اتمام زمان انتظار چون کانال را مشغول می‌یابد یک عقب‌گرد دیگر صبر می‌کند و نهایتاً پس از سه بار انتظار، بسته درخواست خود را ارسال می‌کند.



شکل (۶): مثالی از زمان انتظار گره، براساس اولویت بسته ارسالی

اما اگر کانال آزاد بود گره فرستنده بسته RTS خود را به سمت گیرنده ارسال می‌کند. مطابق با بخش a از شکل (۷)، اطلاعاتی چون شماره اولویت بسته و مدت‌زمان موردنیاز برای ارسال بسته در RTS ارسالی، به گره گیرنده فرستاده می‌شود.



شکل (۷): بسته‌های کنترلی RTS , CTS

۱- گره فرستنده
۲- گره گیرنده
۳- شماره اولویت بسته انتخابی گره
۴- مدت‌زمان در اختیار داشتن کانال توسط فرستنده

اگر کانال درخواست ۱ باشد معادل یک اسلات زمانی و اگر کانال دیگری باشد مطابق با رابطه (۱۴) که در ادامه بیان می‌شود.

[1] Backoff

۳-۲-۱- اولویت‌بندی کانال‌ها

اگر اولویت بسته $\{\boldsymbol{priority = i}\ ,|\ \boldsymbol{i = 1}\}$ باشد گره گیرنده می داند که باید از طریق کانال رزرو شده مخصوص اولویت یک بسته ارسال گردد پس در صورتی که این کانال آزاد باشد بسته CTS مطابق با بخش b از شکل (۷) را به سمت فرستنده ارسال می‌کند.در اینجا چون گره‌های ارسال‌کننده و دریافت‌کننده می‌دانند که بسته با اولویت یک را فقط با کانال یک می‌توانند ارسال و دریافت کنند پس در CTS ارسالی، شماره کانال توافق بیان نمی‌شود و این به کاهش اندازه CTS و انتقال سریع‌تر آن کمک می‌کند.

پس از دریافت بسته CTS گره فرستنده و گیرنده بر روی کانال شماره یک سوئیچ کرده و انتقال داده صورت می‌گیرد. هم‌زمان با ارسال اولین بسته، زمان‌بند SDL متوقف می‌شود و گره فرستنده می‌تواند به‌اندازه یک اسلات زمانی ثابت، بسته‌های موجود در صف اولویت بالا (شماره یک) خود را ارسال کند. یعنی هر گره شبکه که کانال شماره یک مختص بسته‌های اولویت یک را به دست آورد به‌اندازه مدت‌زمان معینی کانال را در اختیار داشته (روش TDMA) و پس از آن کانال را آزاد می‌کند. همچنین بعد از ارسال هر بسته اگر ACK دریافت شود که بسته بعدی ارسال می‌گردد در غیر این صورت بسته تا سه مرتبه مجدداً ارسال می‌شود و اگر بار سوم نیز بسته تأیید (ack) دریافت نشد بسته حذف می‌گردد. اما اگر بسته CTS توسط فرستنده، دریافت نشود گره فرستنده به‌اندازه زمان عقب‌گرد منتظر مانده تا زمانی که کانال کنترلی آزاد و مجدداً درخواست RTS خود را ارسال کند.

درصورتی‌که اولویت بسته $\{priority = j\ ,|\ j > 1\}$ باشد، گره فرستنده RTS خود را با فیلدهایی که در بخش a از شکل (۷) مشاهده می‌شود، به سمت گیرنده می‌فرستد.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد بسته‌ها در شبکه دارای اولویت‌های مختلف هستند و هر اولویت نیز برای ارسال، محدودیت زمانی خاص خود را دارد. مثلاً بسته‌های اولویت j محدودیت زمانی کمتری نسبت به بسته‌های اولویت j+1 دارند و داده‌های مهم‌تری هستند که تحمل تأخیرشان نیز کمتر است پس گرهی که بسته از اولویت j دارد، اسلات زمانی بیشتری می‌تواند کانال را در اختیار داشته باشد نسبت به گرهی که می‌خواهد بسته از اولویت j+1 را ارسال کند. براین‌اساس رقابت بین گره‌ها به روش CSMA انجام شده است؛ اما هر گره که کانال را به دست آورده است، نمی‌تواند به هر اندازه که بخواهد کانال را در اختیار داشته باشد؛ بنابراین در روش پیشنهادی از TDMA تلفیقی استفاده شده است به این معنی که ابتدا گره‌ها برای به‌دست‌آوردن کانال رقابت می‌کنند (CSMA)، سپس بر اساس زمان تعیین شده مطابق با رابطه (۱۲) می‌توانند کانال را در اختیار داشته باشند (TDMA). ما این مدل تلفیقی را با نام CTAC[1] معرفی می‌کنیم.

$$t_s = \sum_{i=2}^{c} \frac{(p_i \times t)}{i} \qquad (۱۲)$$

برای محاسبه این زمان ابتدا باید بدانیم که گره فرستنده از هر اولویت چند بسته برای ارسال دارد، واضح است که گرهی که بسته‌های با اولویت بالای بیشتری دارد باید زمان بیشتری کانال را در اختیار داشته باشد نسبت به گرهی که بسته‌های اولویت بالای کمتری دارد. طبق رابطه بالا دو عامل در مدت‌زمان تخصیص کانال به گره فرستنده مؤثر است:۱- تعداد بسته‌های در صف انتظار ۲- اولویت هر بسته؛ بنابراین اگر گرهی بسته از اولویت بالای بیشتری داشته باشد به همان نسبت زمان بیشتری می‌تواند کانال را در اختیار بگیرد.

گره گیرنده به کانال‌های موجود به‌جز کانال شماره یک گوش داده و کانال آزاد را می‌یابد و پس از آن، شماره آن کانال را به بسته CTS اضافه کرده و به همراه اسلات زمانی که آن گره می‌تواند کانال را در اختیار داشته باشد، به سمت گره فرستنده ارسال می‌کند. شکل (۶) بخش c

پس از آن سوئیچ بر روی کانال توافق شده بین فرستنده و گیرنده انجام می‌شود و عملیات انتقال آغاز می‌گردد. در اینجا نیز بعد از ارسال هر بسته اگر ACK دریافت شود که بسته بعدی ارسال می‌گردد در غیر این صورت بسته مجدداً ارسال می‌شود و اگر بار سوم نیز بسته تأیید (ack) دریافت نشد بسته حذف می‌گردد. پس از ارسال هر بسته، بسته بعدی جهت ارسال در گره فرستنده سر صف قرار می‌گیرد، تا جایی که گره مهلت استفاده از کانال را دارد و بسته غیر از اولویت یک باشد، ارسال می‌گردد در غیر این صورت اگر بسته بعدی اولویت شماره یک باشد، گره فرستنده بسته را روی کانال یک ارسال و مجدداً در مهلت باقیمانده ارسال بسته‌های خود را ادامه می‌دهد.

در مدل پیشنهادی، هر گره فرستنده فقط به کانال کنترلی گوش می‌دهد و نیازی به شنود کانال‌های انتقال ندارد و گره گیرنده نیز فقط در صورت دریافت بسته RTS ، نسبت به اولویت بسته مورد درخواست، به کانال‌های مجاز آن بسته گوش می‌دهد.

[1] Combination of TDMA and CSMA

همچنین با ارسال هر بسته CTS، دیگر گره‌های گیرنده شماره کانال و مدت‌زمان اشغال آن کانال را دریافت کرده و زمان‌سنج خود را تنظیم می‌نمایند، بنابراین تا زمان صفرشدن زمان‌سنج برای شنود آن کانال و توافق بر روی آن منتظر می‌مانند.

ممکن است دو بسته هم اولویت جهت ارسال داشته باشیم، در این مورد یکی از دو حالت زیر را داریم:

اگر دو بسته هم اولویت به یک گره وارد شوند، به ترتیب مهلت زمانی در صف قرار گرفته و بسته‌ای که مهلت زمانی کمتری دارد زودتر سر صف قرار گرفته و سرویس‌دهی می‌شود و درصورتی‌که هم اولویت و هم مهلت زمانی هر دو بسته یکی باشد، بر اساس FIFO سرویس‌دهی می‌شوند. چنانچه دو گره هم‌زمان تصمیم به ارسال بسته با یک اولویت واحد بگیرند، گرهی می‌تواند بسته خود را زودتر ارسال کند که تعداد بسته‌های با اولویت بالای بیشتری دارد. مثلاً اگر گره i و j هم‌زمان بخواهند بسته با اولویت c ارسال کنند، مطابق با فرمول زمان عقب‌گرد، گرهی که تعداد بسته‌های با اولویت بالای بیشتری دارد زودتر به کانال دسترسی می‌یابد.

در مجموع باتوجه‌به مواردی که در بالا بیان شد، میانگین زمان سرویس‌دهی (E [S]) برای اولویت i از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E[S_{ij}] = \frac{1}{\mu_i} + T_{Bi} + T_{Ri} + T_{Ci} + T_A \qquad (۱۳)$$

که μ_i طبق رابطه (۴-۲) بر اساس اندازه بسته و پهنای باند کانال مجاز یک اولویت بدست می‌آید. T_{Bi} مدت زمانی است که گره برای دسترسی به کانال کنترلی منتظر می‌ماند(Backoff) و از رابطه (۴-۱۲) و (۴-۱۳) بدست می آید . T_{Ri} مدت زمان مورد نیاز برای ارسال بسته RTS و T_{Ci} مدت زمان مورد نیاز دریافت بسته CTS است و همانطور که پیشتر بیان شد در صورتی که اولویت بسته ۱ باشد بسته RTS و CTS کوچکتر بوده و سریعتر منتقل می‌شوند. در نهایت T_A نیز مدت زمان دریافت بسته ACK و اتمام عملیات انتقال است.

نرخ بهره‌وری کل، در سامانه صف با کلاس‌های اولویت متفاوت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \sum_{i=1}^{p} \rho_i = \sum_{j=1}^{p} \lambda_j E[S_j] \qquad (۱۴)$$

و میانگین تأخیر برای بسته‌های کلاس اولویت i برابر است با:

$$T_i = W_i + [S_i] \qquad (۱۵)$$

که در آن W_i زمان انتظار و $[S_i]$ زمان سرویس اولویت i است.

ازآنجاکه هر بسته از هر اولویت، یک مهلت زمانی برای سرویس‌دهی دارد و با فرض اینکه مهلت زمانی بسته‌های یک اولویت خاص نزدیک به هم هستند، بنابراین تعداد بسته‌های حذف شده از هر کلاس اولویت، به میانگین زمان انتظار و میانگین مهلت زمانی آن کلاس اولویت بستگی دارد. برای اینکه حداقل حذف بسته را داشته باشیم، باید: $E[W_i] < E[D_i]$ باشد. جایی‌که $E[D_i]$ میانگین مهلت زمانی اولویت i است.

۳-۳- بافرینگ

در بحث شبکه‌های بی‌سیم به‌حداقل‌رساندن مصرف انرژی بسیار مهم است؛ زیرا حسگرها با باتری کار می‌کنند و هرچقدر مصرف انرژی آن‌ها کمتر باشد راندمان بالاتر است یکی از دلائل مهم افزایش توان مصرفی گره‌ها سوئیچ‌کردن بین کانال‌ها است. علاوه بر این، افزایش سرعت انتقال و بهبود توان عملیاتی را نیز در بر دارد. محققان اخیراً برای بهبود این مهم راهکارهایی را ارائه داده‌اند در این مطالعه برای به‌حداقل‌رساندن سوئیچ بین کانال‌ها و افزایش سرعت انتقال، یک بافر مطابق با شکل (۸) برای گره در نظر گرفته شده است که هر بار در جدول خود اطلاعات مربوط به آخرین ارتباط با گره مقصد موردنظر را ثبت می‌نماید به این روش که پس از هر انتقال داده، گره‌های فرستنده و گیرنده به مدت‌زمان مشخصی شماره آخرین کانال ارتباط با یکدیگر را در بافر نگه می‌دارند و چنانچه در این مدت‌زمان ارتباط دیگری بین این دو گره نیاز باشد، در صورت آزاد بودن، از همین کانال برای ارتباط مجدد استفاده می‌شود و اگر کانال مشغول باشد از طریق کانال کنترلی به شیوه‌ای که قبلاً توضیح داده شد، گره‌ها روی کانال دیگری همگام شده و بسته انتقال داده می‌شود.

Id des	Channel Number	Priority of the Last Packet

شکل (۸): جدول بافر

در هنگام بازدید از بافر برای گره فرستنده حالت‌های زیر ممکن است اتفاق بیفتد:

- درصورتی‌که اولویت بسته قبلی و فعلی هر دو ۱ باشد پس بسته به‌راحتی با کانال رزرو شده مختص بسته‌های اولویت بالا ارسال می‌گردد.
- درصورتی‌که اولویت بسته قبلی و فعلی هر دو غیر از ۱ باشد نیز از طریق کانال قبلی قابل انتقال است
- اما چنانچه اولویت بسته قبلی ۱ و بسته فعلی غیر از ۱ باشد و یا بالعکس پس جهت همگام شدن دو گره، نیاز است که به کانال

کنترلی رفته و بر روی کانال مجاز و البته آزاد توافق کنند.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

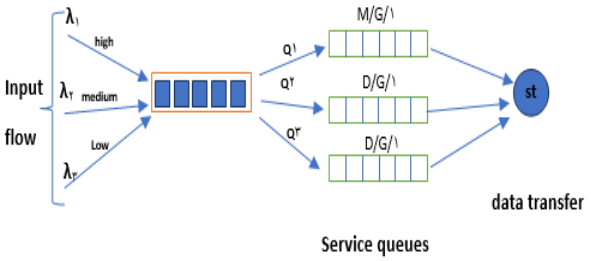
شبیه‌سازی روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار پایتون و به مدت‌زمان ۶۰ ثانیه در محیط دوبعدی به ابعاد ۱۰۰۰در۱۰۰۰ متر انجام شده است. تعداد گره‌ها نیز به صورت مؤلفه تا ۲۵ گره در نظر گرفته شده، که به صورت تصادفی در فضای شبکه پراکنده شده‌اند. در سناریو شبیه سازی شده، ما فرض می‌کنیم که در یک محیط مانند بیمارستان، تعدادی حسگر جهت ارسال اطلاعات بدن هر بیمار تعبیه شده است با هدف کاهش زمان انتظار بسته ها در صف، سه کلاس اولویت در نظر گرفته شده است :

کلاس اول: حسگرهای مربوط به هشدارها و مواقع خطرناک. این دسته از کلاس‌ها که اولویت یک کار ما را تشکیل می‌دهند داده‌های با اولویت بالا که داده‌های بحرانی هستند و نیاز به ارسال سریع و بدون تأخیر دارند، مانند حسگر مربوط به ضربان قلب یا سطح هوشیاری که در صورت ابتلا به وضعیت خطرناک بیمار، هشدار می‌دهند. ورود این نوع ترافیک (λ_1) با توجه به فرآیند توزیع پواسن و نرخ بین ورود نمایی (M) مدل شده است. هر بسته در مهلت زمانی خود باید منتقل گردد در غیر اینصورت بسته ازبین می‌رود.

کلاس دوم: این گروه از داده‌ها اولویت دوم هستند که نسبت به گروه اول تأخیر بیشتری را متحمل می‌شوند. مانند حسگرهای مربوط به علائم حیاتی بیمار از جمله درجه حرارت و فشارخون که به طور منظم و ثابت هر n ثانیه یک‌بار تولید می‌شوند و بر اساس محدودیت زمانی (که بیشتر از بسته‌های گروه اول است) هر بسته باید منتقل گردد. ترافیک این گروه (λ_2) با توزیع ثابت و تعیین شده (D)، وارد صف می‌شوند.

کلاس سوم: اولویت بسیار پایین دارند و در فواصل زمانی طولانی‌تر تولید می‌شوند و تحمل تأخیر آنها بیشتر است و می‌تواند مواردی مانند قند خون یا دمای اتاق و وضعیت نگهداری بیمار باشد. مهلت زمانی ارسال این بسته‌ها بیشتر از دو گروه قبل است و به جهت جلوگیری از قحطی‌زدگی بسته‌ها، برای این گروه نیز محدودیت زمانی در نظر گرفته شده است؛ اما عدد آن نسبت به دو گروه اول بسیار بیشتر است، بسته‌های این گروه نیز در هر بار اجرا نسبت به فواصل زمانی تعیین شده با توزیع ثابت (D) وارد صف می‌شوند (λ_3).

ما فرض می‌کنیم که بسته‌های اولویت ۱ همه گره‌ها به پزشک اورژانس و بسته‌های اولویت ۲ و ۳ هر گره به سمت پرستار و پزشک معالج همان بیمار ارسال می‌گردد.



شکل (۹): ورود بسته‌های اولویت مختلف به صف

خلاصه‌ای از مؤلفه‌های شبیه‌سازی در جدول (۱) آورده‌شده است:

جدول (۱): مؤلفه‌های شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

نام متغییر	مقدار
تعداد گره‌ها	۲،۵،۱۰،۱۵،۲۰،۲۵
پروتکل مسیریابی	AODV
محیط شبکه	۱۰۰۰ * ۱۰۰۰ متر
زمان شبیه‌سازی	۶۰ ثانیه
پهنای کانال (n)	۳۰۰ کیلوبیت در ثانیه
تعداد کانال (c)	۳
پهنای کانال اولویت ۱ (m)	۴۰ بسته در ثانیه
λ_1	۱۶ بسته در ۶۰ ثانیه
λ_2	بسته در ۶۰ ثانیه n $(n = \frac{60}{random(2:4)})$
λ_3	۶۰ بسته در n $(n = \frac{60}{random(5:10)})$ ثانیه
t	۵ میلی ثانیه

ازآنجا که هدف ما از ارائه این مدل، بهبود کیفیت سرویس در شبکه iot است و باتوجه‌به اهمیت ارسال مطمئن و به‌موقع بسته‌های اولویت بالا ما نرخ ازدست‌رفتن بسته‌های هر اولویت را در ۴ حالت مختلف بررسی کرده و سپس کار خود را از نظر تأخیر و توان عملیاتی با دیگر کارهای مشابه خصوصاً پروتکل Mac مقایسه می‌کنیم:

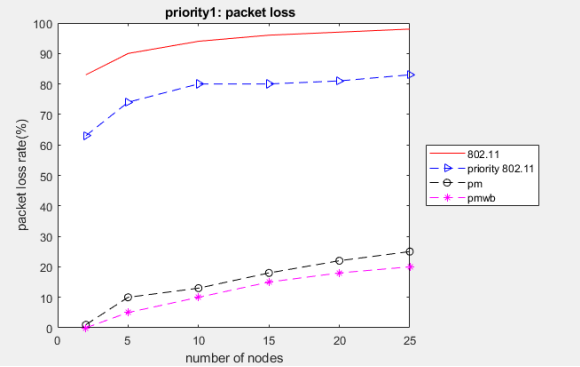
حالت اول: زمانی که بسته‌ها فقط درون یک صف قرار می‌گیرند و برای ارسال به مقصد نیز دو کانال بدون اولویت در نظر گرفته شده است به این صورت که همه بسته‌ها طبق مدل FIFO در یک صف قرار گرفته و به ترتیب منتقل می‌شوند. در این حالت، گره فرستنده هر کدام از کانال‌ها را که آزاد بیابد بسته RTS خود را ارسال و پس از دریافت CTS ، داده را منتقل می‌کند. در این حالت هیچ بسته‌ای به بسته دیگر برتری داده نمی‌شود و کانال‌ها نیز یکسان هستند، این همان مدل ۸۰۲,۱۱ سنتی است.

حالت دوم: در این حالت اولویت‌بندی و زمان‌بندی بسته‌ها هر دو در نظر گرفته می‌شود. بسته‌ها در هر گره از شبکه به ترتیب اولویت وارد صف خود می‌شوند و هر بار طبق مهلت زمانی، بسته‌ها در صف مرتب شده و با درنظرگرفتن اولویت بسته‌ها، گره فرستنده بسته ارسالی خود را انتخاب می‌کند. در این مدل نیز دو کانال معمولی وجود دارد که همانند مدل اول، بسته‌ها از طریق آنها ارسال می‌شوند.

حالت سوم (روش پیشنهادی=pm): این مدل نیز همانند مدل دوم، سه صف اولویت و ترتیب بسته‌ها بر اساس مهلت زمانی در نظر گرفته شده است با این تفاوت که در این مدل یک کانال کنترلی و سه کانال اولویت داریم که کانال ۱ فقط اختصاص به بسته‌های با اولویت ۱ دارد؛ اما کانال ۲ و ۳ می‌توانند بسته‌های اولویت ۲ و ۳ را ارسال نماید. در این روش ابتدا گره‌ها از طریق کانال کنترلی با هم روی یک کانال توافق کرده سپس بسته ارسال می‌شود.

حالت چهارم (روش پیشنهادی=pmwb): این مدل همانند مدل سوم است که بافر در گره به آن اضافه شده است، در این حالت دو گره پس از اتمام انتقال بسته، کانال را تا مدت‌زمان ۵۰ میلی ثانیه نزد خود نگه می دارند تا در ارتباط مجدد، نیاز به همگام سازی دو گره نباشد . بدین ترتیب تأثیر بسزایی در بهبود توان عملیاتی و همچنین کاهش زمان انتظار بسته ها دارد.

در شکل (۱۰) نرخ از دست رفتن بسته های با اولویت ۱ را برای همه حالت‌ها مشاهده می کنیم. از مجموع بسته‌های ازدست‌رفته ، بیشترین بسته های از بین رفته از صف اول(اولویت ۱) مربوط به حالتی است که همه بسته ها در یک صف مشترک پشت سر هم وارد می‌شوند و هیچ‌گونه زمانبندی روی آن اعمال نمی‌گردد. همانطور که مشاهده می‌شود در این حالت، تقریباً ۸۴ درصد از بسته‌های ازدست‌رفته مربوط به صف اولویت یک است زیرا این بسته‌ها مهلت زمانی پایینی دارند و پیش از رسیدن به ابتدای صف حذف می‌شوند. هنگامی‌که زمانبندی پویا شروع می‌شود و بسته‌های با اولویت پایین ابتدای صف قرار می‌گیرند زودتر سرویس‌دهی می‌شوند بنابراین این نرخ بیش از ۳۰ درصد بهبود می‌یابد و اما با اولویت بندی کانال و استفاده از کانال کنترلی و رزرو کانال مختص ارسال بسته‌های اولویت ۱ در مدل پیشنهادی، این مقدار باز هم کمتر می‌شود به طوری‌که تنها ۲ درصد از بسته‌های حذف شده در حالت ۵ گرهی، از اولویت ۱ می‌باشند و نهایتاً با استفاده از بافر، می‌توان این نرخ را به ۱ درصد برای ۵ گره کاهش داد.

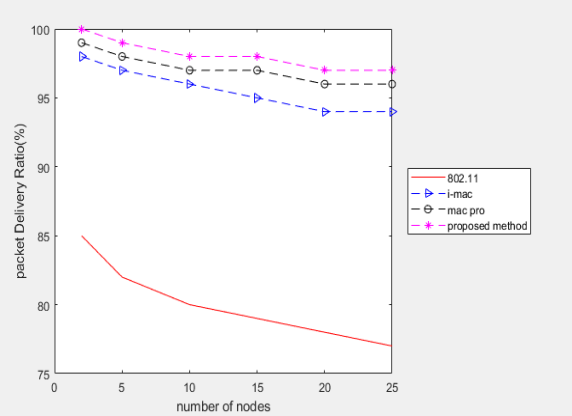


شکل (۱۰): مقایسه تعداد بسته‌های حذف شده اولویت ۱

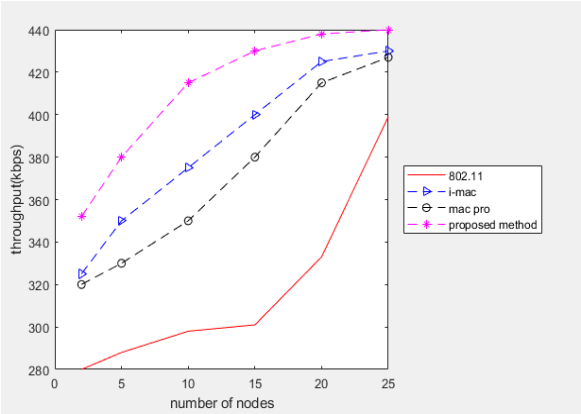
در ادامه این بررسی ما مدل پیشنهادی خود را با پروتکل mac استاندارد ۸۰۲,۱۱ و دیگر پروتکل‌های مشابه در [۷] و [۲۴] و [۳۰] و بر اساس مؤلفه‌های مهم کیفیت سرویس از جمله نرخ تحویل بسته، توان عملیاتی شبکه و تأخیر انتها به انتها مقایسه می‌کنیم.

یکی از معیارهای مهم عملکرد شبکه، نرخ تحویل بسته (PDR) می‌باشد. به‌طورکلی با افزایش بار شبکه، نرخ انتقال بسته‌ها کاهش می‌یابد؛ اما در حالتی که ما از روش پیشنهادی یعنی کانال کنترلی و توافق کانال بین فرستنده و گیرنده استفاده می‌کنیم، PDR بسته‌ها بالا می‌رود. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌گردد، پروتکل‌های دسترسی به رسانه پیشنهاد شده در کارهای قبلی همگی بهبود قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به Mac سنتی دارند؛ اما در روش پیشنهادی این مقاله به دلیل زمان‌بندی پویا، تقسیم کانال بر اساس اولویت بسته‌ها و گره‌ها و همچنین استفاده از کانال کنترلی، بهبود بیشتری داریم.

از دیگر مؤلفه‌های مهم کیفیت سرویس در شبکه‌های بی‌سیم، توان عملیاتی است. این مؤلفه با مقدار ارسال و دریافت بسته‌ها در شبکه ارزیابی می‌شود. هرچه تأخیر و برخورد در ارسال بسته‌ها کمتر باشد توان عملیاتی بیشتر است. همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی در مقایسه با ۸۰۲/۱۱Mac سنتی توان عملیاتی قابل توجهی دارد و از طرفی بهبود توان عملیاتی در مقایسه با کارهای مشابه نیز به دلیل اولویت‌بندی همزمان بسته و کانال و ارسال سریع آن‌ها مشاهده می‌گردد. همچنین به دلیل زمانبندی دقیق و تقسیم کانال‌ها بین گره‌های فرستنده، برخورد کمتر بوده و این خود باعث افزایش توان عملیاتی می‌شود. حال آنکه هر چه تعداد گره‌ها در شبکه افزایش می‌یابد تقاضا بیشتر شده و چنانچه احتمال برخورد و تأخیر در ارسال نیز بیشتر شود، بنابراین توان عملیاتی ممکن است کمتر شود.

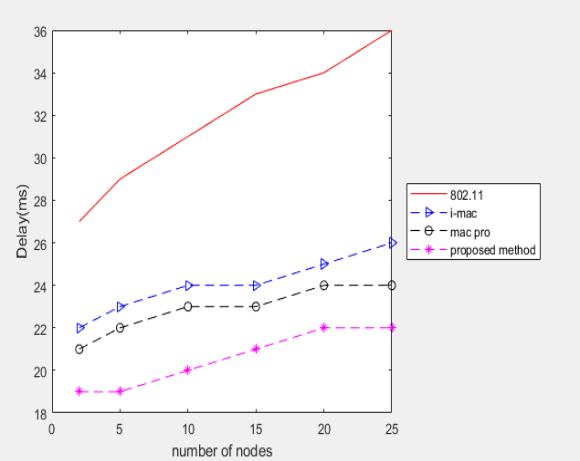


شکل (۱۱): مقایسه نرخ تحویل بسته‌ها



شکل (۱۲): مقایسه توان عملیاتی

در نهایت تأخیر در شبکه موردنظر بررسی و با دیگر پروتکل‌ها مقایسه گردید. در این مطالعه، به‌موقع رسیدن بسته‌ها نسبت به اولویت خود بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین افزایش تأخیر علاوه بر اینکه باعث کاهش توان عملیاتی شبکه می‌شود، حذف بسته‌ها را به دنبال دارد. زیرا همان‌طور که در فصل قبل بیان شد هر بسته در شبکه موجود دارای مهلت ارسال است که در صورت داشتن تأخیر بیشتر از این مهلت، بسته از صف حذف می‌گردد. علاوه بر این، تأخیر از مؤلفه‌های مهم کیفیت سرویس است. آن‌گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌گردد در مدل پیشنهادی به دلیل زمان‌بندی بسته‌ها در صف اولویت و اولویت‌بندی پویا و همچنین رزروشدن کانال مختص هر اولویت به‌ویژه اولویت شماره ۱، بسته‌ها سریع‌تر به مقصد می‌رسند و تأخیر انتها به انتها کاهش می‌یابد. زیرا تأخیر انتها به انتها از مجموع تأخیر صف و تأخیر کانال به دست می‌آید. این در حالی است که به‌طورکلی با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه تأخیر بیشتر شده و زمان انتظار بسته در صف و همچنین در سامانه افزایش می‌یابد.



شکل (۱۳): مقایسه تأخیر انتها به انتها

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی برای بهبود کیفیت سرویس شامل دو بخش اولویت‌بندی برای ارسال بسته‌های با مهلت زمانی متفاوت پیشنهاد شد. در این دو بخش، چند مورد هم‌زمان برای ارسال به‌موقع بسته‌های اولویت بالاتر در نظر گرفته شد. ۱- صف اولویت ۲- زمانبندی ۳- رزرو کانال مخصوص ۴- تنظیم زمان عقب‌گرد متناسب با اولویت بسته در رقابت بین گره‌ها ۵- مهلت استفاده از کانال متناسب با تعداد و اولویت بسته‌های گره. مجموع همه این موارد باعث افزایش توان عملیاتی شبکه، افزایش نرخ تحویل بسته و کاهش تأخیر انتها به انتها شد. ضمن این‌که از نظر به موقع رسیدن بسته‌های حساس به تأخیر، درصد بسیار ناچیزی (۱ درصد در سناریو ۵ گره) از بسته‌های حذف شده مربوط به اولویت یک می‌شود. همچنین ما مدل پیشنهادی خود را با پروتکل Mac ۸۰۲/۱۱ و دیگر پروتکل‌های مشابه مقایسه گردید و نتایج بدست آمده از شبیه سازی نشان می‌دهد که بهبود مؤلفه‌های مهم کیفیت سرویس یعنی هدف اصلی این مقاله حاصل شده است.

علاوه بر بهبود کیفیت سرویس ما در سناریو خود بهبود کیفیت تجربه[1] را نیز داریم. این مؤلفه مربوط به احساس کاربران یک شبکه می‌شود. زیرا به‌محض نیاز بیمار به پزشک و درمان، این نیاز اطلاع‌رسانی شده و اقدام صورت می‌گیرد، و این احساس رضایت در بیمار را به دنبال دارد. در آخر پیشنهاداتی که برای آینده می‌توان بیان کرد عبارت‌اند از:

- در این مقاله مدل صف نامحدود در نظر گرفته شده است می‌توان برای کارهای آینده صف را محدود در نظر گرفت.

[1] Quality of Experience

۶- مراجع

[1] S. Manisha and B. Gaurav, "Quality of Service (QoS) in Internet of Things," IEEE, 2018.

[2] K.-K.N. Maroua Ben Attia and M. Cheriet, "Dynamic QoS-Aware Scheduling for Concurrent Traffic in Smart Home," 2020.

[3] V. K. Quy et al., "IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges," Applied Sciences, vol. 12, no. 7, p. 3396, Mar. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/app12073396.

[4] V. F. Rodrigues, R. da R. Righi, C. A. da Costa, and R. S. Antunes, "Smart Hospitals and IoT Sensors: Why Is QoS Essential Here?," Journal of Sensor and Actuator Networks, vol. 11, no. 3, p. 33, Sep. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/jsan11030033

[5] Hosni Ahangar, M. and M. Mohammadi, "Evaluation of effective factors in quality of service of routing protocols and its role in passive defense," Passive Defense, 2012. 3(3): p. -in persian

[6] A. Sheikh and A. Ambhaikar, "Quality of Services Parameters for Architectural Patterns of IoT," Journal of Information Technology Management, vol. 13, no. 13, pp. 36–53, May 2021, doi: https://doi.org/10.22059/jitm.2021.80616.

[7] Y. Chen, S. Yuan, and F. Gu, "Research on the multi-channel operation of MAC protocol in wireless sensor networks," International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, pp. 1–11, Jun. 2021, doi: https://doi.org/10.1080/17445760.2021.1941011.

[8] G. Kim and J. Jeong, "CSMA/CA channel hopping in IoT environment toward intelligent multi-user diversity," The Journal of Supercomputing, vol. 77, no. 10, pp. 11930–11945, Mar. 2021, doi: https://doi.org/10.1007/s11227-021-03754-z.

[9] N. S. R. Sherine Jenny, "Impact Of Queuing Disciplines On The Performance Of Multi-Class Traffic In A Network, " Information Technology In Industry, vol. 9, no. 1, pp. 691–697, Mar. 2021, doi: https://doi.org/10.17762/itii.v9i1.188.

[10] Georgios Bouloukakis, Ioannis Moscholios, N. Georgantas, and Valérie Issarny, "Simulation-based Queueing Models for Performance Analysis of IoT Applications," HAL (Le Centre pour la Communication Scientifique Directe), Jul. 2018, doi: https://doi.org/10.1109/csndsp.2018.8471798.

[11] D. pandey, "Navigation based - Intelligent Parking Management System using Queuing theory and IOT," Aug. 2018, doi: https://doi.org/10.1109/icgciot.2018.8753053.

[12] C. Zhang, X. Sun, J. Zhang, X. Wang, S. Jin, and H. Zhu, "Throughput Optimization With Delay Guarantee for Massive Random Access of M2M Communications in Industrial IoT," IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 6, pp. 10077–10092, Dec. 2019, doi: https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2935548.

[13] Maroua Ben Attia, K.-K. Nguyen, and M. Cheriet, "Concurrent Traffic Queuing Game in Smart Home," Espace ÉTS (ETS), Oct. 2019, doi: https://doi.org/10.23919/cnsm46954.2019.9012720.

[14] M. B. Attia, K.-K. Nguyen, and M. Cheriet, "Dynamic QoE/QoS-Aware Queuing for Heterogeneous Traffic in Smart Home," IEEE Access, vol. 7, pp. 58990–59001, 2019, doi: https://doi.org/10.1109/access.2019.2914658.

[15] B. Santos, A. Soares, Tuan Anh Nguyen, M. Dai, J.-W. Lee, and Francisco Airton Silva, "IoT Sensor Networks in Smart Buildings: A Performance Assessment Using Queuing Models," Sensors, vol. 21, no. 16, pp. 5660–5660, Aug. 2021, doi: https://doi.org/10.3390/s21165660.

[16] S. Kim, "Home Network Traffic Control Scheme Based on Two-Level Bargaining Game Model," IEEE Access, vol. 9, pp. 59665–59674,2021, doi: https://doi.org/10.1109/access.2021.3073485.

[17] Mousavi, S. and A. Ghafari, "active queue management using congestion control method and packet removal pattern," The 6th National Conference on Distributed Computing and Big Data Processing, 2019.in persian

[18] F. M. Alotaibi, I. Ullah, and S. Ahmad, "Modeling and Performance Evaluation of Multi-Class Queuing System with QoS and Priority Constraints," Electronics, vol. 10, no. 4, p. 500, Feb. 2021, doi: https://doi.org/10.3390/electronics10040500.

[19] G. Kim and M. Rim, "Internet of Things in the 5G Mobile Communication System: The Optimal Number of Channels in Channel Hopping," International Journal of Networked and Distributed Computing, vol. 6, no. 2, p. 108, 2018, doi: https://doi.org/10.2991/ijndc.2018.6.2.6.

[20] G. Sakya and V. Sharma, "ADMC-MAC: Energy efficient adaptive MAC protocol for mission critical applications in WSN," Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2019. 23: p. 21-28.

[21] H. Ma and J. Wu, "MSF-MAC: A Multi-Channel MAC Protocol for Long-distance and Antiinterference in Wireless Sensor Networks," Journal of Physics: Conference Series 1550 (2020) ،32018 IOP Publishing2020.

[22] A.Achroufene, M. Chelik, and N. Bouadem, "Modified CSMA/CA protocol for real-time data fusion applications based on clustered WSN," Computer Networks, 2021. 196. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108243

[23] E. Alzahrani and F. Bouabdallah, "QMMAC: Quorum-Based Multichannel MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Sensors, vol. 21, no. 11, p. 3789, May 2021, doi: https://doi.org/10.3390/s21113789.

[24] H. Su, M.-S. Pan, H. Chen, and X. Liu, "MDP-Based MAC Protocol for WBANs in Edge-Enabled eHealth Systems," Electronics, vol. 12, no. 4, pp. 947–947, Feb. 2023, doi: https://doi.org/10.3390/electronics12040947.

[25] S. Bhandari, Shree Krishna Sharma, and X. Wang, "Latency Minimization in Wireless IoT Using Prioritized Channel Access and Data Aggregation," Open Repository and Bibliography (University of Luxembourg), Dec. 2017, doi: https://doi.org/10.1109/glocom.2017.8255038.

[26] Haghighat Talab, M, R. Haghmaram, and A. S. M, "Designing a Positioning System and Transmitting Vital Signs and Environmental Conditions of Operating Team," Passive Defense, vol. 4, no. 2, pp. 49–57, Aug. 2013, Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: https://pd.ihu.ac.ir/article_206109_en.html?lang=en

[27] D. Yoo, S. Chung, and J. Park, "Analysis and Evaluation of Channel-Hopping-Based MAC in Industrial IoT Environment," Journal of Computing Science and Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 160–174, Dec. 2021, doi: https://doi.org/10.5626/jcse.2021.15.4.160.

[28] F. Amin, R. Abbasi, S. Khan, and Muhammad Ali Abid, "An Overview of Medium Access Control and Radio Duty Cycling Protocols for Internet of Things," Electronics, vol. 11, no. 23, pp. 3873–3873, Nov. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/electronics11233873.

[29] A. S. Sadeq, R. Hassan, H. Sallehudin, A. H. M. Aman, and A. H. Ibrahim, "Conceptual Framework for Future WSN-MAC Protocol to Achieve Energy Consumption Enhancement," Sensors, vol. 22, no. 6, p. 2129, Mar. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/s22062129.

[30] M. Alhaddad, S. Sati, and M. Elmusrati, "Comparasion of SMAC with MAC 802.11 Based on Scalability," 2020. Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: https://icts.tve.gov.ly/2020A_DOC/2020_AFile/DOC/CI/CI1016.pdf