مقاله پژوهشی

بهبود شبکه‌های بی‌سیم تلفیقی به‌وسیله بازی‌های مارکوف

پیام پرکار رضائیه، حمید شکرزاده، مهدی دهقان تخت فولادی و امیرمسعود رحمانی

چکیده: امروزه شبکه‌های بی‌سیم تلفیقی اهمیت فراوان پیدا کرده‌اند. ازجمله فناوری‌های مهم در این زمینه، فناوری تلفیقی ارتباطات نور مرئی و فرکانس رادیویی است که نمونه مهم آن، ترکیب شبکه‌های محلی Wi-Fi و Li-Fi است. این ترکیب موجب پوشش نقاط ضعف و تقویت نقاط قوت شبکه بی‌سیم محلی می‌شود. همچنین موضوعی که می‌تواند بهره‌وری را در شبکه افزایش دهد تعادل بار است؛ به‌ویژه وقتی وجود نقاط دسترسی از هر دو شبکه موجب انتخاب‌های بیشتر خواهد شد. در واقع در الگوریتم انتخاب نقطه دسترسی روش پیشنهادی در این پژوهش به گونه‌ای عمل شده که در هنگام قرارگرفتن در یک نقطه دسترسی، تصمیم‌گیری برای انتخاب محل قرارگیری بر پایه تعادل بین عامل‌های موجود در بازی مارکوف در رفتار استراتژیک اشیا باشد و به این ترتیب میزان تأخیر شبکه کاهش یافته و تعادل بار افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب یک روش پویا پیشنهاد شده که با استفاده از آن در هر زمان و به‌ویژه هنگام تغییر توپولوژی در شبکه، تصمیمات متناسب با شرایط گرفته می‌شود. روش پیشنهادی مزایایی همچون انتخاب پویای نقاط دسترسی با توجه به شرایط شبکه، بازخورد مستقیم از کارایی شبکه و کانال اشتراکی، هوشمندی و یادگیری نسبت به تغییرات برای انتخاب نقاط، تعامل با عامل‌های مشابه در گره‌ها و کاهش احتمال ازدحام در هر نقطه دسترسی دارد. همچنین با افزایش ترافیک کاربران (که منجر به شرایط پرازدحام می‌شود و احتمال ازدحام در گره‌ها و نقاط دسترسی بالا می‌رود)، این روش کمک بیشتری را نسبت به توازن بار و کاهش سطح ازدحام می‌نماید به طوری که اختلاف آن با روش‌های مورد مقایسه که از تکنیک‌های ثابت‌تری مانند روش فازی استفاده می‌کنند، افزایش چشمگیری می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده این روش توانسته است بیش از ۱۰٪ بهبود کارایی در شبکه محلی نسبت به روش‌های پیشین همچون روش فازی و بالاتر از ۳۰٪ بهبود کارایی نسبت به سیاست انتخاب SSS در شرایط بار ترافیکی بالا ایجاد کند.

کلیدواژه: **شبکه‌های محلی تلفیقی، شبکه Li-Fi، شبکه Wi-Fi، نقاط دسترسی و توازن بار.**

۱- مقدمه

هر کدام از بسترهای شبکه‌ای برای انتقال داده‌ها ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود را دارند؛ بدین ترتیب راهکارهایی که در این بسترها برای انتقال و بهبود کارایی آنها به کار گرفته می‌شوند، می‌توانند بسیار متفاوت باشند. در بستر بی‌سیم تاکنون فناوری‌ها و پروتکل‌های نسبتاً زیادی پیشنهاد شده که همگی در یک نقطه که همان بستر بی‌سیم می‌باشد، مشترک هستند. بستر ارتباط بی‌سیم می‌تواند خطای زیادی داشته باشد و شرایط آن بسیار متغیر است. در نتیجه این تغییرات توپولوژی شبکه نیز در هر زمان تغییر نموده و بیشتر از هر چیز نیاز به روش‌هایی پویا برای تخصیص نقاط دسترسی در مورد این شبکه‌ها احساس می‌شود. با افزایش کاربردهای شبکه‌ها و به‌ویژه شبکه‌های بی‌سیم، این نیازمندی قوی‌تر شده و در سطحی وسیع مشخص است.

با توجه به بررسی‌ها شبکه‌های محلی بی‌سیم، عمده ترافیک‌ها را در ارتباطات امروزی به خود اختصاص داده است. این موضوع موجب توجه ویژه به این شبکه‌های ارتباطی شده که البته این شبکه‌های محلی خود جزئی از شبکه‌های بزرگ‌تر و حتی شبکه جهانی اینترنت هستند. به‌ویژه مشترکین اینترنت برای اتصال به آن از شبکه‌های محلی استفاده زیادی می‌کنند و مهم‌تر از کاربران، فناوری اینترنت اشیاست که سیل عظیمی را شامل می‌شود. وجود این همه استفاده از شبکه‌های محلی، آن را تبدیل به یک گلوگاه ارتباطی در بسیاری از موارد نموده است.

همان گونه که فناوری‌های ارتباطی شاخص مانند فیبر نوری و MPLS در شبکه‌های بزرگ وجود دارد، در مورد شبکه‌های محلی بی‌سیم نیز دو فناوری بسیار اهمیت یافته‌اند. اولین فناوری یک فناوری قدیمی‌تر در این شبکه‌ها است به نام فناوری فرکانس رادیویی (RF)[1] که در رأس آنها شبکه Wi-Fi[2] خودنمایی می‌کند. دومین فناوری، فناوری ارتباطات نور مرئی (VLC)[3] است که یکی از جدیدترین فناوری‌های ارتباط بی‌سیم با پهنای باند بسیار بالاست. شبکه Li-Fi[4] استانداردی است که از این فناوری تبعیت می‌کند.

شبکه Wi-Fi به‌عنوان معروف‌ترین شبکه بی‌سیم، امکان شبکه‌سازی در انتقال داده و اتصال به شبکه گسترده اینترنت با سرعتی بالا را فراهم می‌کند. Wi-Fi بر پایه امواج رادیویی ۲/۴ گیگاهرتز تا ۵ گیگاهرتز کار می‌کند که هرچه فرکانس بالاتر رود، امکان انتقال اطلاعات بیشتری در واحد زمان به وجود می‌آید که حجم بالا مستلزم بهره‌گیری از روش‌های کنترل و متعادل‌سازی بار موجود در این شبکه یا توازن بار می‌باشد.

فناوری نوظهور Li-Fi فناوری جدید دیگری مبتنی بر فیبر نوری است که ۱۰۰ برابر سریع‌تر از Wi-Fi است و به‌عنوان شبکه بی‌سیم در دسترسی به بستر انتقال داده به‌ویژه اینترنت جایگاه قابل توجهی دارد. چنانچه روز به روز بر کاربرد آن افزوده شده و می‌تواند روش مناسبی برای دسترسی به شبکه و اینترنت با سرعت بالا به همراه عملکرد مناسب آن باشد و ازجمله در شبکه‌های اینترنت اشیا کاربرد بسیاری یافته است.

این مقاله در تاریخ ۲۹ مهر ماه ۱۴۰۱ دریافت و در تاریخ ۱۹ آذرماه ۱۴۰۲ بازنگری شد.

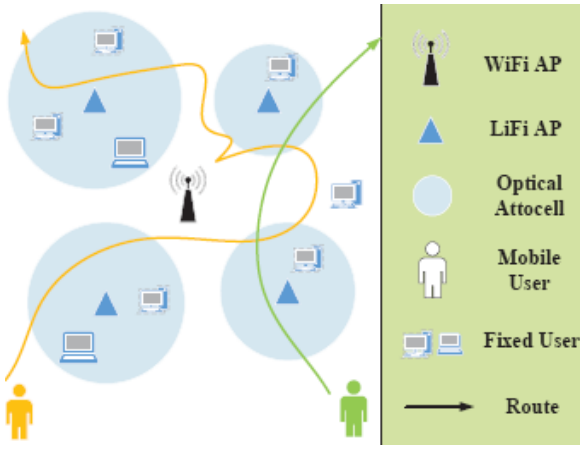
پیام پرکار رضائیه، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (email: payam.porkar@srbiau.ac.ir).

حمید شکرزاده (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران، (email: shokrzadeh@gmail.com).

مهدی دهقان تخت فولادی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران، (email: dehghan@aut.ac.ir).

امیرمسعود رحمانی، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (email: Rahmani74@srbiau.ac.ir).

1. Radio Frequency
2. Wireless Fidelity
3. Visible Light Communication
4. Light Fidelity



شکل ۱: عملکرد سیستم تلفیقی [۲].

اگرچه Li-Fi ویژگی‌های مثبت زیادی دارد، از نظر وسعت پوشش و محدودیت کاربری دارای نقاط ضعفی است. همچنین در این فناوری نور باید مستقیم و در جهت مناسب تابیده شود و در نور زیاد نیز کشف شبکه دچار اختلال خواهد شد. از آنجایی که هر یک از فناوری‌های Wi-Fi و Li-Fi یک سری نقاط مثبت و یک سری نقاط منفی دارند، در ساختارهای نوین به ترکیب این دو فناوری پرداخته شده که می‌تواند اثرات مناسبی را بر روی قابلیت‌های شبکه و کارایی آن ایجاد کند. این شبکه تلفیقی، فناوری ارتباط نوری قابل مشاهده (VLC) که برای انتقال داده‌ها با سرعت بالا استفاده می‌شود و فناوری بسامد رادیویی (RF) را با یکدیگر ترکیب می‌نماید. شبکه تلفیقی[1] بازده سیستم و کارایی کاربران سیستم را افزایش می‌دهد و همچنین چالشی برای روند پردازش نقطه دسترسی‌های ناهمگن به وجود می‌آورد. این فناوری‌ها به‌منظور استفاده در شبکه‌های محلی متصل به شبکه‌های بزرگ مانند اینترنت بسیار مناسب هستند و ترکیب آنها می‌تواند در شبکه‌های مهمی مانند اینترنت اشیا بسیار مؤثر باشد.

اما یک مسئله بسیار مهم در چنین شبکه‌هایی، انتخاب نقطه دسترسی مناسب است که بتواند پوشش مناسبی ایجاد کند و کارایی شبکه به سطح بالایی برسد. اگر این نقطه دسترسی به درستی انتخاب نشود، شبکه تلفیقی به‌درستی نخواهد توانست گره‌ها را پوشش داده و یا در مورد برخی فضاهای شبکه با قدرت عمل کرده و در برخی فضاها عملکرد پایینی خواهد داشت. توازن بار در یک شبکه تلفیقی به‌منظور ایجاد توازن بین گره‌ها و تناسب کارایی در تمام نقاط شبکه اهمیت فراوانی دارد. تا به حال پژوهش چندانی که بتواند عملکرد قابل توجهی در این زمینه ارائه بدهد، انجام نشده و کارهای اندکی که صورت گرفته است نه بر اساس توپولوژی شبکه و عملکرد گره‌ها، بلکه بیشتر بر اساس نظریه‌های ارتباطی بنا شده‌اند. اگرچه بخش نظری نیز می‌تواند تا حدی راهگشا باشد، اما خلأ یک پژوهش که بتواند به بخش توپولوژیکی شبکه و عملکرد استراتژیک گره‌ها به منزله یک راه‌حل مهم و مؤثر نگاه کند، در این زمینه احساس شده است.

با وجود توپولوژی متغیر شبکه‌های بی‌سیم در هر زمان و احتمال جابه‌جایی کاربران و گره‌های شبکه محلی، همچنین ترافیک متغیر گره‌ها و در مجموع تغییر رفتار شبکه‌ای گره‌ها، اگر انتخاب نقاط دسترسی در طول عمر شبکه به‌درستی انجام نشود، کارایی افت قابل توجهی پیدا می‌کند. برای مثال زمانی که کاربری از محدوده دسترسی Wi-Fi خارج می‌شود، کاهش بار را در بستر مزبور و افزایش بار را در نقطه دسترسی Li-Fi مشاهده خواهیم کرد [۱]. بنابراین در این پژوهش برای ایجاد توازن بار در دو بستر Wi-Fi و Li-Fi با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های آنها اقدام می‌شود و در این مسیر یک استراتژی مناسب برای انتخاب نقطه دسترسی بر روی گره‌ها از طریق نظریه بازی مارکوف پیشنهاد شده است. کاربران در این مدل از شبکه تلفیقی و الگوریتم توازن بار در زمان حرکت و عبور از نقطه دسترسی به نقطه دیگر در بین دو شبکه Wi-Fi و Li-Fi منابع اشتراکی را مورد توازن بار قرار می‌دهند [۲]. راه‌حل پیشنهادی با توجه به شرایط موجود شبکه و یادگیری گره‌ها در انتخاب نقطه دسترسی، به‌صورت پویا کارایی محیط را با توجه به مقایسه با روش‌هایی همچون فازی به طور مناسبی بالا می‌برد.

ساختار مقاله در ادامه بدین شرح است: در بخش دوم به بیان کلی شبکه‌های تلفیقی Wi-Fi و Li-Fi و کارهای مرتبط در این زمینه و تعادل بار پرداخته می‌شود. بخش سوم روش پیشنهادی را برای اجرای روش انتخاب نقطه دسترسی با بهره‌گیری از نظریه بازی مارکوف به‌منظور افزایش کارایی و گذردهی شبکه شرح می‌دهد. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی ارائه شده و نهایتاً در بخش پنجم نتیجه‌گیری و کارهای آینده بیان خواهد گردید.

۲- مفاهیم اولیه و کارهای مرتبط

در شکل ۱ ترکیب نقاط دسترسی دو بستر ارتباطی Wi-Fi و Li-Fi به شکلی ارائه شده که یک نقطه دسترسی Wi-Fi در کنار چندین نقطه دسترسی Li-Fi ترکیب شده است. در این نمونه طرح سناریویی به شکل توزیع یکنواخت تصادفی از سوی کاربران مشاهده می‌شود. در این شکل، کلیه نقاط دسترسی‌ها بدون خطا به یکدیگر متصل شده‌اند. در این شبکه تلفیقی با توجه به اطلاعات موقعیت کانال (CSI)[2] و نوسانات موجود پیش رو در حین بهره‌برداری کاربران متحرک می‌بایست در فواصل منظم، عملیات متوازن‌سازی[3] بار را انجام دهند. فرض بر این است که اطلاعات موقعیت کانال در هر دو سیستم Li-Fi و فرکانس رادیویی برای مدت کوتاهی ثابت باقی می‌ماند که به عنوان یک موقعیت ثابت تعریف شده و بدین ترتیب تغییرات را با یک مقدار جدید در موقعیت دیگر با لحاظ‌نمودن فاصله زمانی بین دو همسایه در نظر می‌گیرد. در هر موقعیت حضور کاربر، فرض بر این است که پیکربندی و متوازن‌سازی به شکل ثابت لحاظ می‌گردد و کاربران نرخ داده ثابت را دریافت می‌نمایند. عدد طبیعی N نشان‌دهنده تعداد و دنباله‌ای از موقعیت‌های موجود است.

هر کدام از نقاط دسترسی Li-Fi از یک صفحه پهن یا همان دیود ساطع‌کننده نور (LED)[4] با توان کم تشکیل شده و در کنار آشکارسازهای نوری کاربران (PD)[5]، مسئول حفظ تعادل بار در یک نقطه دسترسی (AP)[6] شبکه Li-Fi است [۳]. در این بستر ارتباطی، زاویه انتشار با زاویه مکان‌های آشکارساز نوری متناسب است. دیوارهای موجود موجب جداسازی و قسمت‌بندی بستر ارتباطی شبکه Li-Fi می‌شوند. توازن بار در هر دو حالت Li-Fi و Wi-Fi باید به‌درستی اجرا شود. در این مدل، C نشان‌دهنده مجموعه‌ای از نقاط دسترسی متعلق به Li-Fi و Wi-Fi است

1. Hybrid Network

2. Channel Status Information
3. Load Balancing
4. Light Emitting Diode
5. Photo Detector
6. Access Point

که $C=0$ نشانگر نقاط دسترسی Wi-Fi است و $1<C<Nc$ نقاط دسترسی Li-Fi را نشان می‌دهد و مجموعه‌ای از کاربران با U_i نشان داده شده است. در واقع یک مدل ترافیکی با بافر پر در نظر گرفته شده است؛ به طوری که حداکثر سرعت داده‌های دست‌یافتنی برای هر کاربر در همه زمان‌ها ارزیابی می‌گردد.

برای مدل ریاضی فناوری تلفیقی Wi-Fi و Li-Fi نیاز به محاسبه SINR این دو شبکه وجود دارد که مطابق با (۱) برای Li-Fi و (۲) برای Wi-Fi می‌باشد که در ذیل آمده است [۴]

$$SINR_{Li-Fi}^{i,u}=\frac{(\frac{R_{pd}H_{Li-Fi}^{i,u}P_{opt}}{k})^2}{N_{Li-Fi}B_{Li-Fi}+\sum_{(j\neq i)}(\frac{R_{pd}H_{Li-Fi}^{i,u}P_{opt}}{k})^2} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق $H_{(Li-Fi)}^{(i,u)}$ میزان انتشار در کانال، N_{Li-Fi} مقدار چگالی طیفی توان (PSD)[1] یا نیروی نویز جذب‌شده در آشکارسازهای نوری کاربران و B_{Li-Fi} مقدار پهنای باند نقطه دسترسی Li-Fi است. R_{pd} میزان پاسخ‌دهی یا مسئولیت‌پذیری[2] حسگر و پاسخ‌دهنده موج است. P_{opt} میزان نوری است که ارسال می‌شود و k عامل توان الکترونیکی را نشان می‌دهد. ضریب P_{opt}/k برابر با میزان سیگنال نور است [۴]

$$SINR_{Wi-Fi}^{i,u}=\frac{G_{Wi-Fi}^{i,u}P_{Wi-Fi}}{N_{Wi-Fi}B_{Wi-Fi}} \qquad (۲)$$

در این رابطه $G_{Wi-Fi}^{i,u}$ بهره‌وری در کانال و N_{Wi-Fi} مقدار چگالی طیفی توان یا نویز دریافتی در گیرنده است. P_{Wi-Fi} و B_{Wi-Fi} به ترتیب نیروی انتقال و پهنای باند مورد استفاده توسط نقطه دسترسی Wi-Fi می‌باشند.

پیش از این پژوهش‌های زیادی در زمینه توازن بار در شبکه‌ها وجود داشته است. به توزیع ترافیک بر مبنای الگوریتم‌های توزیع متناسب، عملیات متوازن‌سازی یا توازن بار گفته می‌شود. فرایند توازن بار (LB)[3] زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند منبع انتقال داده مانند بی‌سیم یا فیبر نوری به یک روتر متوازن‌کننده بار متصل شده باشند. به‌کارگیری این روترها سبب می‌شود تا قابلیت اطمینان سیستم افزایش یابد؛ زیرا در صورتی که یکی از خطوط اینترنت دچار ایراد شده و قطع شود، همچنان به اینترنت دسترسی وجود خواهد داشت [۵] تا [۸]. یک روتر متوازن‌کننده بار، ترافیک اینترنتی را به شکل بهینه‌ای از طریق دو یا چند اتصال پرسرعت مدیریت می‌کند تا به کاربرانی که به‌صورت هم‌زمان از اینترنت پرسرعت استفاده می‌کنند، خدمات بهتری را ارائه دهد.

روش‌های تعادل بار معمولاً در دسترس بودن منبع و همچنین کیفیت کانال را در نظر می‌گیرند. این روش‌ها می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند: قرض‌دادن کانال و انتقال ترافیک. از آنجایی که Li-Fi و Wi-Fi در طیف‌های مختلف عمل می‌کنند، قرض‌دادن کانال در یک شبکه تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi قابل استفاده نیست و بنابراین روش ساده انتقال ترافیک در نظر گرفته شده است. در عین حال توازن بار مبتنی بر بهینه‌سازی بوده و به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

با استفاده از این روش توازن بار، اگر یک نقطه دسترسی بتواند نیازهای سرعت داده کاربر را برآورده کند، کاربر با این شرط (یعنی برآورده‌کردن نیازمندی و ایجاد رضایت) به نقطه دسترسی متصل می‌شود که بالاترین نرخ نویز سیگنال[4] (SNR) را دارد. در غیر این صورت، کاربر نقطه دسترسی را انتخاب می‌کند که بالاترین رضایت را به کاربر می‌دهد. باید توجه داشت که این نقطه دسترسی هنوز هم می‌تواند بالاترین نرخ نویز سیگنال را ارائه کرده باشد. اگر چندین نقطه دسترسی به بالاترین رضایت کاربر برسند، نقطه دسترسی با بیشترین نرخ نویز سیگنال انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر، روش توازن بار در ابتدا رضایت کاربر را به حداکثر می‌رساند و سپس کیفیت کانال را به‌عنوان یک معیار برای انتخاب در نظر می‌گیرد. قابلیت توازن بار در جهت افزایش کارایی و سرعت در امور شبکه به کار می‌رود. به طور کلی متوازن‌کننده بار بین یک مشتری و میزبان قرار می‌گیرد [۲] و عملکرد آن باعث انجام سریع‌تر کار می‌شود و در واقع زمان پاسخ را پایین می‌آورد؛ در نتیجه باعث افزایش بهره‌برداری از منبع می‌شود. زمان پاسخ برابر است با زمان انتظار به علاوه زمان سرویس. این طور به نظر می‌رسد که الگوریتم توازن بار برای تصمیم‌هایش به تعداد زیادی پیام نیاز دارد که مطلوب نیست. در طرح توزیع‌شده، الگوریتم توازن بار پویا به‌وسیله همه گره‌های موجود در سیستم اجرا می‌شود و مسئولیت توازن بار بین آنها تقسیم می‌گردد. در طرح متمرکز، الگوریتم توازن بار فقط توسط گره مرکزی از سیستم توزیع‌شده اجرا می‌شود و گره مرکزی برای توازن بار در تمام سیستم توزیع‌شده مسئول خواهد بود.

در [۱] روشی ارائه شده که هر پردازنده از وضعیت سایر پردازنده‌ها باید اطلاع داشته باشد (مثلاً آدرس و ...). هر پردازنده یک صف پردازش مخصوص به خود را دارد که در لحظه راه‌اندازی سیستم خالی است. بر همین اساس هر پردازنده برای شروع کار همه پردازنده‌های سیستم را بی‌کار در نظر می‌گیرد. حال اگر صف وظایف پردازنده‌ای پر شد، کار مازاد خود را بر اساس فهرست پردازنده‌های موجود برای یک پردازنده دیگر می‌فرستد. حال یا این پردازنده کار را انجام می‌دهد یا نمی‌دهد که در صورت اجرانکردن کار، یک پیغام برای پردازنده اول ارسال می‌کند. حال پردازنده اول به‌صورت موقت وضعیت این پردازنده را در فهرست از بی‌کار به مشغول تغییر می‌دهد تا برای ارسال کارها مد نظر گرفته نشود و با مابقی پردازنده‌ها تعامل کنند. در این روش تعداد پیام‌های ارسالی نسبت به شیوه رایج بدون هماهنگ‌کننده بسیار کمتر است؛ چون برای ارسال یک پیام نیاز به ارسال ۲ برابر پیام می‌باشد که در این طرح پیشنهادی در بهترین حالت و فقط یک پیام ارسال می‌شود. اساس کار این پژوهش در سیستم‌هایی با پردازش توزیع‌شده است که یک رویکرد پایه را برای چنین سیستم‌هایی در نظر می‌گیرد و تنها می‌تواند به‌عنوان یک الگوی ابتدایی در شبکه‌های توزیع‌شده مد نظر قرار بگیرد. روش پیشنهادی ما نسبت به این روش به‌دلیل آن که دو سیستم متفاوت هستند، قابل مقایسه نیست.

باید در نظر داشت که توازن بار به‌صورت خودکار انجام می‌شود؛ با این روش که تمامی اتصالات مربوط به میزبان مختل و قطع شده و در ادامه کار، آن مشتری‌ها به میزبان سالم ارتباط داده می‌شوند. این رویه بدون این که کاربر متوجه این اختلال شود، رخ می‌دهد. بنابراین در مجموع در دسترس بودن سرویس نسبت به حالتی که یک سرور تنها به درخواست‌ها پاسخ می‌دهد، به حداکثر رسیده و در نهایت از قطعی سرورها کاسته می‌شود [۹].

تمامی رویه شناسایی میزبان مختل شده تا مسیردهی مجدد و ایجاد ارتباط با میزبان سالم در کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه رخ دهد؛ از این رو کاربر به هیچ عنوان با قطعی سرویس ناشی از پایین‌بودن یک سرور مواجه نخواهد شد و نیز به طور چشم‌گیری اختلالات پردازشی سرورها مرتفع می‌شود.

1. Power Spectral Density
2. Responsibility
3. Load Balancing
4. Signal Noise Ratio

علاوه بر روش‌های مطرح‌شده در زمینه تعادل بار در شبکه‌های مربوط، در برخی مقالات به تحقیق در مورد شبکه‌های تلفیقی مشابه پرداخته شده است. برای مثال در [۷] با هدف به حداکثر رساندن بازده، یک روش بهینه‌سازی مرکزی توضیح داده شده که به محاسبات پیچیده و زمان‌بری نیاز دارد. دو روش یادشده در این مقاله از راه‌حل‌های انتخاب نقطه دسترسی (APS)[1] در شبکه‌های همگن استفاده نموده‌اند که هر دو روش در بهره‌برداری از ویژگی‌ها و خصوصیت‌های متمایز بین تکنولوژی‌های Wi-Fi و Li-Fi شکست خوردند. به طور کلی یک شبکه تلفیقی از Wi-Fi و Li-Fi روش‌ها و استراتژی انتخاب نقطه دسترسی را از دو جنبه به چالش می‌کشد که عبارتند از یک نقطه دسترسی Wi-Fi غالباً کاربران نزدیک به خود رو جذب می‌کند و به این ترتیب کارایی نقطه دسترسی Li-Fi که کاربر در محدوده آن است را ناکارآمد می‌کند و از طرف دیگر یک نقطه دسترسی Wi-Fi محدوده بزرگ‌تری از یک نقطه دسترسی Li-Fi را تحت پوشش قرار می‌دهد؛ بنابراین به سربار اضافی که به آن تحمیل می‌شود حساس‌تر است. مزیت پژوهش ما نسبت به این پژوهش (یعنی [۷]) در کاهش بار محاسباتی مورد نیاز و هوشمندی انتخاب نقاط دسترسی همزمان با تغییرات شرایط شبکه است.

در [۴] یک روش انتخاب نقطه دسترسی بر اساس منطق فازی برای انتخاب نقطه دسترسی در شبکه‌های تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi به کار برده شده است. روشی که در این مقاله به آن اشاره گردیده، شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول منطق فازی برای شناسایی کاربرانی که به شبکه Wi-Fi متصل شده‌اند توسعه داده شده است. سپس در مرحله دوم، اگر کاربری در شبکه باقیمانده باشد به شبکه Li-Fi اختصاص داده می‌شود. روش پیشنهادشده یک الگوریتم متمرکز[2] است و برخلاف روش‌های توزیع به تکرار برای رسیدن به وضعیت ثابت نیاز ندارد. برخلاف روش بهینه‌سازی متمرکز[3]، روش مطرح‌شده می‌تواند با استفاده از منطق فازی به شکل قابل ملاحظه‌ای عملیات پروسس را کاهش دهد.

برخلاف اکثر مطالعات، مانند تحقیقات [۱۰] انجام‌شده در این زمینه، این مقاله یک سناریوی داخلی را با قسمت‌های مختلف آن توسعه داده است. علاوه بر این، روش پیشنهادی، بهینه شده و بهبود یافته است. طبق ادعای این مقاله، روش پیشنهادی آن به طور قابل توجهی از پیچیدگی انتخاب در روش‌های مبتنی بر محاسبات می‌کاهد و همچنین تفاوت بین روش مطرح‌شده و روش انتخاب نقطه دسترسی معمولی قابل توجه است. استفاده از منطق فازی در ابتدای ارتباط، یک روال متفاوت را نسبت به پژوهش ما ایجاد می‌کند که معایبی از جمله قدرت تحلیل پایین را به دنبال خواهد داشت. ضمن این که روالی برای پویایی و یادگیری بالقوه وجود ندارد؛ حال آن که در اکثر بازی‌ها از جمله بازی مشارکتی این موارد به چشم می‌خورد. در نتیجه عمده مزیت روش پیشنهادی ما نسبت به این پژوهش، داشتن روال هوشمند، پویایی و یادگیری در زمان اجرای شبکه است.

در [۸] مسئله تعادل بار پویا برای شبکه تلفیقی بین فرکانس رادیویی و شبکه Li-Fi بررسی شده است. حتی اگر شبکه‌های Li-Fi بتوانند توان عملیاتی داده‌ای بسیار بالایی را فراهم کنند، اما توزیع فضایی چنین داده‌های بالایی ممکن است یکنواخت نباشد. نشان داده شده که این نوسانات نرخ داده فضایی را می‌توان با موفقیت توسط یک شبکه فرکانس رادیویی افزوده‌شده به شبکه Li-Fi کاهش داد. در این مقاله، یک الگوریتم متعادل‌کننده بار پویا برای یافتن انتساب بهینه نقطه دسترسی به منظور برآوردن محدودیت‌های معین در هر کاربر برای نرخ داده وقتی به حداقل عملکرد خروجی و آستانه قطعی می‌رسد، پیشنهاد شده است. همچنین یک آستانه میزان داده برای تعیین این که آیا کاربران باید توسط نقطه دسترسی Li-Fi یا نقطه دسترسی فرکانس رادیویی سرویس‌دهی شوند، تعریف شده است. یکی از مشکلات این روش، احتمال انحراف از محل جابه‌جایی به خاطر در نظر گرفتن اتلاف بسته در زمان جابه‌جایی است که این مشکل در روش پیشنهادی وجود ندارد. همچنین از نظر محاسباتی نیز روش پیشنهادی وضعیت به‌مراتب بهتری را نسبت به این روش فراهم می‌کند.

پژوهش [۱۰] موضوع انتخاب نقطه دسترسی را در یک شبکه بی‌سیم تلفیقی بین فناوری ارتباطات نور مرئی و فناوری‌های فرکانس رادیویی بررسی می‌کند. به گفته مقاله یک شبکه تلفیقی چندین لایه از پوشش را ایجاد می‌کند؛ بنابراین کاربر سطح بالایی از قدرت دریافت سیگنال (RSS)[4] را از بیش از یک نقطه دسترسی به دست می‌آورد. این واقعیت اثربخشی روش‌های متداول انتخاب نقطه دسترسی مبتنی بر قدرت دریافت سیگنال را تضعیف می‌کند. عامل چالش‌برانگیز دیگر عدم شباهت میان برنامه‌های ناهمگن از نظر سطح پوشش و ظرفیت است. به طور کلی، فرکانس رادیویی مساحت بیشتری را پوشش می‌دهد، اما ظرفیت کمتری نسبت به ارتباطات نور مرئی دارد و بنابراین سیستم فرکانس رادیویی مستعد فشار بیش از حد است. اگرچه مسئله انتخاب نقطه دسترسی می‌تواند به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی فرموله شود، اما این روش به مقدار بیش از حد قدرت پردازشی نیاز دارد. در این مقاله یک روش انتخاب نقطه دسترسی دومرحله‌ای بر اساس منطق فازی با پیچیدگی محاسباتی بسیار کم ارائه شده است. روش جدید ابتدا کاربرانی را تعیین می‌کند که باید به سیستم فرکانس رادیویی متصل شوند و سپس بقیه کاربران را به عنوان یک شبکه ارتباطات نور مرئی مستقل در نظر می‌گیرد. مشکل این روش نیز همانند [۶] عدم پویایی در انتخاب نقطه دسترسی و یادگیری است که در روش پیشنهادی این موضوع به کار گرفته شده و یک مزیت مهم را شکل می‌دهد. پیچیدگی محاسباتی آن نیز حتی از روش [۶] بالاتر است و یک مزیت دیگر روش پیشنهادی کاهش نیازمندی محاسباتی است.

در [۱۱] میانگین بازده طیفی ناحیه (ASE)[5] مربوط به شبکه بی‌سیم ارتباطات نور مرئی در محیط داخلی برای ابعاد مختلف اتاق (۲٫۵ متر × ۵ متر × ۳ متر، ۵ متر × ۵ متر × ۳ متر و ۱۰ متر × ۱۰ متر × ۳ متر) بررسی شده است. یک مقایسه در برابر پیشرفته‌ترین سیستم فرکانس رادیویی با استفاده از سلول‌های فمتوسل در داخل منزل انجام شده است. نسخه اصلاح‌شده از رادیوی جدید ابتکاری دنیای بی‌سیم (WINNER)[6] در سناریوی محیط داخلی (ساختمان اداری) به‌عنوان تنظیمات متداول که در آن نقاط دسترسی فمتوسل و نقاط دسترسی ارتباطات نور مرئی نصب می‌شوند به کار گرفته شده است. برای سیستم فرکانس رادیویی حداقل تعداد APهای فمتوسل در هر طبقه چهار عدد است. لازمه سیستم ارتباطات نور مرئی تحقق شرایط نوری داخل اتاق است که با توزیع نور در اتاق‌هایی با چندین ابعاد ممکن مشخص می‌شود. بهره‌وری ASE از

1. Access Point Selection
2. Centralized Algorithm
3. Centralized Optimization
4. Receive Signal Strength
5. Area Spectral Efficiency
6. Wireless world INitiative NEw Radio

سیستم ارتباطات نور مرئی در مقایسه با دامنه شبکه فمتوسل بین ۱۲ تا ۹۲۴ (بسته به تعداد APهای فمتوسل و مختصات کف) است. توجه به نقاط ضعف و قوت هر دو فناوری VLC و RF و به‌کارگیری آن در جهت بهبود بهره‌وری ارتباطی می‌تواند مزیت پژوهش ما نسبت به این پژوهش قلمداد شود. علاوه بر آن یادگیری و هوشمندی یک مزیت قابل توجه در پژوهش پیشنهادی است که موجب می‌شود در شرایط مختلف اما یکسان بین دو روش، تصمیم‌گیری بهتری صورت پذیرد.

مقالات [۱۲] تا [۱۶] نیز در زمینه ترکیب بین دو شبکه با سیستم نور مرئی و فرکانس رادیویی پیشنهادهایی را مطرح نموده‌اند که منجر به بهبود آن می‌شود. ازجمله در [۱۴]، تمرکز بر روی بهبود گذردهی متوسط و نهایی به ازای هر کاربر است. فرض بر این است که منابع سیستم ارتباطات نور مرئی ثابت هستند و این مطالعه طیف و توان مورد نیاز برای یک سیستم فرکانس رادیویی را به شکل کمی درمی‌آورد که پس از معرفی به سیستم ارتباطات نور مرئی به ازای هر کاربر به نرخ عملکرد بهتری می‌رسد. نیاز به بهینه‌سازی برخی پارامترها با دقت بالا ازجمله نقاط ضعفی است که در این پژوهش وجود دارد و پژوهش پیشنهادی به‌دلیل پویایی و هوشمندی نیاز چندانی به این بهینه‌سازی ندارد.

مطالعه [۱۷] یک روش مبتنی بر شبکه با کاهش توان و نویز مبتنی بر مسیریابی (RPL)[1] است که برای به حداقل رساندن مصرف برق دستگاه اینترنت اشیا ارائه شده که در آن یک روش مسیریابی مبتنی بر اولویت و کم‌مصرف (PriNergy)[2] پیشنهاد شده است. این روش بر اساس پروتکل مسیریابی برای مدل شبکه کم‌مصرف (RPL) است. در این روش کیفیت سرویس برنامه‌های اینترنت اشیا در نظر گرفته شده است؛ به طوری که با تقسیم زمان از دسترسی چندگانه (TDMA)[3] برای همگام‌سازی بین فرستنده و گیرنده و کاهش مصرف برق استفاده می‌شود. نقطه ضعف این روش کاهش نرخ برای شبکه‌های با قدرت بالاست که کارایی را برای این شبکه‌ها کاهش می‌دهد. همچنین عدم توجه به انتخاب نقاط دسترسی برای ارتباط با اینترنت از نقاط ضعف دیگر آن است. مزیت روش پیشنهادی، استفاده از پروتکل‌های مبتنی بر شبکه‌هایی با سرعت و قدرت بالا بر بستر Li-Fi و Wi-Fi است. همچنین این امر از طریق انتخاب مناسب نقاط دسترسی به شکل پویا محقق می‌شود.

مقاله‌های دیگری نیز وجود دارند که از فناوری‌های دیگر در شبکه استفاده کرده و انتخاب نقاط دسترسی در این شبکه‌ها را بررسی کرده‌اند (ازجمله [۱۸] تا [۲۲]). ارتباط این تحقیق با این مطالعات آن است که در همه آنها در مورد چگونگی ترکیب شبکه‌ها و کانال‌ها در یک شبکه بحث شده و سعی گردیده که انتخاب‌ها در یک شبکه بی‌سیم، البته از نظر فناوری بهبود یابند. تفاوت‌هایی وجود دارند که از امکان مقایسه این مطالعات با پژوهش پیشنهادی جلوگیری می‌کنند.

در [۲۳] یک روش ترکیبی تعادل بار و تخصیص نیرو (PA)[4] (توان الکترونیکی) برای یک سیستم ترکیبی ارتباط نور مرئی و سیستم فرکانس رادیویی متشکل از یک نقطه دسترسی پیشنهاد شده است. این الگوریتم دارای تکرار برای توزیع کاربران در نقاط دسترسی و توزیع اختیارات نقاط دسترسی بر روی کاربران آنهاست. در زیرمجموعه تخصیص نیرو یک مسئله بهینه‌سازی برای اختصاص قدرت هر نقطه دسترسی به کاربران متصل برای حداکثر میزان کل داده قابل دستیابی، فرموله شده است. در این زیرمسئله، یک الگوریتم ارائه شده که متغیرهای بهینه دوگانه را پس از فرموله‌کردن آنها از نظر هم پیدا می‌کند. این الگوریتم جدید به ادعای مقاله، همگرایی سریع‌تر و عملکرد بهتری نسبت به روش زیرگرادیان سنتی دارد. به‌علاوه، این موضوع به اندازه گام و مقادیر اولیه متغیرها بستگی ندارد، اما روش‌های زیرگرادیان عموماً به آن بستگی دارند. سپس کاربر شروع به جستجوی حداقل نرخ داده برای نقاط دسترسی دیگری می‌کند که نرخ داده بالاتری را برای آن کاربر ارائه می‌دهد. کاربرانی که نرخ داده کمتری دارند، از آن نقطه به نقطه دیگر اتصال مجدد می‌کنند تا به تعادل بار برسند و این عمل فقط در صورتی انجام می‌شود که این مهاجرت جمع قابل دستیابی، نرخ داده‌ها را افزایش دهد و عدالت را در سیستم برقرار نماید. برای انجام توزیع توان و توازن بار ترکیبی دو رویکرد پیشنهاد شده است: یک رویکرد اصلی که اطلاعات تداخل دقیق را برای همه کاربران در نظر می‌گیرد و یک رویکرد غیربهینه که با در نظر گرفتن اطلاعات تداخل تقریبی کاربران، باعث کاهش پیچیدگی رویکرد اول می‌شود. این روش در این پژوهش به نام PA-LB شناخته می‌شود. از طرفی محاسبات دقیق سیستم را دچار افزایش بار می‌کند که این موضوع مزیت روش پیشنهادی ما نسبت به روش اول است و از طرفی غیربهینگی از کارایی عملکرد روش دوم می‌کاهد و در کل از نظر کارایی مزیت روش پیشنهادی نسبت به این روش را می‌تواند در پی داشته باشد؛ چنانچه در مقایسه‌ها نیز شاهد آن هستیم.

در [۲۴] بیان شده که روش توازن بار معمولی که با هدف ارائه یک راه‌حل بهینه برای انتخاب نقطه دسترسی با اطلاعات داده‌شده کانال (CSI)[5] ایجاد شده است، در عمل ممکن است باعث جابه‌جایی‌های مکرر مکرر و غیرضروری بین دو فناوری شود. در این مقاله، مسئله بهینه‌سازی مشترک برای بررسی هم‌زمان توازن بار و تحویل در شبکه تلفیقی Wi-Fi و Li-Fi فرموله‌بندی شده تا تحلیل ریاضی مناسبی از آن ارائه گردد. تحلیل ریاضی و بهینه‌سازی هم از نظر بار محاسباتی و پیچیدگی مشکل‌آفرین است و هم موجب ایستایی روش می‌شود که برای محیط پویای شبکه تأثیر به‌کارگیری آن را کاهش می‌دهد. بنابراین در اینجا نیز با مزیت کاهش بار محاسباتی و پویایی و هوشمندی روش پیشنهادی مواجه هستیم.

در [۲۵]، هم‌زمانی شبکه‌های Li-Fi و Wi-Fi برای سناریوی چندکاربره، تحت این فرض عملی که هر دوی آنها توسط یک شبکه واسط[6] (به‌عنوان مثال فیبر نوری) عمل می‌کنند، بررسی شده است. ؟؟؟ به‌طور خاص به‌منظور تلاش در جهت به حداکثر رساندن عدالت متناسب برای همه کاربران، مشکلات تخصیص منابع و هماهنگی را مطالعه نموده است. برای انجام این کار، یک مسئله بهینه‌سازی را برای تخصیص انرژی سناریوی تلفیقی Li-Fi/Wi-Fi، تحت محدودیت عملکرد مشترک معمول، تدوین و حل نموده است. با این حال روش بهینه‌سازی به این شکل برای تمام وضعیت‌ها غیر قابل به‌کارگیری بوده و مناسب شرایط و سناریوی خاص آن است. همین موضوع مزیت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که در هر زمان و شرایط قابل به‌کارگیری بوده و پیچیدگی مسئله بهینه‌سازی تحلیلی را ندارد.

در [۲۶] یک نمودار تخصیص منابع مبتنی بر بازی نمودار ائتلاف با

1. Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks
2. Priority Based Energy Efficient Routing Method
3. Time Division Multiple Access
4. Power Allocation
5. Channel Status Information
۶. شبکه واسط بین هسته اصلی (ستون فقرات) شبکه و شبکه‌های فرعی و کوچک (backhaul)

سود غیر قابل انتقال (NTU-CGG)[1] با انتخاب رله برای شبکه‌های رادیویی شناختی مبتنی بر تقسیم فرکانس متعامد (OFDMA)[2] برای به حداکثر رساندن توان سیستم و انصاف سیستم ارائه شده است. در این الگوریتم، کاربران ثانویه‌ای (SU)[3] که کانال‌های کمتری دارند با کمک سایر کاربران ثانویه می‌توانند با ایجاد یک نمودار درختی مستقیم با توجه به در دسترس بودن طیف و تقاضای ترافیک، توان خود را بهبود بخشند. بنابراین این طرح می‌تواند به طور مناسبی از تنوع فضا و فرکانس سیستم بهره‌برداری کند. نتایج عملکرد نشان می‌دهد که روش فوق به طور قابل توجهی سطح عدالت سیستم را بهبود می‌بخشد؛ در حالی که در مقایسه با الگوریتم‌های موجود از توان عملیاتی کمی برخوردار نیست. با وجودی که این چارچوب در شبکه‌های رادیوشناختی مورد استفاده و قابل به‌کارگیری است، اما یک راه‌حل برای استفاده از نوعی بازی ائتلافی در شبکه‌های کامپیوتری را مطرح می‌کند. این روش برای شبکه‌های رادیوشناختی طراحی شده و در شبکه‌های ترکیبی Wi-Fi و Li-Fi به شکل مستقیم قابل به‌کارگیری نیست.

بازه زمانی اتصال در مدل نقطه راه[4] تصادفی برای گره‌های سیار در [۲۷] مدل شده که یک تحلیل جالب برای طول اتصال را در مورد شبکه‌هایی با گره‌های سیار در ارتباط با سرعت و فاصله گره‌ها از دیدگاه زاویه بین گره‌ها ارائه می‌دهد. در صورتی که گره‌ها در یک شبکه موردی سیار در نظر گرفته شود، می‌توان از این تحلیل در جهت تخمین زمان اتصال بین گره‌ها استفاده نمود.

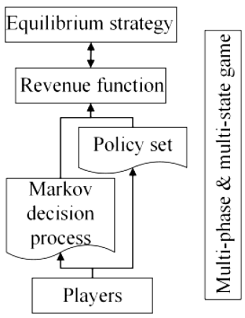
در [۲۸]، نویسندگان در وهله اول تجزیه و تحلیل جامعی در مورد استراتژی‌های ارتباطی اینترنت اشیا و برنامه‌های کاربردی برای دستگاه‌های هوشمند بر اساس یک بررسی منظم ادبیات ارائه داده‌اند. پس از آن، رویه‌ها و برنامه‌های ارتباطی را در چهار موضوع اصلی شامل دستگاه به دستگاه، دستگاه به ابر، دستگاه به دروازه و سناریوهای دستگاه به برنامه دسته‌بندی کرده‌اند. علاوه بر این، طبقه‌بندی فنی برای طبقه‌بندی مقالات موجود بر اساس روش مبتنی بر جستجو در پایگاه‌های علمی ارائه شده است. طبقه‌بندی فنی، پنج دسته از کاربردهای ارتباطی اینترنت اشیا را شامل ارتباطات مبتنی بر نظارت، ارتباطات مبتنی بر مسیریابی، ارتباطات مبتنی بر سلامت، ارتباطات مبتنی بر نفوذ و ارتباطات مبتنی بر منابع ارائه می‌دهد. نویسندگان مشاهده کردند که مقوله ارتباط مبتنی بر منابع با ٪۳۵ استفاده، محبوب‌ترین نوع روش‌ها است. همچنین مشخص شد ارتباط دستگاه به ابر با ٪۵۲ استفاده در رویه‌های ارتباط اینترنت اشیا، محبوب‌ترین نوع ارتباط است. در هر گروه، معیارهای ارزیابی مهم با توجه به زمان، تأخیر، پهنای باند، انرژی و تأخیر در رویه‌های ارتباط اینترنت اشیا با بیشترین ارزیابی نسبت به سایر عوامل مانند در دسترس بودن، توان عملیاتی، هزینه و استفاده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. علاوه بر این، نویسندگان مشاهده کردند که سناریوهای موجود در همه جا[5] با ٪۳۸ برای ارزیابی رویه‌های ارتباط اینترنت اشیا بیشترین استفاده را دارند. همچنین استفاده از فناوری پیام‌رسانی، رایج‌ترین فناوری ارتباطی قابل استفاده برای اتصال دستگاه‌های هوشمند و برنامه‌های اینترنت اشیاست. این پژوهش یک مقاله مروری است که روش خاصی را برای بهبود شبکه پیشنهاد نداده است.

شبکه‌های G۵ با قابلیت اتصال و پوشش بهتر را می‌توان با تکنیکی به نام دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA)[6] به دست آورد که سطح قدرت هر کاربر را تغییر می‌دهد. نویسندگان در [۲۹] برای مقابله با پهنای باند محدود Wi-Fi و Li-Fi، یک الگوریتم بر مبنای هوش انبوه و به‌طور اختصاصی جستجوی فاخته برای استفاده مجدد از فرکانس شبکه ترکیبی Wi-Fi-Li-Fi در محیط بیرونی و با بهره‌گیری از تکنیک بیان‌شده پیشنهاد داده‌اند. سیستم ترکیبی Wi-Fi و Li-Fi با انتشار مسیر دید (LOS)[7] در محیط بیرون مدل‌سازی می‌شود. روش پیشنهادی مقاله از انتشار نور مرئی دوطرفه همراه با تکنیک بیان‌شده استفاده می‌کند که یک رویکرد جدید برای شبکه‌های بی‌سیم نسل پنجم است. تکنیک بیان‌شده (NOMA) می‌تواند همزمان با فرکانس یکسان و چندین سطح توان به کاربران مختلف کمک کند. توان و بهره‌وری طیفی سیستم با استفاده مجدد از فرکانس دینامیکی بهبود می‌یابد. در مقاله، مفهوم NOMA برای اولین بار در ارتباطات بیرونی با استفاده از طرح استفاده مجدد فرکانسی[8] پویا نشان داده شده و در آن از آخرین کدهای LDPC[9] در آخرین استاندارد G۵ استفاده شده است. استفاده مجدد از فرکانس در یک شبکه ترکیبی موضوعی بسیار گسترده است که از موضوع روش پیشنهادی ما بسیار متفاوت بوده و نقاط ضعف و قوت مختص خود را دارد و از این رو قابل مقایسه با روش پیشنهادی نیست.

در [۳۰]، یک رویکرد تأمین منابع کارآمد ارائه شده است. این روش با بهره‌گیری از مدل محاسبات خودمختار و یک روش مبتنی بر یادگیری بیزی سعی در تصمیم‌گیری برای افزایش و کاهش منابع مه با مقیاس پویا برای تطبیق بار جریان کاری خدمات اینترنت اشیا در محیط محاسبات مه می‌نماید. این روش به ترتیب از ترکیبی از مدل‌های پیش‌بینی سری زمانی و روش مبتنی بر یادگیری بیزی به‌عنوان یک تصمیم‌گیرنده برای تجزیه و تحلیل و برنامه‌ریزی مراحل حلقه کنترل MAPE-K[10] استفاده می‌کند. همچنین این پژوهش، یک چارچوب تأمین منابع مستقل بر اساس معماری سه‌لایه محیط مه عمومی طراحی نموده است. بهبود تخصیص منابع موضوعی نسبتاً مجزاست و در کنار روش انتخاب نقطه دسترسی می‌تواند در پژوهش‌های دیگری مطرح شود تا به بهبود قابل توجهی در شبکه ترکیبی Wi-Fi و Li-Fi در ارتباط با رایانش مه دست پیدا شود.

پژوهش‌های دیگری نیز وجود دارند که از فناوری‌های دیگر در شبکه استفاده نموده و انتخاب نقاط دسترسی در این شبکه‌ها را بررسی کرده‌اند (ازجمله [۳۱] تا [۳۹]). به عنوان مثال در [۳۲] یک روش ترکیبی تعادل بار و تخصیص نیرو (توان الکترونیکی) (PA) برای یک سیستم ترکیبی ارتباط نور مرئی (VLC) و سیستم فرکانس رادیویی متشکل از یک نقطه دسترسی RF و چندگانه پیشنهاد شده است. ارتباط پژوهش حاضر با این مطالعات آن است که در همه این مقالات در مورد چگونگی ترکیب شبکه‌ها و کانال‌ها در یک شبکه بحث شده و سعی گردیده که انتخاب‌ها در یک شبکه بی‌سیم، البته از نظر فناوری بهبود یابد. تفاوت عمده روش‌ها عدم پویایی و هوشمندی لازم برای انتخاب مناسب پارامترها یا شبکه و یا سنگین‌بودن و پیچیدگی محاسبات است که موجب می‌شود تأثیر اعمال این روش‌ها بر روی کارایی کلی شبکه کاهش یابد.

1. Non-Transferable Utility Coalition Graph Game
2. Orthogonal Frequency Division Multiple Access
3. Secondary Users
4. Waypoint
5. Ubiqutouse
6. Non-Orthogonal Multiple Access
7. Line of Sight
8. Frequency Reuse
9. Low Density Parity Check
10. Monitor Analyze Plan Execute Plus Knowlodge



شکل ۲: بازی چندمرحله‌ای و چندحالته مارکوف [۴۲].

در بین روش‌های انتخاب نقطه دسترسی، روش مبتنی بر بیشترین قدرت سیگنال (SSS)[1] روشی ساده است که همیشه نقطه دسترسی‌ای را را انتخاب می‌کند که دارای بالاترین کارایی طیف است. در یک شبکه همگن، گیرنده در هنگام جمع‌آوری سیگنال‌های منتشرشده از نقطه دسترسی‌های مختلف، همان میزان قدرت نویز را تجربه می‌کند. بنابراین برای کاربر مورد علاقه، روش بیشترین قدرت سیگنال به سادگی نقطه دسترسی‌ای را انتخاب می‌کند که بیشترین قدرت سیگنال دریافتی را ارائه می‌دهد. با این حال در یک شبکه تلفیقی برای دریافت سیگنال‌های نور و رادیو، مکانیزم‌های مختلفی نیاز است که منجر به قدرت نویز مختلف در هر پهنای باند بین سیستم‌های Li-Fi و Wi-Fi می‌شود. همچنین این دو سیستم می‌توانند از پهنای باندهای مختلف استفاده کنند. بنابراین معمولاً به جای قدرت سیگنال برای انجام روش مبتنی بر بیشترین قدرت سیگنال در یک شبکه تلفیقی، نسبت سیگنال به نویز (SNR)[2] دریافت می‌شود.

۳- فرایند تصمیم‌گیری مارکوف و بازی مارکوف

در روش پیشنهادی از بازی مارکوف برای انتخاب بر اساس رفتار استراتژیک اشیا در شبکه اینترنت اشیا استفاده می‌شود. این بازی مبتنی بر فرایند تصمیم‌گیری مارکوف است که یک نوع یادگیری تقویتی محسوب می‌شود و بر اساس سیاست پاداش و جریمه عمل می‌کند. عملکرد یادگیری در این روش به گونه‌ای است که هر عملی که انجام می‌شود با بازخوردی که از محیط گرفته می‌شود، در مکانیزم پاسخ‌دهی توسط عامل‌ها به یک حالت خوب یا بد تفسیر می‌گردد و به‌وسیله توابع پاداش و جریمه در برابر آن عکس‌العمل نشان داده می‌شود و در نتیجه، یادگیری اتفاق می‌افتد. موضوع یادگیری در نتیجه این است که عامل‌ها توسط الگوریتم سعی در بیشینه‌کردن تابع سودمندی خود دارند؛ بنابراین هر عملی که موجب افزایش سودمندی شود دارای احتمال تکرار بیشتری خواهد شد. مدل یادگیری تقویتی با فرایند مارکوف یک مدل ساده از یادگیری تقویتی است که از ساده‌ترین انواع یادگیری تقویتی محسوب می‌شود. چنانچه بیان شد بازی مارکوفی نیز از همین مدل یادگیری تقویتی با فرایند تصمیم‌گیری مارکوف در اجرای بازی استفاده می‌کند.

مدل پیشنهادی در زمینه انتخاب نقطه دسترسی در شبکه‌های تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi از یک مدل مبتنی بر بازی مارکوف استفاده می‌کند و رسیدن سیستم به تعادل نش[3] در هر زمان می‌تواند یک نشانه برای قرارداشتن شبکه در حالت متوازن باشد. مدل بازی مارکوف، مدلی ساده و در عین حال کارا برای محیط‌های غیرقطعی است که بر روی آن چندین عامل تعریف می‌شود [۴۰] و [۴۱]. هر عامل مانند یک بازیکن در یک بازی سعی در بالابردن پاداش در بازی دارد. این پاداش در بازی مارکوفی به شکل امید ریاضی یا مجموع کاهش‌یافته پاداش مورد انتظار[4] ظاهر می‌شود و هر عامل می‌خواهد آن را افزایش دهد؛ اما این افزایش تا یک اندازه امکان‌پذیر بوده و متوقف خواهد شد. این حالتی است که ابتدا پایدارترین حالت بوده و در ادامه تعادل بین اجزای شبکه برقرار می‌شود. فرایند تصمیم‌گیری مارکوف بخشی از این بازی چندمرحله‌ای و چندحالته[5] چندحالته[5] است که بخش اعمال تصمیم را نشان می‌دهد.

در روش پیشنهادی به منظور بهبود انتخاب نقطه دسترسی برای هر گره، رفتار رویه‌ای گره‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد. این رفتار رویه‌ای در واقع نشان‌دهنده عملکرد یک گره در شبکه است که در بین هر گره متفاوت خواهد بود و در هر زمان از عمر شبکه نیز امکان تغییر در آن وجود دارد. گره‌ها در یک شبکه تلفیقی شامل دستگاه‌های ثابت و سیار است که برای هر کدام از این گره‌ها، یک عامل در نظر گرفته خواهد شد.

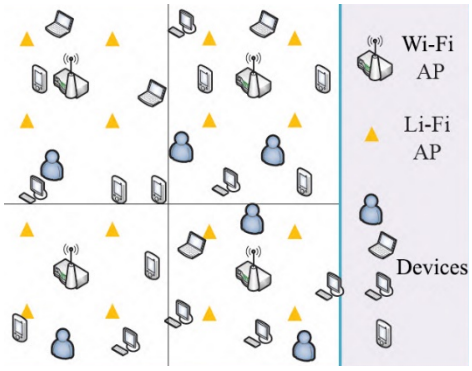
کاربرد این روش در سیستم تلفیقی Wi-Fi و Li-Fi در انتخاب نقطه دسترسی توسط گره‌ها است که سعی در بهبود عوامل مهم در کارایی شبکه‌های محلی بی‌سیم همچون گذردهی و تأخیر می‌کند. بدین ترتیب وقتی نقطه دسترسی انتخاب می‌شود، انتخاب نقطه دسترسی توسط گره بعدی در شبکه تحت تأثیر این انتخاب قرار گرفته و اگر گره بعدی در تیررس همان نقطه دسترسی نیز باشد، احتمال انتخاب کمتر خواهد شد. البته این در صورتی است که گره انتخاب‌های دیگری نیز داشته باشد که معمولاً در شبکه تلفیقی یک گره شبکه به دو (یا حتی چند) نقطه دسترسی، دسترسی دارد. در نتیجه در چنین شبکه‌ای با به‌کارگیری عوامل بازی سعی می‌شود عدالت بین نقاط دسترسی مختلف برقرار شده و شبکه بتواند به سمت تعادل پیش رود. مدل بازی مارکوف متشکل از بازیگران، فرایند تصمیم‌گیری مارکوف و مجموعه سیاست‌هاست.

در این مدل که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، چندین جزء وجود دارد که در ارتباط با هم عمل می‌کنند. بخش بازیگران[6] یک جزء پایه‌ای است. فرایند تصمیم‌گیری مارکوف (MDP)[7]، مجموعه سیاست[8]، تابع منفعت[9] منفعت[9]

و استراتژی تعادل[10] بخش‌های دیگر تشکیل‌دهنده این مدل است که بازی چندمرحله‌ای و چندحالته مارکوف[11] را مشخص می‌کند. بازیکنان عامل‌هایی هستند که بر روی اجزای مشخص سیستم تعریف می‌شوند و از مجموعه سیاست‌ها برای بازی تبعیت می‌کنند. فرایند تصمیم‌گیری مارکوف، روندی است که بازیگران با استفاده از آن به انجام تصمیم می‌پردازند و این تصمیمات را با توجه به تابع منفعت می‌گیرند. در واقع تابع منفعت، سودمندی حاصل از اجرای تصمیمات را مشخص می‌کند. استراتژی تعادل، حالت‌هایی را مشخص می‌کند که سیستم در آن حالت‌ها به بازدهی مناسب خود می‌رسد.

در بخش فرایند تصمیم‌گیری مارکوف نیاز به تعریف مدل وجود دارد. یک فرایند تصمیم‌گیری مارکوف با یک مجموعه از حالت‌ها (S) و اعمال (A) تعریف می‌شود [۴۳]. یک تابع انتقال که

1. Strongest Signal Strength
2. Signal to Noise Ratio
3. Nash Equilibrium
4. Expected Sum of Discounted Reward
5. Multi Phase and Multi State Game
6. Players
7. Markov Decision Process
8. Policy Set
9. Revenue
10. Equilibrium Strategy
11. Markov Multi Phase and Multi State Game



شکل ۳: شماتیک مدل تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi [۴].

$$T : S \times A \to PD(S) \qquad (۳)$$

تأثیرات اعمال مختلف را روی حالت محیط تعریف می‌کند. [۱] $PD(S)$ مجموعه توزیع احتمال گسسته را بر روی مجموعه S نمایش می‌دهد. تابع پاداش[۲] یا بازپرداخت[۳]

$$R : S \times A \to R \qquad (۴)$$

وظیفه عامل‌ها را مشخص می‌کند [۴۴]. در واقع $R(s,a)$ پاداش عمل a را در حالت یا وضعیت s مشخص می‌سازد که در این صورت هر عامل وظیفه خود را خواهد شناخت. در شرایط کلی هدف عامل‌ها پیداکردن یک سیاست مناسب است که تاریخچه اثرات متقابل (تعاملات) را به انتخاب عمل کنونی نگاشت کند؛ به گونه‌ای که مجموع مورد انتظار از پاداش تخفیف‌یافته[۴] را حداکثر نماید. به‌صورت ریاضی

$$E\{\sum_{j=0}^{\infty} \gamma^j r_{t+j}\} \qquad (۵)$$

تعریف می‌شود که r_{t+j} پاداش دریافت‌شده گام‌های j برای آینده است. یک عامل تخفیف γ میزان تأثیر پاداش‌های آینده را بر روی تصمیمات بهینه کنترل می‌کند. با مقادیر کوچک γ به سودمندی کوتاه‌مدت تأکید بیشتری شده و مقادیر بزرگ، وزن بیشتر را به پاداش‌های آینده می‌دهند [۴۳]. این مدل فرایند تصمیم‌گیری مارکوف در مدل بازی مارکوف نیز دیده می‌شود. تنها تفاوتی که مدل فرایند تصمیم‌گیری مارکوف با مدل بازی مارکوف دارد این است که در مدل بازی مارکوف به جای پارامتر A در فرمول‌های مرتبط که نشان‌دهنده عمل یک عامل است، برای هر یک از عامل‌ها یک عمل در نظر گرفته می‌شود [۴۳].

در اکثر مدل‌های مربوط به فرایند تصمیم‌گیری مارکوف و بازی مارکوف، یادگیری تقویتی به‌عنوان روشی برای تکمیل مدل از بعد یادگیری اضافه شده و فرمول مربوط به پاداش در مدل بالا نیز به همین دلیل اضافه شده است. در واقع سیستمی که در مدل مارکوف منجر به یادگیری ماشین و بهبود و پیشرفت محیط در طول زمان می‌شود، سیستم یادگیری موجود در این مدل است که در اینجا توسط مفهومی با نام پاداش در آن گنجانده شده است.

٤- روش پیشنهادی

یک شبکه تلفیقی Li-FI و Wi-FI در نظر گرفته شده است. شبکه تلفیقی مجموعه‌ای از نقاط دسترسی ارتباطات نور مرئی و همچنین یک نقطه دسترسی Wi-Fi در یک مکان محدود است، اما این روش به راحتی می‌تواند به پیکربندی‌های دیگر نقاط دسترسی گسترش یابد. هر نقطه دسترسی ارتباطات نور مرئی به یک چراغ LED ساخته‌شده از چندین LED متکی است. در روش پیشنهادی مورد نظر، هر اتاق دارای یک نقطه دسترسی Wi-Fi و چندین نقطه دسترسی Li-Fi است. همچنین چندین گره ثابت در هر شبکه وجود دارد که از شبکه استفاده می‌کنند. این شبکه می‌تواند شامل کاربران سیار نیز باشد. یک شماتیک برای چنین شبکه‌ای در شکل ۳ نمایش داده شده که در این پژوهش از این طرح استفاده شده است. حال که پیکربندی شبکه مشخص گردیده، مسئله نیز باید مشخص شود.

این شبکه محلی متشکل از گره‌های ثابت و سیار است که با تکنولوژی تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi با اینترنت ارتباط دارد. انتخاب نقطه دسترسی بهینه برای هر گره در یک زمان مسئله اصلی خواهد بود؛ یعنی این که کدام یک از دستگاه‌های Li-Fi یا Wi-Fi برای هر گره به عنوان نقطه دسترسی به اینترنت در نظر گرفته شود. حال با توجه به تعاریف بیان‌شده برای مدل مارکوف و همچنین نیازمندی‌های شبکه و رفتار استراتژیک گره‌ها در طول زمان، این مسئله به شکل مشخص‌تر مدل می‌شود. در این مدل، شبکه محلی ناهمگون بوده و متشکل از گره‌هایی با قابلیت‌های مختلف و تغییر در نیازمندی‌ها می‌باشد که در مدل مورد نظر وجود خواهد داشت.

در این مدل k عامل در نظر گرفته می‌شود که k تعداد گره‌های موجود در یک اتاق از شبکه است. هر عامل در مجموعه حالت‌ها یعنی S نیازمند تصمیم برای یک عمل است. عمل برای هر گره انتخاب از بین نقاط دسترسی مختلف تعریف می‌شود. طبق تعریف از مدل مارکوف داریم

$$T : S \times A_1 \times A_2 \times \ldots \times A_k \to PD(S) \qquad (۶)$$

که در آن A_1 عمل مربوط به گره ۱ و A_k عمل مربوط به گره k خواهد بود و این عمل‌ها وضعیت شبکه را به یک احتمال گسسته از حالت‌ها می‌برد. حالت‌های شبکه در واقع انتخاب‌های گره‌ها برای نقاط دسترسی مربوط به خود است. حال نیاز به تعریف تابع پاداش وجود دارد که با توجه به عملکرد شبکه در ارتباطات در ادامه تعریف خواهد شد.

باید توجه نمود که عملکرد هر عامل بدین مفهوم که چگونه بر روی شبکه تأثیر می‌گذارد بر فرایند تصمیم‌گیری مارکوف مؤثر می‌باشد. نتایج محاسبات صورت‌گرفته بر روی شبکه به گره‌های شبکه ابلاغ شده تا انتخاب خود را انجام دهند. در تابع مربوط به پاداش، مقادیر بر حسب یک عامل ترکیبی از کارایی شبکه عمل می‌کنند. برای نمونه مقادیر گذردهی و تأخیر در شبکه دو عامل مهم هستند که هرچه گذردهی بیشتر و تأخیر کمتر شود، بهتر خواهد بود. بنابراین یک تابع پاداش با توجه به تابع منفعت با کاهش تأخیر، آن عملکرد را تقویت می‌کند و به موازات آن با افزایش گذردهی عمل تقویت را صورت می‌دهد. در نهایت با توجه به عوامل مختلف که بیان گردید، پاداش نهایی محاسبه می‌گردد که بستگی به مقادیر افزایش یا کاهش گذردهی و تأخیر و مقدار ایجادشده در تابع منفعت دارد

$$R : S \times A_1 \times A_2 \times \ldots \times A_k \to R \qquad (۷)$$

برای محاسبه تابع گذردهی (نسبت گذردهی[۵]) ابتدا نرخ انتقال[۱] به‌صورت زیر به دست می‌آید

1. Probability Distribution
2. Reward
3. Payoff
4. Discounted Reward
5. Transfer Ratio

$$Trans_{rate} = \frac{\text{Number of Sucessfull Transmition(bits)}}{\text{Connection Time to AP}} \quad (۸)$$

که در آن نرخ انتقال برابر با تعداد انتقال موفقیت‌آمیز بر اساس بیت تقسیم بر زمان اتصال به نقطه دسترسی می‌شود. نسبت گذردهی نیز برابر می‌شود با نرخ انتقال تقسیم بر پهنای باند که در ادامه آمده است

$$Thr_{Ratio} = \frac{Trans_{Rate}}{Bandwidth} \quad (۹)$$

تابع تأخیر یا نسبت تأخیر[۲] محاسبه‌شده برابر است با نسبت معکوس RTT[۳] بر حداقل RTT در شبکه که از طریق ارتباط نقاط دسترسی محاسبه می‌شود و ابتدا گره‌ها حداقل RTT خود را در اختیار نقاط دسترسی و سپس نقاط دسترسی آن را در اختیار گره‌ها قرار می‌دهند

$$Delay_{Ratio} = \frac{۱}{RTT} \times \min RTT_{Network} \quad (۱۰)$$

تابع منفعت که در آن نسبت گذردهی با نسبت تأخیر جمع می‌شود و مجموع این دو نسبت، تعیین‌کننده سودمندی حاصل از انتخاب نقطه دسترسی توسط گره است

$$\text{Re}vF = Thr_{Ratio} + Delay_{Ratio} \quad (۱۱)$$

در تابع پاداش به هر نقطه دسترسی AP_i یک امتیاز داده می‌شود؛ یعنی $ScoreAP_i$ که با توجه به تابع منفعت به‌دست‌آمده امتیاز محاسبه خواهد شد. این رابطه یک رابطه خام است، اما در اینجا مجموع پاداش‌های تخفیف‌یافته باید محاسبه شود. چنانچه پیش از این نیز بیان شد پاداش تخفیف‌یافته به این دلیل محاسبه می‌شود که تأثیر پاداش‌های جدید را نسبت به پاداش‌های قبل تنظیم کند. اگر γ برابر ۰ باشد، فقط پاداش لحظه عمل در نظر گرفته می‌شود و هرچه عدد بزرگ‌تر باشد، پاداش مراحل بعد از عمل تأثیر بیشتری خواهند داشت

$$r_t = ScoreAP_i = ScoreAP + \text{Re}vF \quad (۱۲)$$

باید توجه داشت که محاسبه پاداش تخفیف‌یافته در نقاط دسترسی انجام شده و در اختیار گره‌ها قرار می‌گیرد. به‌طور کلی سعی می‌شود که بار محاسباتی کمی بر عهده گره‌ها گذاشته شود؛ زیرا این گره‌ها منابع محدودی دارند. مجموع پاداش‌های تخفیف‌یافته طبق بازی مارکوف مطابق ذیل خواهد بود

$$E\{\sum_{j=۰}^{\infty} \gamma^j r_{t+j}\} \ , \ ۰ \le \gamma < ۱ \quad (۱۳)$$

همچنین موضوع در این باره رسیدن به تعادل بار در شبکه است که این موضوع می‌تواند معادل با رسیدن به تعادل نش در بازی مارکوف باشد. در این صورت بین سیستم‌های Wi-Fi و Li-Fi یک توازن مؤثر برقرار می‌شود. همچنین با تغییر در شبکه، پارامترهای بیان‌کننده رفتار گره‌ها تغییر نموده که بر روی تعادل شبکه اثر گذاشته و موجب به‌هم‌خوردن آن می‌شود که در این صورت مدل در ادامه، مجدداً سعی در رسیدن به تعادل خواهد داشت. برای بررسی برقراری تعادل در شبکه لازم است میانگین تابع سودمندی در اختیار گره‌ها قرار گیرد. این تابع به‌صورت میانگین در شبکه توسط نقاط دسترسی محاسبه می‌شود و بنابراین محاسبه میانگین تابع سودمندی به‌صورت ذیل انجام خواهد شد

1. Transfer Rate
2. Delay Ratio
3. Round Trip Time

$$\text{Re}vF_{Mean} = \sum_{i=۰}^{n} \text{Re}vF_i \quad (۱۴)$$

که در آن n نشان‌دهنده تعداد گره‌ها در کل شبکه است. البته مطمئناً برای محاسبه، ابتدا نقاط دسترسی میزان تابع سودمندی را از گره‌های متصل دریافت کرده و سپس میانگین آن را محاسبه و در اختیار دیگر نقاط دسترسی قرار می‌دهند تا نهایتاً همه نقاط دسترسی بتوانند میانگین نهایی را محاسبه کنند. پس از محاسبه میانگین، اگر هر گره مقدار تابع سودمندی را با مقدار میانگین مقایسه کند، باید این دو مقدار برابر باشند تا آن گره خود را در حالت تعادل بیابد. نمودار الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب نقطه دسترسی و ایجاد توازن بار در شبکه تلفیقی Li-Fi و Wi-Fi در شکل ۴ نمایش داده شده است.

چنانچه در فلوچارت مشاهده می‌شود، هر دستگاه یا گره با اتصال اولیه و ورود به شبکه می‌تواند وارد بازی شود. پس از این اتصال، تابع سودمندی می‌تواند محاسبه شود و نقطه دسترسی با اشتراک‌گذاری آن با نقاط دسترسی دیگر (همگن و ناهمگن) آن را در معرض قضاوت می‌گذارد. اگر شرط تعادل نش در شبکه برقرار نشده و یا نقض شود، این گره باید نقطه دسترسی خود را تغییر دهد. با تغییر نقطه دسترسی به نقطه دسترسی دیگر با امتیاز بالاتر، مجدداً تابع سودمندی مورد محاسبه قرار می‌گیرد و هر انتخاب پاداش متناسب با خود را خواهد داشت. با هر بار تغییر، رسیدن به تعادل نش توسط نقاط دسترسی محاسبه شده و در صورت رسیدن به تعادل، حالت فعلی حفظ شده و در غیر این صورت گره با کمترین سودمندی با تغییر نقطه دسترسی مواجه می‌گردد.

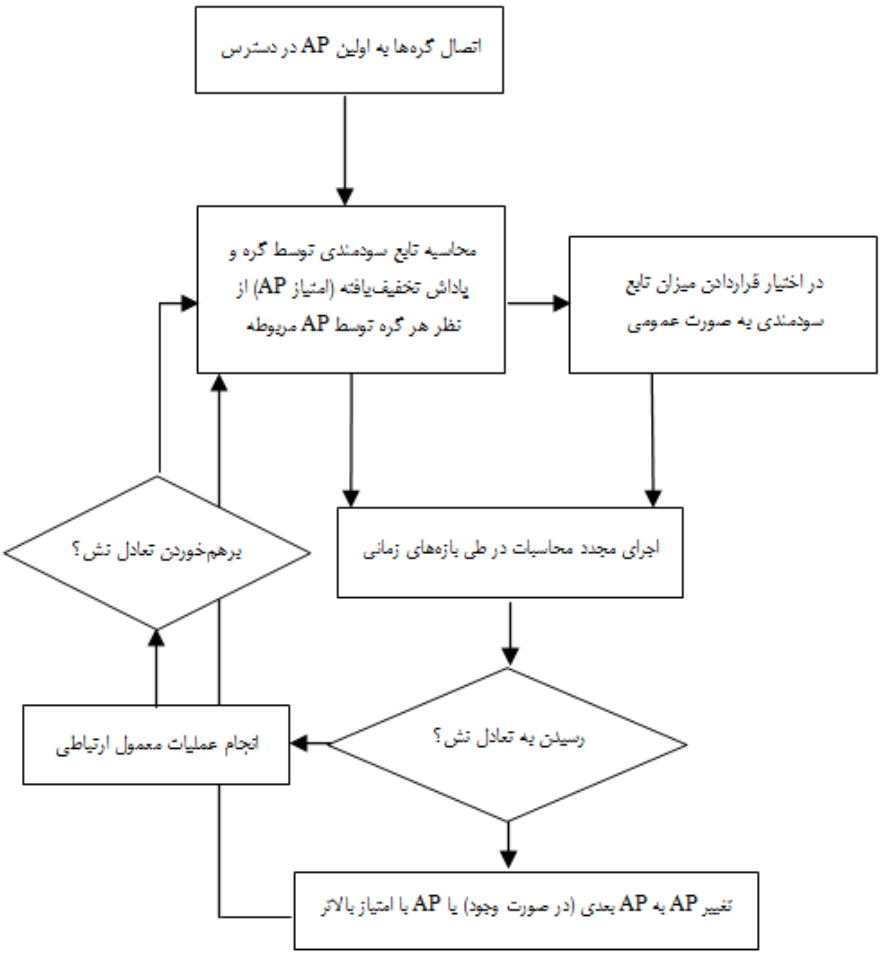
۵- پیاده‌سازی و نتایج

با توجه به این که اجرای کامل روش پیشنهادی در محیط‌های واقعی نیازمند همگون‌سازی و هماهنگی بین سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای گوناگون است، پیاده‌سازی کامل آن در محیط‌های واقعی به‌سادگی میسر نیست. همچنین هزینه و زمان بالای پیاده‌سازی مانع از آن است که بتوان پیاده‌سازی را در هر شرایطی انجام داد. به همین دلیل یک روش عمده برای ارزیابی روش‌های مختلف به‌ویژه در علوم مهندسی، شبیه‌سازی است که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این بخش ابتدا چارچوب محیط شبیه‌سازی توضیح داده خواهد شد. سپس به ارزیابی روش پیشنهادی با روش مطرح‌شده در پژوهش پیشین (مقاله [۴]) پرداخته شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش پیشنهادی دارای گذردهی بالاتر و تأخیر کمتر نسبت به [۴] و همچنین نسبت به حالت بدون استراتژی انتخاب نقطه دسترسی است.

۵-۱ نرم‌افزار شبیه‌سازی

شبیه‌سازی این مقاله در نرم‌افزار شبیه‌سازی شبکه نسخه ۳[۴] صورت گرفته که از زبان برنامه‌نویسی پایتون و C++ استفاده می‌کند. از پایتون در این شبیه‌ساز به‌منظور ایجاد و اجرای سناریو و از C++ به‌منظور هسته[۵] شبیه‌سازی استفاده می‌شود. با پیاده‌سازی و اجرای شبیه‌سازی در این نرم‌افزار، روش پیشنهادی با سایر روش‌ها مقایسه شده است. در ادامه نتایج شبیه‌سازی به‌صورت نمودارهایی بر اساس معیارهای گذردهی و تأخیر ارائه گردیده و در پایان هم بر اساس نتایج شبیه‌سازی نتیجه‌گیری نهایی انجام شده است.

4. Network Simulator Version 3 (NS3)
5. Kernel



شکل ۴: فلوچارت روش پیشنهادی.

جدول ۱: پارامترهای سخت‌افزاری.

ردیف	نام سخت‌افزار	مدل
۱	CPU	intel core i۷ ۲٫۲۰ GHz
۲	RAM	۱۶ GB DDR۳
۳	HDD	۱ TB

۵-۲ پارامترهای شبیه‌سازی

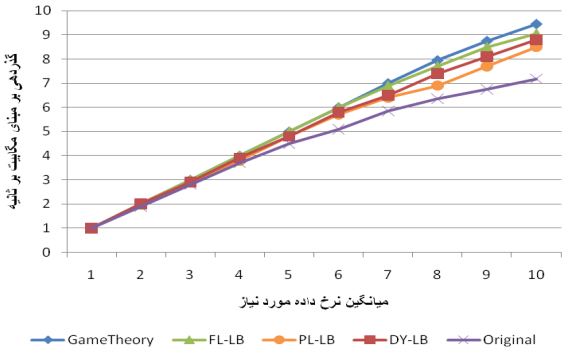
پارامترهای سخت‌افزاری سیستم شبیه‌سازی نیز به شرح جدول ۱ می‌باشد. در سناریوی اجراشده، یک شبکه محلی با ۴ اتاق همانند شکل ۳ در نظر گرفته شده و هر اتاق، یک مربع با طول جانبی ۱۰ متر است. در سقف هر اتاق، ۱۶ عدد نقطه دسترسی Li-Fi در طرح یک ماتریس مربع با فاصله ۲٫۵ متری بین نزدیک‌ترین آنها قرار گرفته است و گره‌ها به طور تصادفی با توزیع احتمال یکسان توزیع شده‌اند. علاوه بر این، تعداد کانال‌های Wi-Fi در دسترس، به‌جز زمان تجزیه و تحلیل اثرات آن بر عملکرد شبکه، برابر با تعداد نقاط دسترسی Wi-Fi است. برخی دیگر از پارامترهای محیط به تفکیک Wi-Fi و Li-Fi به شرح مطرح‌شده در جدول ۲ است.

جدول ۲: پارامترهای نرم‌افزاری شبیه‌سازی.

ردیف	پارامتر	مقدار
	پارامترهای Li_Fi	
۱	ارتفاع اتاق (فاصله عمودی بین سقف و کاربر)	۳ متر
۲	سطح فیزیکی دیود فتونی	۱ سانتی‌متر مربع
۳	بهره‌وری فیلتر نور	۱
۴	شاخص شکست	۱٫۵
۵	زاویه تابش نیمه شدت	۶۰ درجه
۶	زمینه دید نیمه زاویه دیود فتونی	۹۰ درجه
۷	قدرت انتقال نوری در هر نقطه دسترسی	۳ وات
۸	ضریب تبدیل نوری به نیروی الکترونیکی	۳
۹	میزان حساسیت ردیاب	۰٫۵۳ A/W
۱۰	میزان بازتابش دیوار	۰٫۸
۱۱	پهنای باند	۴۰ مگاهرتز
۱۲	تراکم طیفی قدرت (PSD) نویز	$۱۰^{-۲۱}$ $A^۲$/Hz
	پارامترهای Wi_Fi	
۱	فاصله نقطه انفصال (dBP)	۵ متر
۲	انحراف استاندارد محوشدن سایه (قبل از dBP)	۳ دسی‌بل
۳	انحراف استاندارد محوشدن سایه (بعد از dBP)	۵ دسی‌بل
۴	فرکانس حامل مرکزی	۲٫۴ گیگاهرتز
۵	زاویه ورود و خروج LOS	۴۵ درجه
۶	توان انتقال	۲۰ dBm
۷	پهنای باند در کانال‌ها	۲۰ مگاهرتز
۸	تراکم طیفی قدرت (PSD) نویز	−۱۷۴ dBm/Hz

۵-۳ مقایسه نتایج

به منظور مقایسه و ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، دو پارامتر مهم گذردهی در شبکه و میزان تأخیر بسته‌ها که برای ارزیابی کیفیت ارسال و دریافت در شبکه عوامل بسیار حیاتی تلقی می‌شوند، در برابر تغییر نرخ داده درخواستی کاربران و افزایش تداخل در شبکه مورد بررسی قرار گرفته



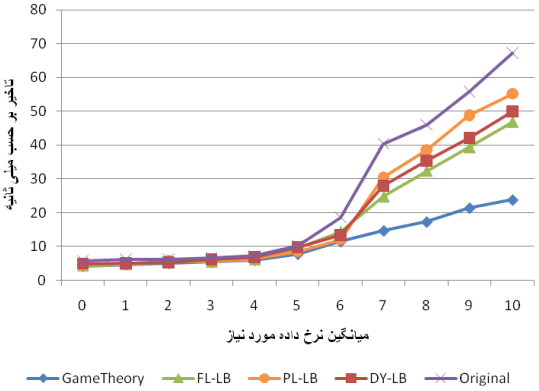
شکل ۵: مقایسه گذردهی در حالت ترافیک سبک.

است. به‌علت اختصار از عوامل دیگر همچون تعداد بسته‌های دریافت‌شده با تأخیر و تعداد بسته‌های تکراری دریافت‌شده و همچنین افت بسته‌ها چشم‌پوشی شده است. در شبیه‌سازی شبکه به طور کلی گره‌ها با توجه به تنظیم ترافیک در شبیه‌سازی در همان ثانیه‌های آغازین شروع به فعالیت کرده و پس از اتصال به شبکه، شروع به ارسال داده‌های شبکه حسگر اینترنت اشیا به سمت اینترنت می‌کنند. بدین ترتیب یک پیکربندی اولیه (به‌صورت پیش‌فرض و با توجه به اولین سیگنال‌های دریافتی از سوی نقاط دسترسی) از نظر شبکه‌ای و انتخاب نقطه دسترسی وجود دارد که با توجه به رفتار استراتژیک اشیا در بازی مارکوف، این پیکربندی تغییر می‌کند. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر، دو سناریوی ترافیک سبک و ترافیک سنگین در نظر گرفته شده است.

در حالت ترافیک سبک ۶۰ گره در شبکه در نظر گرفته شده که در نتیجه، ترافیک شبکه کم و نسبتاً سبک خواهد بود. اگر حجم ترافیک در شبکه کم باشد، بدین معناست که تأثیر رقابت در ارسال‌ها پایین است و کیفیت جریان داده‌ای ارسالی، بیشتر از رقابت بین جریان‌ها، تحت تأثیر شرایط کانال قرار می‌گیرد. همچنین به دلیل تعداد جریان کم، ترافیک انتقالی با انتخاب مناسب کارایی بسیار خوبی خواهد داشت. در حالت ترافیک سنگین تعداد گره‌ها ۱۰۰ گره در نظر گرفته شده است. وقتی تعداد گره‌ها بیشتر شود، نسبت به حالت قبل که تعداد گره‌ها کمتر بوده است، حجم بالاتری از ترافیک در شبکه وجود خواهد داشت و به این ترتیب مشکل ازدحام و همچنین ارسال مجدد بسته‌ها افزایش خواهد یافت. نتایج از ۵ بار اجرای شبیه‌سازی و گرفتن میانگین در هر دو حالت به‌دست آمده است.

در شکل ۵ گذردهی در حالت ترافیک سبک با الگوریتم‌ها مقایسه شده است. چنانچه در نمودار مشخص است فاصله بین نتایج روش پیشنهادی با پروتکل پیش‌فرض یعنی بدون الگوریتم انتخاب نقطه دسترسی بسیار زیاد است. دلیل آن نیز مشخص است؛ زیرا در روش پیشنهادی سعی بر انتخاب نقطه دسترسی مناسب شده، اما در روش پایه این اتفاق نمی‌افتد. نکته دیگر این است که در روش توازن فازی مطرح در [۴] با عنوان FL-LB[1] نیز با شرایط یکسان و یک سناریوی معین به دلیل افزایش ازدحام با افزایش میانگین نرخ داده مورد نیاز، گذردهی با وقفه بیشتری روبه‌رو می‌شود. همچنین این موضوع در مورد روش‌های دیگر همچون روش توزیع توان با عنوان PA-LB [۲۳] و DY-LB مطرح در [۸] نیز صدق می‌کند؛ زیرا تغییر در انتخاب نقطه دسترسی کند صورت می‌گیرد. در حالی که در روش پیشنهادی به‌دلیل استفاده از زیرساخت‌هایی که دارای گذردهی بالایی است توسط روش تئوری بازی مارکوف و تغییر

1. Fuzzy Logic-Load Balancing

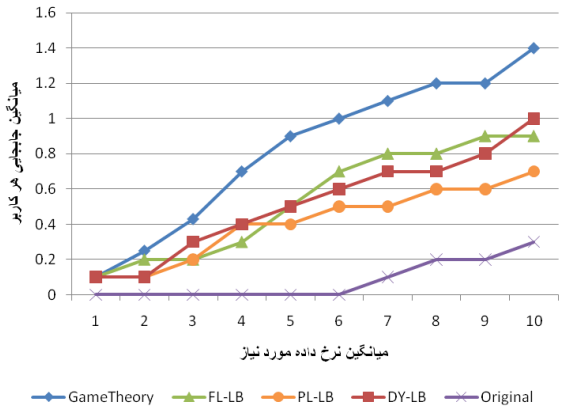


شکل ۶: مقایسه تأخیر در حالت ترافیک سبک.

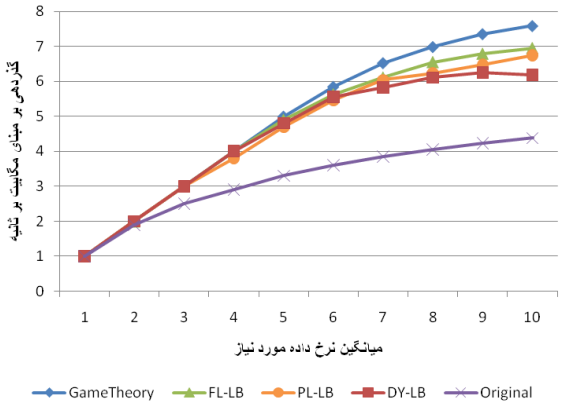
به‌موقع نقطه دسترسی، انتقال داده با کارایی بالایی صورت گرفته و با افزایش نرخ درخواستی تأثیر عامل ازدحام نیز زیاد نخواهد بود.

در شکل ۶ مقایسه تأخیر در سناریوی اول یعنی ترافیک سبک مشاهده می‌شود که مشخص است عملکرد روش پیشنهادی در بالای نمودار نزدیک به ۲برابر روش پیش‌فرض و بدون اعمال مکانیزم تعادل بار بهتر بوده و این بهتربودن با افزایش نرخ داده افزایش بیشتری پیدا کرده است. دلیل آن نیز به طور کل این است که نرخ جریان‌های داده، تأثیر زیادی در تأخیر در روش پیشنهادی ندارد؛ زیرا با افزایش نرخ داده‌ای الگوریتم تئوری بازی مارکوف موجب می‌شود گره‌ها با انتخاب بهترین نقاط دسترسی ازدحام را در شبکه افزایش ندهند. این مسئله در مقایسه با روش فازی یعنی FL-LB نیز خود را نشان می‌دهد. در ارتباط با سایر روش‌های مورد مقایسه نیز می‌توان گفت DY-LB در زمینه تأخیر بهتر از PL-LB عمل نموده؛ اما از نظر گذردهی PL-LB بهتر بوده است. با این وجود هر دوی این روش‌ها در مقایسه با FL-LB و به‌ویژه روش پیشنهادی عملکرد پایین‌تری دارند. البته اختلاف عملکردی آنها از روش فازی چندان زیاد نیست؛ اما با روش پیشنهادی اختلاف واضح‌تری دارند. دلیل آن نیز به‌طور اساسی در شکل عملیات در روش‌های دیگر است که برای به‌دست آوردن تعادل بار جابه‌جایی زیادی انجام نمی‌دهند و سعی می‌کنند پیش از اتصال به نقطه دسترسی تصمیم‌گیری نمایند. در واقع این روش‌ها تحلیل خود را بیشتر بر روی پارامترهای فنی و فیزیکی شبکه به جای پارامترهای عملکردی انجام می‌دهند. بدین ترتیب با عدم تغییر پارامترهای فنی شبکه مانند قدرت سیگنال، میزان تداخلات، فاصله و مواردی از این دست، هیچ تغییری در ارتباط با توپولوژی شبکه صورت نمی‌گیرد و گره‌ها بین نقاط دسترسی مختلف به‌ویژه با فناوری‌های مختلف فرکانس رادیویی و ارتباطات نور مریی جابه‌جایی نخواهند داشت. در ادامه میانگین جابه‌جایی کاربران به ازای نرخ مورد نیاز کاربران مشخص می‌شود که نشان‌دهنده هزینه اجرای هر روش است.

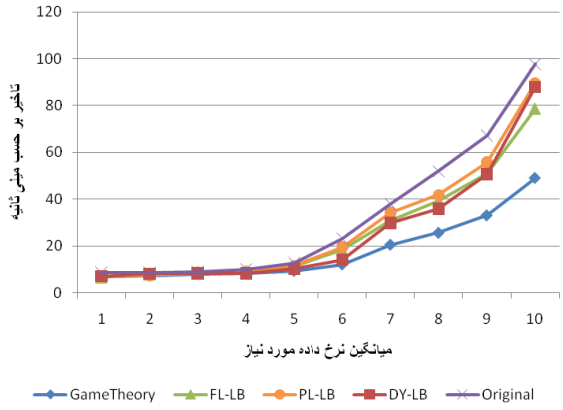
چنانچه در شکل ۷ نشان داده شده است، میانگین جابه‌جایی کاربران در شبکه به ازای سناریوی ترافیک سبک در روش‌ها دارای روند افزایشی است؛ زیرا هرچه نرخ داده درخواستی افزایش پیدا کند، نیاز بیشتری به کیفیت بهتر کانال ایجاد می‌شود و از طرفی محدودیت‌ها برای کاربران افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب برای به دست آوردن شرایط بهتر نیاز به تغییر و جابه‌جایی بین نقاط دسترسی وجود دارد. در روش پیشنهادی این موضوع بیشتر به چشم می‌خورد و با افزایش ترافیک، تعداد جابه‌جایی‌ها نیز افزایش بیشتری می‌یابد. این موضوع از این جنبه نیز اهمیت دارد که نشان‌دهنده هزینه به‌کارگیری روش‌هاست؛ بنابراین نقطه ضعف روش پیشنهادی صرف هزینه بالاتر از نظر جابه‌جایی و تعداد بالاتر آن است.



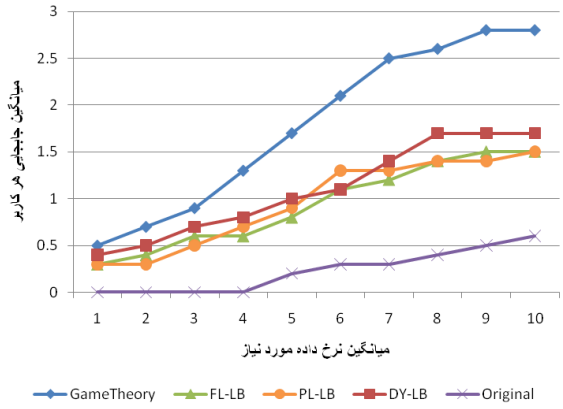
شکل ۷: مقایسه میانگین جابه‌جایی کاربر در حالت ترافیک سبک.



شکل ۸: مقایسه گذردهی در حالت ترافیک سنگین.



شکل ۹: مقایسه تأخیر در حالت ترافیک سنگین.



شکل ۱۰: مقایسه میانگین تعداد جابه‌جایی هر کاربر در حالت ترافیک سنگین.

جابه‌جایی[1] در شبکه تحمیل‌کننده برخی هزینه‌ها ازجمله مصرف انرژی، زمان، استفاده از منابع شبکه و منابع پردازشی است. در نتیجه در قبال بالابردن کارایی در روش پیشنهادی، صرف هزینه بیشتری انجام می‌شود. تعداد این جابه‌جایی‌ها در روش پیشنهادی در حدود ۱٫۵ برابر نسبت به نزدیک‌ترین روش‌های دیگر است؛ اما در قبال به دست آوردن کارایی این موضوع قابل چشم‌پوشی خواهد بود.

در بیان مقایسه گذردهی شکل ۸ که برای ترافیک سنگین است، می‌توان گفت که اختلاف روش‌ها در این حالت شدت بیشتری پیدا کرده است. همچنین کارایی روش پیشنهادی به نسبت قبل چندان تغییری نداشته و دلیل آن، این است که اولاً انتخاب AP مناسب از طریق استفاده از تئوری بازی موجب افزایش کارایی شده است؛ به‌طوری که با افزایش ترافیک افت چندانی مشاهده نمی‌شود و ثانیاً استفاده از زیرساخت با پهنای باند بالا با روش مؤثر توانسته در حفظ کارایی کمک چشم‌گیری نماید. در نتیجه حتی روش FL-LB و همچنین روش‌های PL-LB و DY-LB با افت نسبتاً زیادی روبه‌رو شده‌اند که روش پیشنهادی بسیار کمتر با آن روبه‌رو شده است. این موضوع دقیقاً معادل کارایی روش پیشنهادی در زمان‌هایی است که کاربران و دستگاه‌های اینترنت اشیای بیشتر موجب ازدحام بیشتر می‌شود و درخواست بیشتری از شبکه وجود دارد. بنابراین حتی افزایش کاربران و ترافیک بر روی شبکه یک تهدید مهم برای افت کارایی نخواهد بود؛ اگرچه به هر حال تا اندازه‌ای جوابگو خواهد بود و پس از آن با افزایش کاربران کیفیت سرویس‌دهی با شدت بیشتری تنزل پیدا می‌نماید. این میزان از تحمل‌پذیری بستگی به سناریو و وضعیت شبکه دارد.

در شکل ۹ تأخیر در روش پیشنهادی و روش‌های دیگر در حالت ترافیک سنگین مقایسه شده است. روند نمودار تا حد زیادی مشابه با حالت‌های قبلی است و البته با توجه به اعداد نمودار (محور عمودی)، کمی شیب نمودار برای تمام روش‌ها ازجمله روش پیشنهادی تندتر به نظر می‌رسد. پروتکل اصلی نیز که مطمئناً نسبت به حالت‌های قبل تأخیر بیشتری دارد. در اینجا از طرفی تعداد ترافیک بالاست و از طرف دیگر با افزایش درخواست نرخ، ازدحام زیاد در محیط ایجاد شده و موجب بالابردن زیاد تأخیر می‌شود. در روش پیشنهادی تأخیر از حدود ۸ میلی‌ثانیه به نزدیک ۵۰ میلی‌ثانیه رسیده و در پروتکل FL-LB از حدود ۸ میلی‌ثانیه به ۸۰ میلی‌ثانیه رسیده که نشان‌دهنده تأثیر نسبتاً بالایی است. در ادامه میانگین جابه‌جایی کاربران به ازای نرخ مورد نیاز کاربران در سناریوی دوم با ترافیک سنگین مشخص می‌شود.

در شکل ۱۰ میانگین تعداد جابه‌جایی هر کاربر به ازای میانگین نرخ داده مورد نیاز کاربران در حالت ترافیک سنگین نمایش داده شده است. در این شکل مشخص است که تعداد جابه‌جایی کاربران بین نقاط دسترسی در روش پیشنهادی بسیار بیشتر از روش‌های دیگر است. همچنین نسبت به حالت ترافیک سبک افزایش زیادی (حدود ۲ برابر) را نشان می‌دهد. به دلیل به‌دست آوردن شرایط بهتر کانال، آن امر اجتناب‌ناپذیر است؛ اما به هر حال به سیستم هزینه تحمیل می‌شود. در این سناریو نسبت تعداد جابه‌جایی کاربران نسبت به نزدیک‌ترین روش‌های گذشته به دو برابر نیز می‌رسد که نشان‌دهنده تلاش بیشتر برای به‌دست آوردن شرایط خوب کانال و شبکه در روش پیشنهادی است. همچنین پارامترهای مختلفی مانند افت بسته‌ها، میانگین سربار (غیر از جابه‌جایی)، انرژی مصرفی و ... می‌تواند در ارزیابی روش‌های انتخاب نقطه دسترسی در شبکه‌های بی‌سیم مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی هدف همه روش‌های مختلف بهبود

1. Handover

کارایی و عملکرد است و هرچه این عملکرد افزایش پیدا کند، الگوریتم مؤثرتر خواهد بود. در شرایط بار سنگین، کارایی روش پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از وقوع ازدحام، کاملاً مشخص می‌گردد. از آنجا که گره‌ها نمی‌توانند شرایط شبکه را کاملاً پیش‌بینی کنند، اما در بسیاری از موارد می‌توانند پیش‌بینی را با خطای نسبی انجام دهند.

با توجه به نتایجی که به دست آمد، مکانیزم پیشنهادی عملکرد قابل قبولی دارد و در مجموع بازدهی مناسبی از خود نشان می‌دهد. این بازدهی مطلوب به‌ویژه در شرایط رقابت زیاد و نویز بالا می‌تواند در شبکه نمود بیشتری پیدا کند. روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیشین ازجمله FL-LB، PL-LB و DY-LB کارایی خوبی از خود نشان داده و در همه موارد بهتر عمل نموده است. در حالت کلی نیز با وجود نتایج به‌دست‌آمده بیشتر از ۱۰٪ کارایی مسیریابی در روش پیشنهادی نسبت به پروتکل FL-LB از نظر تأخیر پیشرفت داشته است. در مقایسه با روش‌های PL-LB و DY-LB نیز افزایش بهبود کمی بیشتر از این مقدار به نظر می‌رسد. همچنین در مقایسه با روش بدون استراتژی، عملکرد به‌مراتب بهتری از خود نشان داده و می‌توان گفت عملکرد آن حداقل ۱۰۰٪ یعنی ۲ برابر نسبت به آن بهتر بوده است.

٦- نتیجه‌گیری و کارهای آتی

در این پژوهش، روش پویای توازن بار با تأکید بر انتخاب نقاط دسترسی بر اساس بازی مارکوف مورد بررسی قرار گرفته است. این روش با توجه به رفتار گره‌ها در شبکه و کارایی نهایی شبکه، استراتژی هر گره را در انتخاب نقطه دسترسی مشخص می‌کند. همچنین روش پیشنهادی یک روش قابل اطمینان با توازن بار مناسب است که کمک می‌کند شبکه در هر شرایطی به نقطه تعادل برسد. این روش با ساختاری که در این پژوهش بیان گردید، در هنگامی که ترافیک سرویس‌دهنده زیاد و حتی در شرایطی که نویز شبکه بالا باشد، عملکرد قابل توجهی می‌تواند از خود نشان دهد و با اهدافی که از قبل برای مطرح‌کردن مکانیزمی جدید بر روی شبکه‌های محلی برای توازن بار و انتقال مؤثرتر اطلاعات و به‌ویژه ترافیک حساس به تأخیر و اطلاعات مهم کاربران وجود دارد، کاملاً هم‌خوانی دارد. همچنین این روش گذردهی شبکه را افزایش خواهد داد. با این وجود هنوز هم در این روش قابلیت بهبود زیادی به چشم می‌خورد و علاوه بر تنظیمات مختلف آن و ترکیب با راه‌حل‌های دیگر می‌توان ترکیب پارامترهای موجود در آن برای تصمیم‌گیری را تغییر داد و یا حتی پارامترهای جدیدی را در آن وارد نمود. بدین ترتیب این روش مکانیزم مفیدی در زمینه بر روی شبکه‌های محلی بی‌سیم و به‌ویژه شبکه‌های تلفیقی Wi-Fi و Li-Fi است که مقابله با شرایط و محدودیت‌های خاص این شبکه‌ها را به‌منظور تأمین هرچه بیشتر کیفیت سرویس مورد هدف قرار داده است. با وجودی که نتایج تا حدی متغیرند، اما برای روش ارسال مجدد پیشنهادی در این پژوهش در مجموع می‌توان یک رشد ۳۰ درصدی نسبت به روش بدون استراتژی انتخاب نقطه دسترسی و رشدی حدوداً ۱۰ درصدی را نسبت به مکانیزم پایه پیشنهادی در [۴] در نظر گرفت. همچنین حدود ۱۵٪ رشد نسبت به روش‌های پیشنهادی ارائه‌شده در [۸] و [۲۳] می‌توان در نظر گرفت. سودمندی الگوریتم‌های انتخاب نقطه دسترسی پیشنهادی می‌تواند در به‌کارگیری آن همراه با یک روش کنترل رسانه قدرتمندتر نسبت به حالت استاندارد، نمود بیشتری پیدا کند. نقطه ضعف روش‌های پیشنهادی نیز در افزایش جابه‌جایی کاربران در شبکه بین نقاط دسترسی می‌باشد که این موضوع به‌دلیل افزایش مؤثر کارایی به‌وجودآمده قابل چشم‌پوشی است.

در این پژوهش مجالی برای پرداختن به برخی از پارامترها همچون سربار شبکه، میزان عدالت در شبکه و مواردی از این قبیل به طور مشخص فراهم نگردید. امید است در پژوهش‌های بعدی این مجال فراهم شود. بحث مهندسی ترافیک نیز مبحث گسترده‌ای است که آرگومان‌ها و متغیرهای زیادی دارد. ورود به این مبحث لزوماً نیازمند اطلاعات و پیش‌زمینه‌های بسیار گسترده‌ای است که در این مقوله مجال آن فراهم نگردید. پرداختن به این مقوله از منظر شبکه‌های اینترنت اشیا و با هدف بهبود روش پیشنهادی می‌تواند ایده‌ای خوب در آینده باشد. همچنین در مورد تحقیقات آینده می‌توان بر روی شبکه‌های خاصی تمرکز نمود که از این فناوری استفاده می‌کنند و به‌ویژه رفتارهای سیگنال را تغییر می‌دهند، به‌ویژه آنهایی که رفتارهای سیگنال را تغییر می‌دهند. می‌توان از ترکیبی از شبکه‌های دیگر به عنوان یک شبکه محلی استفاده کرد و حتی این روش را در مورد شبکه‌های بزرگ‌تر نیز آزمایش نمود. مثلاً این روش را گسترش داده و با تغییر پارامترهای شبکه‌های مختلف و سناریوهای مختلف، شایستگی و قابلیت را بهبود بخشید. ترکیبی از این روش و روش‌های مختلف، استفاده از بازی‌های دیگر و ارائه تجزیه و تحلیل جامع‌تر نیز می‌تواند در مطالعات آینده گنجانده شود.

مراجع

[1] W. Yunlu, X. Wu, and H. Haas, "Distributed load balancing for Internet of Things by using Li-Fi and RF hybrid network," in *Proc. IEEE 26th Annual Int. Symp. on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, PIMRC'15,* pp. 1289-1294, Hong Kong, China, 3 Aug.-2 Sept. 2015.

[2] W. Yunlu and H. Haas, "Dynamic load balancing with handover in hybrid Li-Fi and Wi-Fi networks," *J. of Lightwave Technology*, vol. 33, no. 22, pp. 4671-4682, Nov. 2015.

[3] D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, "Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking", *Proc. SPIE 9007, Broadband Access Communication Technologies VIII,* 2014.

[4] H. Haas, L. Yin, Y. Wang, and C. Chen, "What is Li-Fi?" *J. of Lightwave Technology,* vol. 34, pp. 1533-1544, 2016.

[5] T. Dobroslav, S. Videv, and H. Haas, "Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking," *Proc. SPIE 9007, Broadband Access Communication Technologies VIII,* 11 pp., 2014.

[6] W. Xiping, M. Safari, and H. Haas, "Access point selection for hybrid Li-Fi and Wi-Fi networks," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 65, no. 12, pp. 5375-5385, Dec. 2017.

[7] L. Xuan, R. Zhang, and L. Hanzo, "Cooperative load balancing in hybrid visible light communications and Wi-Fi," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 63, no. 4, pp. 1319-1329, Apr. 2015.

[8] W. Yunlu, D. Ushyantha, A. Basnayaka, and H. Haas, "Dynamic load balancing for hybrid Li-Fi and RF indoor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communication Workshop, ICCW'15,* pp. 1422-1427, London, UK, 8-12 Jun. 2015.

[9] H. Christopher and J. Yang, "WiGiG: multi-gigabit wireless communications in the 60 GHz band," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 6, pp. 6-7, Dec. 2011.

[10] W. Xiping, "Two-stage access point selection for hybrid VLC and RF networks," in *Proc. IEEE 27th Annual Int. Symp. on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, PIMRC'16,* 6 pp., Valencia, Spain, 4-8 Sept. 2016.

[11] I. Stefan, H. Burchardt, and H. Haas, "Area spectral efficiency performance comparison between VLC and RF femtocell networks," in *Proc. IEEE Int. Conf.* on, *Communications, ICC'13*, pp. 3825-3829, Budapest, Hungary, 9-13 Jun. 2013.

[12] W. Xiping, M. Safari, and H. Haas, "Joint optimization of load balancing and handover for hybrid Li-Fi and Wi-Fi networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., WCNC'17,* 5 pp., San Francisco, CA, USA, 19-22 Mar. 2017.

[13] S. Sihua, *et al.*, "An indoor hybrid Wi-Fi-VLC internet access system," in *Proc. IEEE 11th Int. Conf. on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems,* pp. 569-574, Philadelphia, PA, USA, 28-30 Oct. 2014.

[14] A. Basnayaka, D. Ushyantha, and H. Haas, "Hybrid RF and VLC systems: improving user data rate performance of VLC systems," in *Proc. IEEE 81st Vehicular Technology Conf. (VTC Spring),* 5 pp., Glasgow, UK, 11-14 May 2015.

[15] L. Lu, Y. Zhang, B. Fan, and H. Tian, "Mobility-aware load balancing scheme in hybrid VLC-LTE networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 11, pp. 2276-2279, Nov. 2016.
[16] K. Abdallah, *et al.*, "A hybrid RF-VLC system for energy efficient wireless access," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 2, no. 4, pp. 932-944, Dec. 2018.
[17] A. Omar and R. Hingst, "Improving the retailer industry performance through RFID technology: a case study of wal-mart and metro group," *Cases on Quality Initiatives for Organizational Longevity. IGI Global*, pp. 196-220, 2018.
[18] S. Kapp, "802.11a: More bandwidth without the wire," *IEEE Internet Computing*, vol. 6, pp. 75-79, Jul./Aug. 2002.
[19] W. Francesc, S. Barrachina-Muñoz, C. Cano, I. Selinis, and B. Bellalta, "Spatial reuse in IEEE 802.11 ax WLANs," *Computer Communications*, vol. 170, pp. 65-83, Mar. 2021.
[20] Y. Perwej, "The next generation of wireless communication using Li-Fi (light fidelity) technology," *J. of Computer Networks*, vol. 4, no. 1, pp. 20-29, 2017.
[21] D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, " Towards a 100 Gb/s visible light wireless access network," *Optics Express,* vol. 23, no. 2, pp. 1627-1637, 26 Jan. 2015.
[۲۲] وایمکس (WiMAX)، https://noktestan.blogfa.com/post/22 ← [۲۲]
[23] W. Yunlu, *et al.*, "Optimization of load balancing in hybrid LiFi/RF networks," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 65, no. 4, pp. 1708-1720, Apr. 2017.
[24] W. Xiping, C. Chen, and H. Haas, "Mobility management for hybrid Li-Fi and Wi-Fi networks in the presence of light-path blockage," in *Proc. IEEE 88th Vehicular Technology Conf. (VTC-Fall),* 5 pp., Chicago, IL, USA, 27-28 Aug. 2018.
[25] O. Mohanad, A. M. Salhab, S. A. Zummo, and M. S. Alouini, "Joint load balancing and power allocation for hybrid VLC/RF networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conf., GLOBECOM '17*, 6 pp., Singapore, 4-8 Dec. 2017.
[26] Z. L. Jie, J. I. Hong, L. I. Xi, and Y. W. Tang, "Optimal resource allocation scheme for cognitive radio networks with relay selection based on game theory," *The J. of China Universities of Posts and Telecommunications,* vol. 19, no. 6, pp. 25-62, Dec. 2012.
[27] C. Tsao, Y. T. Wu, W. Liao, and J. C. Kuo, "Link duration of the random way point model in mobile ad hoc networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., WCNC'06*, pp. 367-371, Las Vegas, NV, USA, 3-6Apr. 2006.
[28] A. Souri, A. Hussien, M. Hoseyninezhad, and M. Norouzi, "A systematic review of IoT communication strategies for an efficient smart environment," *Trans. on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 33, no. 3, Article ID: e3736, Mar. 2019.
[29] S. Murugaveni and K. Mahalakshmi, "Optimal frequency reuse scheme based on cuckoo search algorithm in Li-Fi fifth-generation bidirectional communication," *IET Communications*, vol. 14, no. 15, pp. 2554-2563, Sept. 2020.
[30] E. Masoumeh, M. Ghobaei-Arani, and A. Shahidinejad, "Resource provisioning for IoT services in the fog computing environment: an autonomic approach," *Computer Communications*, vol. 161, pp. 109-131, Sept. 2020.
[31] L. Si-Phu, *et al.*, "Enabling wireless power transfer and multiple antennas selection to IoT network relying on NOMA," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 26, no. 5, pp. 59-65, 2020.
[32] O. Mohanad, A. N. Salhab, S. A. Zummo, and M. S. Alouini, "Joint optimization of power allocation and load balancing for hybrid VLC/RF networks," *J. of Optical Communications and Networking*, vol. 10, no. 5, pp. 553-562, May 2018.
[33] A. Sudha, *et al.*, "SDN-assisted efficient LTE-Wi-Fi aggregation in next generation IoT networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 107, pp. 898-908, Jun. 2020.
[34] Z. Wei, *et al.*, "A self-adaptive AP selection algorithm based on multi-objective optimization for indoor Wi-Fi positioning," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 8, no. 3, pp. 1406-1416, 1 Feb. 2020.
[35] M. Soraya, *et al.*, "Wireless system selection with spectrum database for IoT," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Information Networking, ICOIN'21*, pp. 203-208, Jeju Island, South Korea, 13-16 Jan. 2021.
[36] P. Bhanu and J. Malhotra, "QAAs: QoS provisioned artificial intelligence framework for AP selection in next-generation wireless networks," *Telecommunication Systems*, vol. 76, pp. 233-249, Aug. 2021.
[37] R. Ahmad and A. Srivastava, "Optimized user association for indoor hybrid Li-Fi Wi-Fi network," in *Proc. IEEE 21st Int. Conf. on Transparent Optical Networks, ICTON'19,* 5 pp., Angers, France, 9-13 Jul. 2019.
[38] N. Omar, "IoT and RFID in supply chain: benefits, barriers and analysis," *International Journal of Research Publication and Reviews*, vol. 3, no 2., pp 334-358, Feb 2022.
[39] M. Ahrabi, *et al.*, "Mobility aware load balancing using Kho-Kho optimization algorithm for hybrid Li-Fi and Wi-Fi network," *Wireless Networks*, vol. 30, pp. 5111-5125, 2024.
[40] M. L. Littman, "Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning," in *Proc. of the Eleventh International Conference, Rutgers University,* pp. 157-163, New Brunswick, NJ, USA, 10-13 Jul. 1994.
[41] W. Y. Liu, K. Yue, T. Y. Wu, and M. J. Wei, "An approach for multi-objective categorization based on the game theory and Markov process," *Applied Soft Computing*, vol. 11, no. 6, pp. 4087-4096, Sept. 2011.
[42] J. Hao, Y. Xue, M. Chandramohan, Y. Liu, and J. Sun, "An adaptive Markov strategy for effective network intrusion detection," in *Proc. IEEE 27th Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI'15,* pp. 1085-1092, Vietri sul Mare, Italy, 9-11 Nov. 2015.
[43] W. Xiaofeng and T. Sandholm, "Reinforcement learning to play an optimal Nash equilibrium in team Markov games," in *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems*, *NIPS'02*, 2002.
[44] L. Cheng, D. Ma, and H. Zhang, "Optimal strategy selection for moving target defense based on Markov game," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 156-169, 2017.

پیام پرکار رضائیه مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه آزاد قزوین در سال ۱۳۸۱ و مدرک کارشناسی ارشد هوش مصنوعی و رباتیک را از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران در سال ۱۳۸۳ دریافت کرد. وی از سال ۱۳۸۵ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند است و زمینه‌های تحقیقاتی وی شامل رباتیک، هوش مصنوعی، IOT، پردازش تصویر، WSN و LiFi است.

حمید شکرزاده تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی را در سال ۱۳۸۳ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش سخت‌افزار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز به پایان رسانید و مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۸۶ در رشته مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های کامپیوتری از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین اخذ کرده است. همچنین ایشان مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش معماری کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات و فناوری در سال ۱۳۹۲ اخذ نموده اند. در ادامه دکتر شکرزاده از سال ۱۳۸۷ به عضویت هیأت علمی دانشگاه آزاد واحد پردیس درآمده و هم‌اکنون در واحد دانشگاهی تهران مرکز مشغول به تدریس و پژوهش می‌باشند. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند ایده‌های نو در شبکه‌های بی‌سیم، مدیریت منابع، سیستم‌های توزیعی، رباتیک و داده کاوی است.

مهدی دهقان تخت فولادی مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه علم و صنعت ایران (IUST)، تهران، ایران در سال ۱۳۷۱ و کارشناسی ارشد و دکتری خود را به ترتیب در سال ۱۳۷۴ و ۱۳۸۰ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (AUT)، تهران، ایران دریافت کرد. وی از سال ۱۳۷۴ به عنوان پژوهشگر مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) در زمینه کیفیت ارائه خدمات و مدیریت شبکه فعالیت می‌کند. وی در سال ۱۳۸۳ به گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر پیوست و در حال حاضر استاد این دانشگاه است. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های تعریف شده نرم‌افزاری، مدیریت شبکه و محاسبات متحمل خطا.

امیر مسعود رحمانی مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر را از دانشگاه امیرکبیر تهران در سال ۱۳۷۵، مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر را از دانشگاه صنعتی شریف تهران در سال ۱۳۷۷ و مدرک دکتری خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه IAU تهران در سال ۱۳۸۴ دریافت کرد. وی در حال حاضر استاد گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی است. او نویسنده/همکار نویسنده بیش از ۲۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های فنی است. علایق تحقیقاتی او در زمینه‌های سیستم‌های توزیع‌شده، اینترنت اشیا و محاسبات تکاملی است.