ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

یک روش مسیریابی مبتنی بر محتوا محور در اینترنت اشیاء به کمک الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل

مهیار خسروی فراهانی [۱]، پریسا دانشجو [۲]

[۱]کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، گروه کامپیوتر، تهران،، ایران khosravifarahani.mahyar@wtiau.ac.ir
[۱]استادیار، واحد تهران غرب، گروه کامپیوتر، تهران،، ایران daneshjoo.p@wtiau.ac.ir

چکیده

شبکه اینترنت اشیاء را می‌توان برای کاربردهای متفاوت و درحوزه‌های مختلفی مانند صنعت، نظارت بر زیرساخت، خدمات شهری، امنیت و نظارت بر برنامه‌های کاربردی و غیره به کاربرد. یکی از مسائل مهم دراین حوزه، مربوط به مسئله مسیریابی هست. محققان، پژوهش های زیادی در این زمینه ارائه کرده و راهکارهای متنوعی پیشنهاد کرده اند که هر کدام مزایا و معایبی دارند، در این راستا به منظور بهبودکارایی رویکردهای موجود، یک روش مسیریابی مبتنی الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل ارائه می‌شود. تلاش تحقیق حاضر این است که با استفاده از ترکیب مسیریابی محتوا محور با الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل بتوان به هدف اصلی شبکه‌های اینترنت اشیاء یعنی افزایش طول عمر شبکه، کاهش مصرف انرژی و بهینه‌ترین مسیر را بدست آورد. با توجه به پژوهش‌هایی که در زمینه‌های مختلف با استفاده از این الگوریتم صورت گرفته، استفاده از این روش منجر به رسیدن به نتیجه مطلق یا نزدیک به مطلق شده است بنابراین استفاده از این روش در اینترنت اشیاء می‌تواند منجر به افزایش طول عمر شبکه به اندازه حدود ۵ درصد و کاهش مصرف انرژی به اندازه نزدیک ۱۰ درصد نسبت به رویکردهای مقایسه شده شود.

واژه‌های کلیدی

اینترنت اشیاء، مسیریابی، زنبورعسل، مصرف انرژی، تأخیر انتها به انتها، بهینه‌سازی محتوا محور.

۱.مقدمه

اینترنت اشیاء به‌طورکلی نشان‌دهنده تجهیزات و ابزارهایی است شامل اشیاء و وسایل محیط پیرامون ما که به شبکه اینترنت متصل شده می‌توان آن‌ها را توسط برنامه‌های کاربردی موجود در تلفن‌های هوشمند، تبلت و سایر سیستم‌های هوشمند، کنترل و مدیریت کرد. اینترنت اشیاء به زبان ساده، ارتباط حسگرها و دستگاه‌ها با شبکه‌ای است که از طریق آن می‌توانند با یکدیگر و با کاربرانشان تعامل داشته باشند[۱]. این مفهوم می‌تواند به‌سادگی ارتباط یک گوشی هوشمند با تلویزیون باشد یا می‌تواند به پیچیدگی نظارت بر زیرساخت‌های شهری و ترافیک باشدو. در واقع، اینترنت اشیاء، شبکه‌ای از اشیاء است که در آن اشیاء مختلف می‌تواند (به کمک کامپیوتر و از طریق ارتباطات اینترنتی) با سایر تجهیزات ارتباط برقرار کنند. "اشیاء" می‌تواند شامل هر "چیزی" باشد که قابلیت جمع‌آوری داده‌ها، کنترل شدن و یا ارتباط از راه دور را داشته باشند. به‌عنوان نمونه خودروها، اسباب و وسایل مختلف خانگی، ابزارآلات پزشکی، شبکه‌های الکتریکی، ابزارآلات مختلف صنعتی و ساختمانی و موارد مشابه دیگر، مثال‌هایی از این "اشیاء" هستند[۲]. به‌عبارت‌دیگر، "اینترنت اشیاء" در برگیرنده تعداد زیادی از اشیاء به هم وابسته است. در حقیقت، این پدیده به‌عنوان مرحله اصلی در سیر تکامل فضای مجازی شناخته شده است. دو ویژگی اصلی می‌تواند "اشیاء" مختلف را به‌عنوان بخشی از "اینترنت اشیاء" قرار دهد. این دو مشخصه شامل مشخصه‌های هویتی و ارتباط اینترنتی هستند[۳]. هرکدام از این اشیاء هوشمند، یک آدرس پروتکل اینترنتی[1] مختص به خود را خواهند داشت تا ابزاری که به ارسال یا دریافت اطلاعات می‌پردازد، قابل‌تشخیص شود. این اشیاء هوشمند، قادر خواهند بود سیستم‌هایی را تشکیل دهند که توانایی ارتباط با یکدیگر را داشته باشند. اینترنت اشیاء پروسه‌ای طولانی‌مدت است که در حال حاضر در ابتدایی‌ترین مرحله بلوغ خود قرار دارد[۴]. شاید بتوان سه فاز اصلی را برای به ثمر رسیدن مرحله نخست اینترنت اشیاء در نظر گرفت. در فاز نخست اشیاء برای انسان و یکدیگر قابل‌شناسایی می‌شوند و به‌تدریج آدرس خاصی را در شبکه به خود اختصاص می‌دهند. در این فاز هر شیء اطلاعات خاصی را در خود نگه می‌دارد، اما این افراد هستند که باید با استفاده از ابزارهایی مثلاً تلفن‌های هوشمند خود، این اطلاعات را استخراج نمایند[۵]. در فاز دوم، هر وسیله می‌تواند اطلاعات را در موعد تعیین شده برای کاربر ارسال کند. پس از تکمیل ارتباط میان اشیاء و انسان، نوبت ارتباط اشیاء با یکدیگر است. در فاز سوم اشیاء بدون دخالت انسان با یکدیگر ارتباط می‌گیرند. با تکمیل این سه فاز مرحله نخست تکامل اینترنت اشیاء به اتمام می‌رسد. پس از اتمام مرحله نخست، دنیایی از ایده‌ها در مقابل توسعه‌دهندگان قرار می‌گیرد. مسئله اصلی در این زمینه این است که هر وسیله اطلاعاتی در درون یک شبکه دارد، در دسترس وسایل دیگر و مالک وسیله است و این توسعه‌دهندگان هستند که با خلاقیت خود از این اطلاعات استفاده بهینه می‌کنند.[۶]

کار کردن با تجهیزات مجهز به اینترنت اشیاء، بسیار ساده است چرا که همیشه با خود پیشوند «هوشمند» را به‌همراه دارند، چنگال هوشمند، صندلی هوشمند، کتری هوشمند و غیره. دستیابی به این وسایل نیز بسیار ساده است، تنها کافی است که دستگاه مورد نظر یک باتری قابل شارژ، چیپ وای‌فای و یک اپلیکیشن داشته باشد و تنها مشکلی که وجود دارد این است که این دستگاه معمولاً گران قیمت‌تر از تصور خواهد بود. اینترنت اشیاء در واقع واکنشی به پیام‌ها و هشدارهای هر دستگاه در دنیای هوشمند است، که بدون تمرکز روی یک دستگاه خاص، می‌توان عملکرد آن را کنترل کرد. برای مثال می‌توان به صندلی‌های مجهز به وای‌فای اشاره نمود که در ادارات با یک کلیک همه در جای مشخص شده قرار می‌گیرند. اینترنت اشیاء، مسیر جدیدی در فناوری ایجاد کرده است. با استفاده از این تکنولوژی روش کاری بسیاری از مشاغل و فعالیت‌ها تغییر خواهد کرد[۶]. اینترنت اشیاء همراه با واقعیت مجازی موجب افزایش سرعت و دقت در بسیاری از صنایع شده‌اند، اما رعایت امنیت را موضوع مورد بحث قرار داده‌اند. طور کلی، چالش‌های موجود در اینترنت اشیاء، را می‌توان به‌صورت مسائلی مانند استاندارد سازی، سیستم عامل، توسعه نرم افزار، مقیاس پذیری، امنیت داده، مسیریابی، تخصیص منبع، مصرف

[1] Internet Protocol (IP)

انرژی، تاخیر انتها به انتها و موارد مشابه بیان کرد. چالشی که در این مقاله مورد ارزیابی قرار گرفته است و یک روش جدید برای حل مسائل مربوط به آن ارائه شده است، مسئله مسیریابی در محیط اینترنت اشیاء است[۷].
ساختارکلی مقاله به این صورت است که در بخش دوم از مقاله، کارهای انجام شده در زمینه مسیریابی در شبکه های اینترنت شیا، بررسی شده و مزایا و معایب هریک از این روش‌ها مطالعه می‌شود. در ادامه، روش پیشنهادی با عنوان مسیریابی مبتنی بر محتوا محور در اینترنت اشیاء به کمک الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل، بیان شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش بعدی ، نتایج شبیه‌سازی بیان شده و یک مقایسه کلی بین روش‌های موجود انجام می‌شود. در انتها پس از یک نتیجه‌گیری کلی از روش پیشنهادی و پیشنهاد کارهای آتی، سپاسگزاری و منابع و مراجع آورده می‌شوند.

۲. پیشینه پژوهش

در بسیاری از کاربردهای اینترنت اشیاء، پیام‌ها نیازمند انتشار به برخی از گره‌ها توسط انتقال به‌صورت همه پخشی هستند و در برخی موارد به‌منظور کاهش میزان مصرف پهنای باند از روش‌های انتقال تک‌پخشی استفاده می‌شود[۸]. با استفاده از روش‌های مسیریابی، مسیرهای مختلفی را می‌توان بین گره مبدأ و گره‌های مقصد ایجاد کرد. پس از ایجاد چنین مسیرهایی، گره مبدأ می‌تواند بسته خود را از مسیر مناسب به مقصد موردنظر ارسال نماید. در مقالات قبلی، پروتکل‌های مسیریابی توزیع شده زیادی برای استفاده در محیط اینترنت اشیاء ارائه شده‌اند. این روش‌های مسیریابی از اطلاعات جغرافیایی و ویژگی‌های کیفیت سرویس مسیر، برای گزیش مسیر مناسب جهت ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند. تاکنون روش‌های مسیریابی همه پخشی و تک‌پخشی مختلفی برای ارسال بسته‌ها از گره مبدأ به گره مقصد ارائه شده است[۹]. مشکل اصلی روش‌های مسیریابی همه پخشی افزایش سربار، افزایش میزان تأخیر و کاهش طول عمر شبکه است. علاوه بر این افزونگی و افزایش ترافیک در شبکه نیز از مشکلات مهم دیگر این روش‌های مسیریابی است. تاکنون روش‌های مسیریابی مختلفی در شبکه‌های اینترنت اشیاء ارائه شده‌اند. در ادامه برخی از این الگوریتم‌ها به‌صورت مختصر توصیف خواهند شد [۱۰]. در این بخش الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیا، مطالعه و بررسی می‌شوند، مزایا و معایب هر کدام مطرح شده و در نهایت یک مقایسه کلی بین الگوریتم‌ها صورت می‌گیرد.

شبکه اینترنت اشیاء را می‌توان برای کاربردها و در حوزه‌های مختلفی صنعتی مانند نظارت بر زیرساخت، خدمات شهری، امنیت و نظارت بر برنامه‌های کاربردی وغیره به کار برد. جمع‌آوری تعداد زیادی از داده‌ها از چنین شبکه‌هایی شامل تصاویر و ویدیو منجر به ایجاد ازدحام در مناطق مرکزی شبکه می‌شود[۱۱]. برای حل این مشکل، الگوریتم مسیریابی محتوا محور توسط گروه تحقیقاتی جین و همکارانش[۱۲] پیشنهاد شده است که با مسیریابی داده‌های همبسته تا گره‌های رله‌میانی برای پردازش، نسبت تراکم داده بالاتری به دست می‌آید و این امر منجر به کاهش ترافیک شبکه به‌صورت چشمگیری می‌شود. بعنوان یک نتیجه، می‌توان به کاهش زمان تأخیر چشمگیری، انتقال داده‌های تکراری را می‌توان پس از جمع‌آوری داده‌ها حذف کرد و در نتیجه مقدار مصرف انرژی در ارتباطات بی‌سیم با حفظ مقدار انرژی محدود باتری‌ها کاهش داد.

در مقاله پن و همکارانش[۱۳] یک روش مسیریابی همه پخشی توزیع شده و سبک مبتنی بر ویژگی‌های جغرافیایی را پیشنهاد کرده‌اند که از سه فاز اصلی به وجود آمده است. فاز اول انتخاب گره‌های میانی برای دستیابی به مسیرهای همه پخشی است. فاز دوم حذف حلقه‌ها و اصلاح مسیرهای ساخته شده در فاز اول است. و فاز آخر به‌روزرسانی مقادیر پارامترها برای تمامی گره‌ها است. بررسی نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که این روش پیشنهادی به‌صورت کارایی تعداد لینک‌های انتقال را کاهش داده و علاوه بر این میزان تأخیر همه پخشی نیز کاهش می‌یابد از معایب این رویکرد، احتمال بروز بن بست در مسیر بود.

در پژوهش ارائه شده توسط جوانشیر و همکارانش[۱۴] به‌منظور افزایش طول عمر شبکه و استفاده کمینه از انرژی باتری، راهکاری را پیشنهاد شد که تمامی مراحل استقرار گره، تعیین معماری گره و همچنین حس نمودن محیط پیرامون به‌منظور به اشتراک‌گذاری داده‌های حس شده با ایستگاه مرکزی به‌صورت دقیق طراحی شده است. کاهش همه پخشی بسته‌ها و کاهش محاسبات در سطح گره و کمینه‌سازی سربار بسته‌ها، نقش بسیار مهمی را در مصرف انرژی دارد. هدف این گروه تحقیقاتی، افزایش توان عملیاتی شبکه با کاهش

میزان مصرف انرژی و به‌ویژه در طول فرآیند مسیریابی است. در این روش از راهکار مسیریابی آگاه از انرژی مبتنی بر خوشه‌بندی به‌منظور بیشینه‌سازی توان عملیاتی با کاهش میزان تأخیر در ارتباطات نقطه‌به‌نقطه، کاهش نرخ گم‌شدن بسته و بهبود طول عمر شبکه استفاده شده است. در این روش از راهکار مسیریابی پیش‌گویانه، استراتژی‌های رفتار محلی و پردازش درون شبکه برای رسیدن به اهداف بیان شده در بالا، استفاده شده است. در کار تحقیقاتی که تحت بررسی قرار گرفته است، هدف اصلی، حفظ توان انرژی، به ویژه در طول مسیریابی، است. نتیجه نهایی رویکرد پیشنهادی هدف قرار دادن فازهای مولد انرژی مبتنی بر خوشه برای به حداکثر رساندن توان با کاهش تأخیر انتها به انتها، کاهش میزان بسته بندی و افزایش طول عمر شبکه است. استراتژی‌های پیشنهادی از مسیریابی سفارشی، پیشگیرانه، استراتژی‌های رفتار محلی و پردازش در شبکه استفاده می‌کند تا به روند مسیریابی کمک کند.

گروه تحقیقاتی دوراندر و همکارانش [۱۵] برای رفع معایب بیان شده، یک راهکار مسیریابی جدید ارائه نموده‌اند که از زنجیره مارکوف به‌منظور ارسال مبتنی بر پیشگویی موقعیت استفاده می‌کند.

این روش پیشنهادی موقعیت گره‌های حاضر را در نظر گرفته و از زاویه ایجاد شده بین گره فعلی و گره مقصد برای پیشگویی موقعیت بعدی استفاده می‌کند. در این روش از زنجیره مارکوف برای تعیین احتمال حرکت گره به سمت مقصد استفاده می‌شود. برای مدل‌سازی روش پیشنهادی از یک محیط شبکه فرصت طلبانه استفاده می‌شود که متشکل از N گره سیار است که فرض می‌شود که با یکدیگر همکاری می‌کنند و انرژی کافی برای مشارکت در ارسال داده دارند. هر گره، فضای بافر کافی برای ذخیره‌سازی اطلاعات دارد و به طور مخرب رفتار نمی‌کند.

پارک و سایر همکارانش[۱۶] یک روش مسیریابی ارائه نموده‌اند که در آن هر ارائه‌دهنده‌ی خدمات ممکن است ابزارهای متشکل از دامنه‌ی خدمات خود را گسترش دهدکه با طیف گسترده‌ای از حالات مختلف اتصال به اینترنت متصل شده باشد را گسترش دهد که برای سیاست‌ها و اهداف خدمات خودش مناسب باشد. این امر یک تصور مشترک را برای گسترش خدمات و برنامه‌های کاربردی مستقل امکان‌پذیر می‌سازد که توسط عملیات سرویس بسیار بالا، انتقال اطلاعات، اتصال شبکه و قابلیت همکاری، مشخص می‌شود.

گروه تحقیقاتی پاوول و سایر همکارانش[۱۷] یک پروتکل مسیریابی چندگامه را ارائه نمودند که امکان ایجاد ارتباطات امن بین تجهیزات اینترنت اشیاء را ممکن می‌سازد. پروتکل مسیریابی پیشنهادی، تجهیزات اینترنت اشیاء را قادر به اعتبارسنجی قبل از ایجاد یک شبکه جدید و یا ملحق شدن به شبکه جدید می‌کند. در اعتبارسنجی از پارامترهای چندلایه برای افزایش امنیت ارتباطات استفاده می‌شود. پروتکل مسیریابی پیشنهادی از پارامترهای چندلایه در الگوریتم مسیریابی استفاده می‌کند. در این روش فرآیندهای اعتبارسنجی و مسیریابی بدون ایجاد سربار چشمگیری انجام می‌شود. پارامترهای چندلایه شامل یک فرآیند تعیین هویت قابل‌کنترل توسط کاربر و یک لیست از تجهیزات موجود در شبکه است و درنتیجه با نگهداری اطلاعات کمی از شبکه، میزان مصرف توان انرژی را به‌صورت چشمگیری کاهش می‌دهد. آزمون‌های آزمایشی نشان می‌دهند که مسیریابی چندگامه پیشنهادی را می‌توان به‌راحتی برای ایجاد ارتباطات بین تجهیزات مختلف اینترنت اشیاء به کار برد.

۳. روش پیشنهادی

چالش مسیریابی در محیط اینترنت اشیاء مسئله بسیاری نوینی است که از اهمیت چشمگیری در این زمینه برخوردار است زیرا به‌صورت کاملاً مستقیم با کارایی و عملکرد کل سیستم در ارتباط است. اگر یک فرآیند مسیریابی صحیح و مناسب جهت ارسال داده‌ها بین تجهیزات (گره‌های) حاضر در محیط اینترنت اشیاء انجام نگیرد، در این صورت کارایی شبکه ازنقطه نظر سربار، تأخیر ارسال، میزان مصرف انرژی، میزان مصرف پهنای باند، تعداد گام‌های مسیریابی و بسیاری موارد دیگر دچار مشکل و ضعف می‌شود و درنتیجه گام‌های مسیریابی افزایش چشمگیری داشته باشد. با استفاده از روش‌های مسیریابی، مسیرهای مختلفی را می‌توان بین گره مبدأ و گره‌های مقصد ایجاد کرد. پس از ایجاد چنین مسیرهایی، گره مبدأ می‌تواند بسته خود را از مسیر مناسب به مقصد موردنظر ارسال نماید. بررسی‌ها نشان می‌دهند که کنترل گره‌ها به‌صورت متمرکز و با استفاده از یک ایستگاه مرکزی کار بسیار دشواری بوده و دارای سربار بالایی است. ازاین‌رو

می‌توان از پروتکل‌های مسیریابی توزیع شده یا محتوا محور در محیط اینترنت اشیاء استفاده نمود. در همین راستا در این پژوهش یک رویکرد مسیریابی مبتنی بر محتوا محور با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل در اینترنت اشیاء پیشنهاد شده است. در ادامه روند کلی رویکرد پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل در محیط اینترنت اشیاء بیان خواهد شد.

۳,۱.الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل

در دهه‌های اخیر، روش‌های تکاملی و فرایافتاری به‌عنوان یک ابزار جستجو و بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلفی مانند علوم، تجارت و مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. وسعت دامنه کاربرد، سهولت استفاده و قابلیت دستیابی به جواب‌های نزدیک به بهینه از جمله دلایل موفقیت این روش‌ها است. فرآیند جفت‌گیری زنبورها عسل نیز به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی بر پایه رفتار حشرات، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. جفت‌گیری زنبورهای عسل را می‌توان به‌عنوان یک روش عمومی بر پایه رفتار حشرات جهت بهینه‌سازی مسیریابی در اینترنت اشیاء در نظر گرفت که در آن الگوریتم جستجو الهام گرفته از طبیعت فرایند جفت‌گیری در زنبورهای واقعی است؛ رفتار زنبورهای عسل تقابلی بین پتانسیل ژنتیک، محیط فیزیولوژیکی، اکولوژیکی و شرایط اجتماعی کندو و یا ترکیبی از موارد فوق است. در حالت کلی یک کندوی زنبورعسل به‌طورمعمول شامل یک ملکه با طول عمر زیاد جهت تخم‌گذاری و تعدادی از زنبور نر و حدود ۱۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ زنبور کارگر است[۱۸].

ملکه‌ها اصلی‌ترین نقش تولیدمثل را در برخی گونه‌های زنبورعسل ایفا می‌کنند و وظیفه تخم‌گذاری را نیز بر عهده دارند. زنبورهای نر پدر کندو به شمار می‌روند. آن‌ها تک جنسیتی بوده و وظیفه تشدید ژن‌های مادران، بدون تغییر در ترکیب ژنتیکی آن‌ها را بر عهده دارند. وظیفه کارگرها بچه‌داری و در برخی موارد تخم‌گذاری است. زنبورهای نوزاد از تخم‌های بارور و نابارور حاصل می‌شوند. پرواز جفت‌گیری توسط رقص مخصوصی از جانب ملکه آغاز می‌شود. در این پرواز زنبورهای نر به تعقیب ملکه پرداخته و در فضا جفت‌گیری با ملکه را انجام می‌دهند. در یک پرواز جفت‌گیری معمول، هر ملکه با ۷ تا ۲۰ زنبور نر جفت‌گیری می‌کند. در هر جفت‌گیری، اسپرم وارد محفظه اسپرم ملکه شده و در آنجا جمع‌آوری می‌گردد. هر بار که ملکه تخم‌ریزی انجام می‌دهد، مخلوطی از اسپرم جمع شده در محفظه اسپرم را جهت باروری تخم‌ها خارج می‌سازد. در حین پرواز جفت‌گیری، ملکه توسط جمعیت انبوهی از زنبورهای نر تعقیب شده و سرانجام زنبورهای نری که موفق به جفت‌گیری با ملکه می‌شوند خواهند مرد، ولی ملکه اسپرم آن‌ها را دریافت می‌کند. این بدان معناست که ملکه چندین بار و با چند زنبور نر جفت‌گیری می‌کند ولی زنبورهای نر تنها قادر به یک بار جفت‌گیری با ملکه هستند. این عمل جفت‌گیری زنبورها را در مقایسه با دیگر حشرات منحصر به‌فرد می‌سازد. در واقع، پرواز جفت‌گیری می‌تواند به یک مجموعه جابجایی در فضا و مکان (محیط) تشبیه کرد که در آن ملکه در نقاط مختلف و با سرعت‌های متفاوت به پرواز درآمده و با زنبورهای نری که در آن لحظه و در آن مکان برخورد می‌نماید به‌طور تصادفی جفت‌گیری می‌کند. بدیهی است که در آغاز پرواز جفت‌گیری انرژی ملکه در حد مشخصی بوده و در انتهای مسیر یعنی در زمانی که ملکه به کندو باز می‌گردد انرژی او کاهش یافته و نزدیک به صفر می‌شود. از طرف دیگر ممکن است که قبل از به صفر رسیدن انرژی ملکه، حجم محفظه اسپرم ملکه پر شده و ملکه حتی در صورت دارا بودن انرژی نیز به کندو باز گردد. در حالت کلی در طبیعت زنبورهای عسل، نقش کارگرهای کلونی، محدود به بچه دارای و تغذیه ملکه است. از این رو در تمامی الگوریتم‌های تکاملی، کارگران به‌عنوان یک رفتار و تابع جستجو (اکتشافی) در راستای ترقی نسل و یا مراقبت از نوزادان عمل می‌کنند. در حالت کلی هر زنبور نر در یک کلونی کامل زنبورعسل با تابع احتمالاتی بیان شده در رابطه (۱) عمل جفت‌گیری با ملکه را انجام می‌دهد [۱۸].

$$Prob(Q,D) = e^{\frac{-\Delta(f)}{S(t)}} \quad (۱)$$

که در آن $Prob(Q,D)$ نشان دهند احتمال اضافه شدن اسپرم زنبور نر D به حجم محفظه اسپرم ملکه Q است و یا به‌عبارتی‌دیگر، نشان‌دهنده احتمال یک فرآیند جفت‌گیری موفق بین ملکه و یکی از نرهای مشخص کلونی است. $\Delta(f)$ نشان‌دهنده قدرمطلق اختلاف بین تابع هدف زنبور D (یعنی $F(D)$) و تابع هدف ملکه Q (یعنی $F(Q)$) است و $S(t)$ نشان‌دهنده میزان سرعت ملکه در لحظه t است. واضح است که تابع بیان شده در بالا به‌صورت یک تابع آنیلینگ شده عمل خواهد نمود. این بدان معنی است که احتمال جفت‌گیری در ابتدای پرواز جفت‌گیری که ملکه دارای سرعت زیادی است و یا در زمانی که تابع برازش زنبور نر خوب و مناسب بوده و به مقدار تابع برازش ملکه نزدیک است، بسیار بالا خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که سرعت و انرژی ملکه تابع زمان بوده و با جابجایی ملکه در

فضا مورد نظر و با گذشت زمان کاهش می‌یابند. در حالت کلی میزان کاهش سرعت و انرژی زنبور ملکه را می‌توان با استفاده از روابط (۲) و (۳) نشان داد.

$$S(t+1) = \alpha \times S(t) \quad (۲)$$

$$E(t+1) = E(t) - \gamma \quad (۳)$$

در روابط بالا، α یک ضریب ثابت در بازه $[0و1]$ است و γ نشان‌دهنده میزان کاهش انرژی ملکه در هر انتقال است. در حالت کلی الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل را می‌توان به‌صورت زیر در نظر گرفت:

- الگوریتم با پرواز جفت‌گیری آغاز می‌شود که در آن ملکه (جواب برتر) به‌طور احتمالاتی جفت‌های خود را از بین زنبورهای نر جهت پر نمودن محفظه اسپرم خود و در نهایت تولید بچه‌های جدید انتخاب می‌کند.
- بچه زنبورها (جواب‌های آزمایشی) با جابجایی ژن‌های زنبور نر با ژن‌های ملکه ایجاد می‌شوند.
- از کارگرها (توابع کاوشی) جهت جستجوی موضعی (پرورش و ارتقاء نسل) استفاده می‌شود.
- تابع برازش کارگرها با توجه به میزان ترقی که در نسل زنبورها ایجاد می‌نمایند مرتب می‌شود.
- بچه زنبور برتر در این فرآیند در صورت برتری نسبت به ملکه موجود جهت جایگزینی با ملکه و انجام پرواز جفت‌گیری بعدی انتخاب می‌شود.

در کل، هدف اصلی به‌منظور استفاده از رویکرد بهینه سازی پیشنهادی، برآوردن کردن اهداف حیاتی شبکه‌های اینترنت اشیاء یعنی افزایش طول عمر شبکه، کاهش مصرف انرژی و یافتن بهینه‌ترین مسیر است. در شبکه‌های اینترنت اشیاء، پارامترهای کیفیت سرویس مختلفی برای انتخاب مسیر مناسب جهت ارسال اطلاعات در نظر گرفته می‌شوند. برخی از این پارامترها شامل مواردی از قبیل سطح انرژی، قابلیت اطمینان، فاصله، قابلیت اعتماد، نرخ خطای بیتی، گذردهی و موارد دیگر هستند. در این پژوهش از پارامترهای کیفیت سرویس سطح انرژی، قابلیت اطمینان و فاصله جهت انتخاب مسیر مناسب استفاده می‌شود. باید توجه داشت که جنس هر یک از پارامترهای بیان شده متفاوت از هم است و در نتیجه امکان مقایسه بین آنها وجود نخواهد داشت، به همین منظور جهت رفع این مشکل، از یک رویکرد همبسته‌سازی جهت نرمال‌سازی معیارها استفاده خواهد شد. در ادامه هر یک از پارامترهای کیفیت سرویس مورد استفاده به همراه رویکرد همبسته‌سازی مورد نظر شرح داده خواهند شد

۳،۲.پارامترهای کیفیت سرویس

همان‌طور که در بخش قبلی بیان شد، در این روش، از پارامترهای سطح انرژی، فاصله و قابلیت اطمینان تجهیزات میانی موجود در محیط اینترنت اشیاء برای انتخاب گام بعدی جهت ارسال اطلاعات استفاده می‌شود. باید توجه داشت که در روش پیشنهادی از پارامترهای کیفیت سرویس دیگری از قبیل قابلیت اعتماد، نرخ گذردهی، نرخ خطای بیتی و سایر پارامترهای کیفیت سرویس نیز می‌توان استفاده کرد، ولی باید دقت داشت که استفاده از پارامترهای بیشتر، می‌تواند منجر به افزایش پیچیدگی محاسباتی شده و درنتیجه کارایی کلی شبکه را کاهش می‌دهد. پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش شامل موارد زیر هستند:

- **قابلیت اطمینان**، فراهم نمودن قابلیت اطمینان در شبکه‌های اینترنت اشیاء امروزی به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در این محیط تبدیل شده است. امروزه روش‌های بسیار زیادی به‌منظور ارتقاء قابلیت اطمینان در گره‌ها و تجهیزات شبکه‌های اینترنت اشیاء معرفی شده‌اند. قابلیت اطمینان $\mathbf{R}$ یک موجودیت برابر است با احتمال اینکه این موجودیت ویژگی‌های مورد نیاز را در بازه زمانی و شرایط معین داشته باشد و در غیر این صورت، عدم اطمینان $\mathbf{F}$ برابر است با احتمال اینکه موجودیت مورد نظر نتواند ویژگی‌های خواسته شده را در بازه زمانی معین تحت شرایط کاری به دست آورد. عدم اطمینان و قابلیت اطمینان هردو وابسته به زمان هستند. در زمان صفر، قابلیت اطمینان موجودیتی که آغاز به فعالیت می‌کند برابر یک است، پس از مدت‌زمانی این مقدار به ۰،۵ و سپس زمانی که از کار بیفتد به صفر می‌رسد. به بیان دیگر، عدم اطمینان از مقدار صفر شروع شده و به‌طور صعودی عمل کرده و زمانی که سیستم خراب می‌شود به مقدار یک می‌رسد. به‌طورکلی در هر لحظه مجموع قابلیت اطمینان و عدم اطمینان برابر با یک خواهد بود. این مسئله را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) بیان نمود.[۱۹]

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (۴)$$

قابل‌قبول‌ترین تعریف برای قابلیت اطمینان برابر است با توانایی یک موجودیت (محصول، سیستم، و غیره) در انجام وظایف تحت شرایط عملیاتی طراحی شده برای مدت‌زمان معین. بنابراین قابلیت اطمینان را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) تعریف نمود:

$$R_{(t)} = \Pr(T \geq t | C_1, C_2, \dots) \quad (۵)$$

که در این رابطه t نشان‌دهنده مدت‌زمان معین یا سیکل‌کاری موجودیت است و T نشان‌دهنده زمان شکست است و $R_{(t)}$ نشان‌دهنده قابلیت اطمینان موجودیت است. در این رابطه $C1, C2, \dots$ نشان‌دهنده شرایط تعیین شده همچون شرایط محیطی هستند، معمولاً این شرایط در آنالیز قابلیت اطمینان نادیده گرفته می‌شوند و معادله (۵) را می‌توان به‌صورت معادله (۶) بازنویسی نمود.

$$R_{(t)} = \Pr(T \geq t) \quad (۶)$$

با استفاده از رابطه (۶) مقدار قابلیت اطمینان برای هر یک از تجهیزات میانی موجود در محیط اینترنت اشیاء جهت انتخاب مسیر مناسب به‌منظور ارسال اطلاعات تعیین می‌شوند.

- **سطح انرژی گره**، یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های اینترنت اشیاء، مسئله توان مصرفی و سطح انرژی تجهیزات است. برای انجام پردازش در گره‌ها و تجهیزات شبکه‌های اینترنت اشیاء، نیاز به انرژی مداوم است، درحالی‌که انرژی برای هریک از این گره‌ها و تجهیزات محدود بوده و از طریق باتری‌های تعبیه‌شده در آن‌ها فراهم می‌شود. این گره‌ها و تجهیزات به‌صورت فیزیکی با منبع انرژی در ارتباط نیستند، بلکه به باتری خود وابسته هستند. در کل در بسیاری از کاربردهای این نوع از شبکه‌ها، باتری‌ها قابل تعویض نیستند. به همین دلیل، عمر باطری، عمر گره را مشخص می‌کند. درنتیجه، بد عمل کردن یا عمل نکردن یک گره می‌تواند باعث تغییرات مهمی در ساختار شبکه ایجاد کرده و نیاز به مسیریابی بسته‌ها و سازمان‌دهی مجدد شبکه را افزایش دهد. از سوی دیگر محدودیت انرژی سبب می‌شود فرستنده و گیرنده نتوانند با مناطق دور دست ارتباط برقرار کنند پس محدودیت مناطق تحت پوشش نیز رخ خواهد داد. ازاین‌رو، برای مسیریابی در این نوع شبکه‌ها باید گره‌هایی انتخاب شوند که سطح انرژی بالایی داشته و قادر به ذخیره‌سازی، انتقال و ارسال پیام به گام بعدی (گره بعدی) باشند، زیرا اگر گرهی سطح انرژی مناسبی نداشته باشد، در این صورت ممکن است با اتمام انرژی گره و پایان عمر گره، بسته ارسال‌شده از بین برود. بنابراین مهم‌ترین مسئله‌ای که برای انجام یک مسیریابی بهینه در این نوع شبکه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد، میزان انرژی گره‌ها و تجهیزات به نحوی است که طول عمر شبکه به مقدار قابل قبولی افزایش یابد[۴].
- **فاصله بین تجهیزات**، فاصله بین تجهیزات (گره‌ها)، یکی از پارامترهایی است که تأثیر معکوسی در کارایی الگوریتم مسیریابی دارد. به‌عبارتی‌دیگر، با افزایش طول مسیریابی، ضمن افزایش تأخیر در ارسال بسته‌ها، میزان مصرف انرژی و ترافیک شبکه نیز افزایش خواهد یافت، ازاین‌رو بهتر است برای مسیریابی بین مبدأ و مقصد، از کوتاه‌ترین مسیرها استفاده شود. برای محاسبه فاصله بین گره‌ها از فاصله اقلیدسی آن‌ها استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در شبکه‌های اینترنت اشیاء دید روشن و کاملی از ساختار شبکه وجود دارد، از این رو محاسبه فاصله بین دو گره کار بسیار آسانی خواهد بود. بعد از محاسبه فاصله بین گره‌ها، کوتاه‌ترین مسیر برای ارسال بسته انتخاب می‌شود[۱۵].

۳،۳.همبسته‌سازی پارامترهای کیفیت سرویس

همبستگی[۲] ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورداستفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا ۱- است و در عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. احتمالاً، گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به‌طورمعمول همبستگی پیرسون نامیده می‌شود. علامت اختصاری آن r است. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمّی رابطه خطی وجود دارد. کاربرد اصلی ضریب همبستگی پیرسون زمانی است که متغیرها از نوع پارامتری باشند؛ بدین معنا که توزیع نرمال داشته باشند و در سطح فاصله‌ای/ نسبی قرار گیرند. البته زمانی که متغیرها از نوع شبه‌فاصله‌ای باشند (یعنی هر متغیر ترکیبی از چند متغیر ترتیبی باشد که اصطلاحاً به آن مقیاس‌های تراکمی می‌گویند)، برخی از پژوهش‌گران از ضریب پیرسون استفاده می‌کنند. برخی از نویسندگان استفاده از ضریب پیرسون برای یک

[2] Correlation Coefficient

متغیر دو ارزشی و یک متغیر فاصله‌ای/نسبی را هم مجاز شمرده‌اند. تفسیر همبستگی پیرسون زمانی که یکی از متغیرها دو ارزشی (فقط شامل دو سطح) اما متغیر دیگر کمّی است نیز می‌تواند منطقی باشد. در حالت کلی ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آن‌ها تقسیم‌بر انحراف معیار آن‌ها است. برای یک جامعه آماری، ضریب همبستگی جامعه به‌صورت رابطه (۷) قابل‌تعریف خواهد بود[۱۷].

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (۷)$$

که در این رابطه cov، نشان‌دهنده کوواریانس است و σ_X نشان‌دهنده انحراف معیار متغیر X است و σ_Y نشان‌دهنده انحراف معیار متغیر Y است. μ_X نشان‌دهنده میانگین متغیر X استو μ_Y نشان دهند میانگین متغیر Y است. نهایت E نشان‌دهنده امید ریاضی است. در حالت کلی ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داد به‌صورت (X_i, Y_i) با استفاده از رابطه (۸) تعریف می شود.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}} \quad (۸)$$

رابطه بالا را می‌توان به‌صورت خلاصه‌تر با استفاده از رابطه (۹) بیان نمود.

$$r = \frac{i}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\frac{X_i-\bar{X}}{s_X})(\frac{Y_i-\bar{Y}}{s_Y}) \quad (۹)$$

که در آن هر یک از مقادیر $\bar{X}$،$\bar{Y}$ و s_X و s_Y به ترتیب با استفاده از روابط (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) تعریف می شوند.

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \quad (۱۰)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \quad (۱۱)$$

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \quad (۱۲)$$

$$s_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۱۳)$$

بعد از تعیین معنی‌داری و جهت رابطه، باید شدت رابطه ارزیابی شود. برای تفسیر شدت رابطه دو متغیر، بسته به کاربردهای موردنظر، تقسیم‌بندی‌های گوناگونی ارائه شده است. از این تقسیم‌بندی‌های به‌منظور همبسته‌سازی داده‌ها و حذف داده‌های غیرمفید از بین انبوهی از داده‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از همبسته نمودن داده‌ها می‌توان بخش بسیار بزرگی از ارزیابی‌های غیرمفید برای داده‌های غیرضروری را حذف نمود. تقسیم‌بندی ارائه شده در جدول ۱ نمونه‌ای از این تقسیم‌بندی است.

جدول ۱. شیوه تفسیر شدت رابطه در همبستگی پیرسون

شدّت رابطه	تفسیر
۸/. تا ۱	رابطه بسیار قوی
۶/. تا ۸/.	رابطه قوی
۴/. تا ۶/.	رابطه متوسط
۲/. تا ۴/.	رابطه کم (یا ضعیف)
صفر تا ۲/.	فقدان رابطه یا رابطه ناچیز

۳،۴. مسیریابی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد، در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل جهت ارائه یک رویکرد مسیریابی انطباقی استفاده می‌شود. پارامترهای مورد استفاده جهت انتخاب مسیر شامل قابلیت اطمینان، سطح انرژی و فاصله هستند. این پارامترها برای هر یک از گره‌ها و مسیرهای موجود در اینترنت اشیاء قابل محاسبه هستند. سطح انرژی گره در چنین شبکه‌هایی که عمدتاً با باتری کار می‌کنند، از اهمیت دوچندانی برخوردار است زیرا رابطه مستقیمی با طول عمر شبکه دارد. بعد از تعیین هر یک از این پارامترها، از ضریب همبستگی پیرسون که در بخش‌های بالا بیان شد برای تعیین میزان همبستگی بین پارامترهای بیان شده استفاده می‌شود و برای هر گام مسیریابی، براساس مقادیر به دست آمده از ضریب همبستگی، سطح برازش تعیین می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری

زنبورعسل، ملکه به‌عنوان جواب ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود و فرزندان به‌عنوان جواب‌های آزمایشی هستند که قابلیت تبدیل شدن به جواب بهینه یا همان ملکه را دارا هستند. زمانی که روند مسیریابی شروع می‌شود، بعد از محاسبه سطح برازش برای هر یک از مسیرها، مقدار برازش آن‌ها با جواب بهینه که براساس ویژگی‌های کلی و زیرساخت‌های شبکه قابل‌تعیین است، مقایسه می‌شوند. هرکدام از مسیرها که دارای برازش بالایی باشند و به جواب بهینه (ملکه) نزدیک‌تر باشند در جدول مسیریابی به‌عنوان گام بعدی در نظر گرفته می‌شوند و درصورتی‌که دارای مقدار برازش بالاتری از جواب بهینه باشند، با آن جایگزین می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، در الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل با گذشت زمان و حرکت زنبور ملکه در فضای راه‌حل سرعت و سطح انرژی ملکه کاهش می‌یابد. در روند مسیریابی نیز با گذشت زمان میزان انرژی گره‌ها و قابلیت اطمینان هر یک از گره‌ها که تابعی از زمان هستند، تغییر می‌کند. بدین ترتیب در دور بعدی مسیریابی باید مقادیر این پارامترها برای گره‌ها و مسیرها به‌روزرسانی شوند و برای این به‌روزرسانی از رابطه (۲) و (۳) استفاده می‌شود. این روند تا رسیدن بسته ارسالی به مقصد تکرار می‌شود. استفاده از چنین رویکرد بهینه‌سازی می‌تواند ضمن کاهش میزان تأخیر در ارسال بسته‌ها، طول عمر شبکه را با کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌ها افزایش داده و در نهایت منجر به کاهش گام‌های مسیریابی شود.

۳،۴. الگوریتم نهایی

مراحل اصلی روش پیشنهادی برای انجام مسیریابی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل به‌صورت زیر قابل بیان است.

شروع

۱. تعیین جمعیت اولیه گره‌ها و مسیرها
۲. تعیین پارامترهای کیفیت سرویس برای گره‌ها و مسیرها
۳. ارزیابی پارامترهای کیفیت سرویس از نظر حد آستانه سرویس دهی در شبکه
۴. نرمال‌سازی پارامترهای کیفیت سرویس ارائه شده برای مسیرها
۵. تشکیل ماتریس نرمال شده از پارامترهای کیفیت سرویس به منظور همبسته‌سازی
۶. همبسته‌سازی پارامترها با استفاده از روش‌های همبسته‌سازی
۷. استفاده از مولفه‌های همبسته‌سازی شده مربوط به پارامترهای کیفیت سرویس به عنوان سطح برازش
۸. محاسبه سطح برازش برای هر یک از مسیرها و گره‌ها با استفاده از ضریب همبستگی
۹. تعیین اولویت مسیرها براساس سطح برازش ارائه شده برای مسیرها
۱۰. انتخاب مسیر مناسب براساس سطح برازش گره‌ها
۱۱. ارسال بسته برای مسیر انتخاب شده به گام بعدی
۱۲. ارزیابی عملی بودن مسیر انتخابی برای مسیریابی پیشتهادی
۱۳. به روزرسانی پارامترهای کیفیت سرویس قابلیت اطمینان وسطح انرژی
۱۴. در صورتیکه مقادیر کیفیت سرویس از حد آستانه کمتر باشد، مسیر مورد نظر حذف خواهد شد
۱۵. تکرار مراحل ۲ الی ۱۳ تا انتقال بسته به مقصد
۱۶. پایان

۴. شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این پژوهش، برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی، از نرم‌افزار متلب نسخه R2016a استفاده شده است. همچنین برای اجرای نرم‌افزار، از یک کامپیوتر شخصی با حافظه اصلی ۴ گیگابایت و پردازنده اینـتل دو هسته‌ای با فرکانس ۳،۰۲ گیگاهرتز و سیستم‌عامل ویندوز ده شرکت مایکروسافت نسخه ۶۴ بیتی استفاده شده است. جهت انجام روند شبیه‌سازی، گره‌های موجود در شبکه که ساختار تشکیل دهنده شبکه اینترنت اشیاء می‌باشند و به‌صورت شی نام‌گذاری می‌شوند، به‌صورت تصادفی و یکنواخت در سطح شبکه مستقر شده‌اند لازم به

ذکر است که مؤلفه‌های توزیع شده در شبکه براساس مجموعه داده اینترنت اشیاءی ارائه شده در مرجع داده استاندارد UCI تولید شده‌اند. راهکار پیشنهادی در مؤلفه‌های، طول عمر شبکه، تأخیر، نرخ تحویل بسته، برازندگی و همچنین تعداد گام‌های مسیریابی، با رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL مقایسه شده است. پارامترهای استفاده شده برای انجام شبیه‌سازی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به این که رویکرد پیشنهادی از الگوریتم جفت‌گیری زنبورعسل استفاده کرده است، این الگوریتم از جمله الگوریتم‌هایی با مسائل غیرقطعی است، بنابراین، روند شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی به تعداد ۱۰ مرتبه اجرا شده و نتایج به دست آمده در نمودارها به‌صورت میانگین ارائه می‌شوند. علت تکرار شبیه‌سازی در این مسائل، نزدیکی نتایج به دست آمده به واقعیت و عادلانه بودن مقایسات است.

جدول ۲. پارامترهای شبیه‌سازی روش پیشنهادی

پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد گره‌ها (شیء‌ها)	۵۰۰ گره
اندازه شبکه	۲۵۰ متر×۲۵۰ متر
بیشترین تعداد تکرارها	حداکثر ۱۵۰۰ تکرار
بیشترین شعاع ارتباطی (ارتباط بین اشیاء)	۲۰ متر
سرعت حرکت	حداکثر ۵ متر در ثانیه حداقل ۱ متر در ثانیه
الگوی توزیع اشیاء در شبکه	با استفاده از تابع توزیع نرمال
ظرفیت باتری هر شی	۱۰ تا ۱۵ ژول به‌صورت تصادفی
اندازه بسته	۱۵۰ کیلو بایت
نرخ انتقال بسته	۳۰ بسته در هر ثانیه
پروتکل انتقال بین اشیاء	پروتکل XMPP و DDS
فرکانس رادیویی	1.45 GHz
دیتاست استفاده شده	IOT_10PPS_2016
محیط شبیه‌سازی	Matlab $2016R_2$

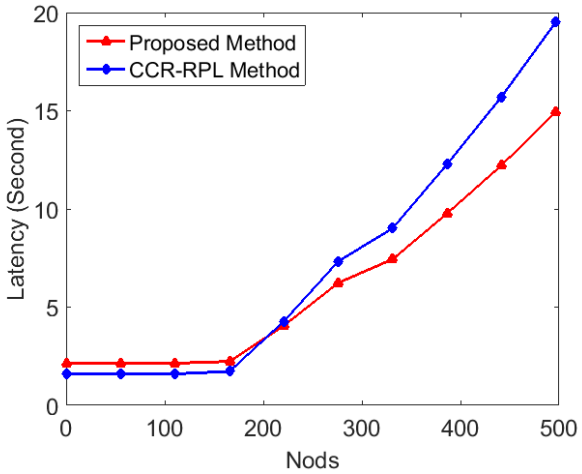
۴،۱. نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌ها ۱۰ مرتبه بر روی تعداد ۵۰۰ گره یا شی با اندازه شبکه ۲۵۰ متر×۲۵۰ متر و تعداد تکرار (نسل) ۱۵۰۰ عدد اجرا می‌شوند. براساس جدول ارائه شده، توزیع اشیاء در شبکه به‌صورت تصادفی و با استفاده از تابع توزیع نرمال انجام می‌شود. در این شبکه بیشترین شعاع ارتباطی بین اشیاء به اندازه ۲۰ متر در نظر گرفته شده است و مقدار بیشینه و کمینه سرعت حرکت اشیاء نیز به‌صورت تصادفی به ترتیب ۵ و ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. اندازه بسته‌های ارسالی حداکثر ۱۵۰ کیلو بایت درنظر گرفته شده است. با توجه به این که نرخ انتقال بسته برای محاسبه تأخیر، یک مؤلفه حیاتی است، نیاز به ارزیابی این مؤلفه نیز وجود دارد. بر این اساس، مقدار ۳۰ بسته در هر ثانیه، به عنوان نرخ انتقال بیشینه بسته درنظر گرفته شده است. پروتکل XMPP و DDS به عنوان پروتکل‌های ارتباطی بین اشیاء در نظر گرفته شده‌اند. پروتکل حضور و پیام‌رسانی قابل‌گسترش XMPP برای اتصال دستگاه‌ها به اشیاء که به سرورها متصل هستند استفاده می‌شود و پروتکل خدمات توزیع دادهDDS برای ارتباط سریع بین دستگاه‌های هوشمند در شبکه اینترنت اشیاء استفاده می‌شود. در نهایت میزان فرکانس رادیویی ارتباطی بین اشیاء به‌صورت 1.45 GHz تنظیم می‌شود که یک فرکانس مرسوم در شبکه‌های اینترنت اشیاء جهت تبادل پیام است. مجموعه داده IOT_10PPS_2016 نیز به عنوان مجموعه داده ارزیابی استفاده می‌شود که یک دیتاست آماده بوده و از مرجع داده استاندارد UCI دانلود شده است.

در ادامه روند شبیه‌سازی، در ابتدا تأخیر انتهایی راهکار پیشنهادی به عنوان مؤلفه ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته و با رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن درRPL مقایسه می‌شود. تأخیر در شبکه صرفاً یکی از عناصر تأثیرگذار در سرعت یک

شبکه است. تأخیر[3] که نشان دهنده میزان تأخیر در پردازش داده در شبکه است، یکی دیگر از عناصر مهم در ارزیابی کارایی و سرعت یک شبکه است که دارای ارتباطی نزدیک با پهنای باند و تأخیر هست. از لحاظ تئوری سقف پهنای باند ثابت است .پهنای باند واقعی متغیر بوده و می‌تواند عامل بروز تأخیر در یک شبکه گردد. وجود تأخیر زیاد در پردازش داده در شبکه و در یک محدوده زمانی کوتاه می‌تواند باعث بروز یک بحران در شبکه شده و پیامد آن پیشگیری از حرکت داده بر روی محیط انتقال و کاهش استفاده مؤثر از پهنای باند باشد.

شکل ۱ مقایسه میزان تأخیر در شبکه را برای راهکار پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL نشان می‌دهد، براساس نتایج به دست آمده در این شکل مشخص می‌شود که با افزایش تعداد گره‌ها میزان تأخیر در رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL نسبت به روش پیشنهادی افزایش بیشتری دارد. با توجه به این نتایج می‌توان ادعا کرد که روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده در مؤلفه تأخیر، مقیاس‌پذیری بالاتر و بهتری دارد و هر چه میزان اشیاء در شبکه افزایش پیدا می‌کند، نتایج بهتری از نظر تأخیر نسبت به روش مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL ارائه می‌کند. با توجه به این که روش پیشنهادی از یک سازوکار انتخاب گره مبتنی بر متغیرهای چندگانه استفاده می‌کند، به نظر می‌رسد این روند موجب کاهش تأخیر تا حد قابل‌توجهی نسبت به رویکرد مقایسه شده می‌شود.

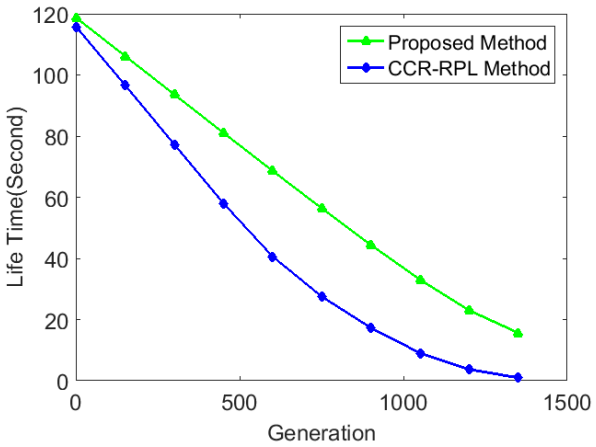


شکل ۱. مقایسه مقدار متوسط تأخیر بین روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL

در ادامه نتایج مربوط به طول عمر شبکه برحسب ثانیه مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد، با توجه به عمر محدود گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مدیریت انرژی و افزایش طول عمر شبکه یکی از چالش‌های مهم در این از شبکه‌هاست. در سال‌های اخیر شبکه‌های حسگر تا حد زیادی توجه جامعه محققان و کاربران حقیقی را به خود معطوف کرده‌اند، برای انجام وظایف در یک شبکه حسگر باید گذر زمان و میزان انرژی مصرفی را در نظر داشت تا هم موعد کارها از بین نرود و هم طول عمر این شبکه‌ها کاهش چشمگیر نداشته باشد. به بیان دیگر از بین محدودیت‌های پیش روی این شبکه‌ها، افزایش طول عمر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حالت ایده‌آل در شبکه‌های حسگر به گونه‌ای است که پیاده‌سازی و طراحی و با برنامه‌ریزی منظم شبکه دارای بیشترین طول عمر ممکن هست. بنابراین، دغدغه‌ی اصلی پیش رو در این بخش از شبیه‌سازی چگونگی افزایش طول عمر با در نظر گرفتن تمامی معیارهای ممکن در طراحی شبکه است. تا به این وسیله عمر شبکه نیز به زمان منطقی افزایش یابد. با توجه به این که راهکار پیشنهادی از یک رویکرد انتخاب مبتنی بر معیارهای کیفیت سرویس شبکه جهت ارزیابی میزان برازندگی استفاده می‌کند، لذا گره انتخاب شده از کیفیت بالایی برای انتقال بسته برخوردار خواهد شد و همچنین می‌تواند به عنوان یک گره مناسب برای بهبود مسیریابی انتخاب شود. این روند موجب بهبود طول عمر شبکه در روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL خواهد شد. همان‌طور که در

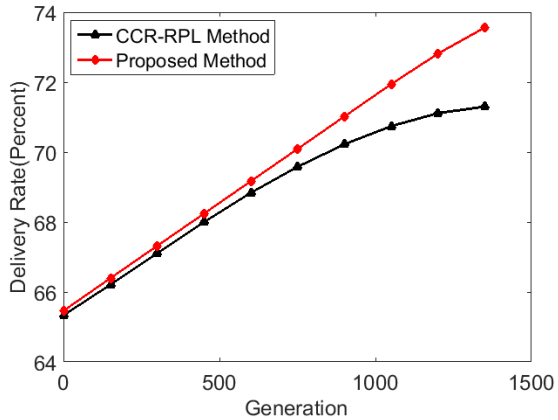
[3] Latency

شکل ۴-۲ نشان داده شده است، میزان کاهش طول عمر شبکه در روش پیشنهادی با افزایش تعداد نسل‌ها در شبکه نسـبت بـه رویکـرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL از افت کمتری برخوردار است. همان‌طور که بیان شد، علت بهینه بودن طول عمر شبکه در روش پیشنهادی نسبت به راهکار مقایسه شده، بهگزینی گره‌های مسیر در روش پیشنهادی براساس پارامترهای چندگانه و براساس تابع برازندگی موجود در رویکرد تکاملی ارائه شده است.



شکل ۲ مقایسه متوسط طول عمر شبکه در روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL

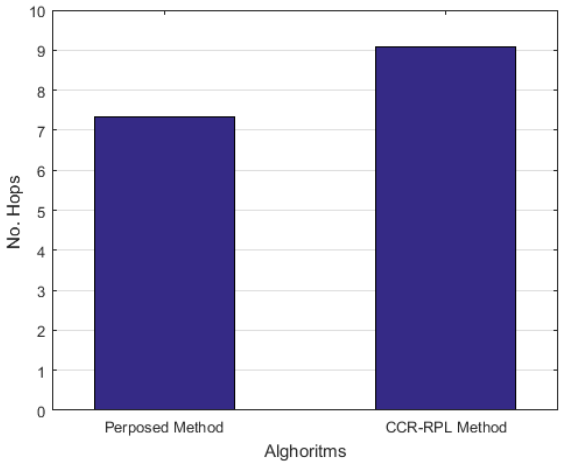
در ادامه، مؤلفه نرخ تحویل بسته برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. نرخ تحویل بسته، تعداد بسته‌های ارسالی موفق به ازای تعداد کل بسته‌هایی است که توسط منبع به شبکه تزریق شده است. در شکل۳ مقادیر مربوط به نرخ تحویل بسته برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL ارائه شده است.



شکل ۳. مقایسه نرخ تحویل بسته برای رویکرد پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL

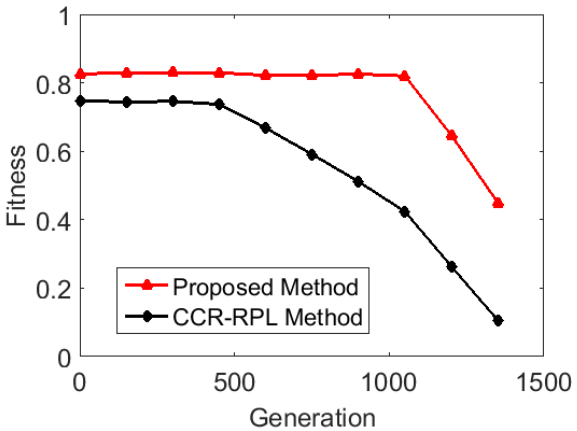
با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی‌ها، مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده با افزایش تعـداد تکرارهـا، نرخ تحویل بهتری داشته و مقیاس‌پذیرتر از رویکرد مسیریابی محتـوا محـور در شـبکه‌های اینترنـت اشـیاء و ادغـام آن در RPL هسـت. بهگزینی اشیاء برای ارسال بسته با استفاده از رویکرد پیشنهادی مسیریابی عامل اصلی در بهبود نرخ تحویل بسته است. انتخاب گره بهینه از نظر مؤلفه‌های کیفیت سرویس دارای بالاترین تأثیر روی معیارهای خروجی ارزیابی در روش پیشـنهادی بـوده و کیفیـت مسـیریابی را

بهبود می‌دهد.در ادامه آزمایش‌ها برای ارزیابی روش پیشنهادی، مقادیر مربوط به تعداد گام‌های مسیریابی برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL ارائه می‌شوند. با توجه به ایـن کـه تعـداد گام‌هـای مسـیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، از چالش‌های اساسی در این زمینه است، لذا، ارائه رویکردی که بتوانـد تعـداد گام‌هـای مسـیریابی در شـبکه را بهبود دهد، از اهمیت بالایی برخوردار است. کاهش گام‌های مسیریابی موجب بهبود مصرف انرژی، کاهش تأخیر و افزایش طول عمر شبکه نیز خواهد شد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که تعداد گام‌های مسیریابی در روش پیشنهادی نسبت به رویکـرد مسـیریابی محتـوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL از سطح پایین‌تری برخوردار است و این نتایج، نشان دهنده برتری روش پیشنهادی مسیریابی نسبت به رویکرد مقایسه شده است. بر این اساس بهبود سایر مؤلفه‌های ارزیابی نیـز براسـاس تعـداد گام‌هـای مسـیریابی قابـل توجیه بوده و می‌توان به عنوان یک معیار ارزیابی مناسب در این زمینه استفاده نمود.



شکل ۴. مقایسه مقدار متوسط گام‌های مسیریابی برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL

در نهایت، مؤلفه مربوط به برازندگی برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL به عنوان یک معیار ارزیابی دیگر، بررسی می‌شود. نتایج ارزیابی برای هر ۵۰ تکرار در شکل ۵ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مقدار برازندگی برای روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL در تمامی تکرارها از سطح بهتری برخوردار است.



شکل ۵. مقایسه مقادیر برازندگی برای روش پیشنهادی و رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن درRPL

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آتی

شبکه‌های اینترنت اشیاء می‌توانند برای کاربردهای بسیاری در حوزه‌های مختلف صنعتی ازجمله نظارت بر زیرساخت، خدمات شهری، کاربردهای نظارتی و امنیتی و غیره مورد استفاده قرار بگیرند. با این حال، جمع‌آوری مقادیر زیادی از داده‌ها از چنین شبکه‌هایی که اغلب باعث تراکم ترافیک در ناحیه شبکه مرکزی می‌شود. با افزایش ترافیک شبکه‌ای، میزان موفقیت در ارسال محتوا کاهش یافته و درنتیجه کارایی شبکه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین با افزایش ترافیک در یک مسیر ارتباطی، میزان ازدحام در شبکه افزایش یافته و درنتیجه طول عمر شبکه کاهش یافته و میزان انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های زیادی برای انجام مسیریابی در اینترنت اشیاء ارائه شده است. از مسائل اصلی در مسیریابی اینترنت اشیاء، بهبود طول عمر شبکه، افزایش موفقیت در ارسال بسته و کاهش میزان ازدحام مسیرهای ارتباطی است.

در این پژوهش برای حل مسائل موجود، یک راهکار جدید مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء با بهره‌گیری از جفت‌گیری زنبورعسل پیشنهاد شد. جفت‌گیری زنبورهای عسل را می‌توان به‌عنوان یک روش عمومی بر پایه رفتار حشرات جهت بهینه‌سازی مسیریابی در اینترنت اشیاء در نظر گرفت که در آن الگوریتم جستجو الهام گرفته از طبیعت فرآیند جفت‌گیری در زنبورهای واقعی است؛ رفتار زنبورهای عسل تقابلی بین پتانسیل ژنتیک، محیط فیزیولوژیکی، اکولوژیکی و شرایط اجتماعی کندو و یا ترکیبی از موارد فوق است. برای بهره‌مندی از اثربخشی مسیریابی مبتنی بر محتوا در اینترنت اشیاء در این پژوهش یک الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل ارائه شد. در این پژوهش تلاش شد که با استفاده از ترکیب مسیریابی محتوا محور و الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل، بتوان به هدف اصلی شبکه‌های اینترنت اشیاء یعنی افزایش طول عمر شبکه، کاهش مصرف انرژی و یافته بهینه‌ترین مسیر دست یافت.

با مقایسه نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که روش پیشنهادی، با رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن در RPL دارای طول عمر بهتری بوده و مصرف انرژی در این رویکرد از سطح پایین‌تری برخوردار است. همچنین نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی نسبت به راهکار مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن درRPL از سطح پایین‌تری برخوردار است. همچنین روش پیشنهادی دارای سطح تأخیر کمتری نسبت به رویکرد مقایسه شده است. در نهایت با ارزیابی نتایج مشخص شده است که تعداد گام‌های مسیریابی در روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن درRPL کمتر بوده و در نتیجه کارایی روش پیشنهادی از سطح بالاتری برخوردار است. در نهایت مقایسه برازندگی نشان دهنده برتری روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مسیریابی محتوا محور در شبکه‌های اینترنت اشیاء و ادغام آن درRPL است. به عنوان پیشنهاد برای کارهای آتی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- به منظور بالا بردن سرعت تصمیم‌گیری می‌توان از روش‌های چند معیاره با ایجاد وزن بر روی پارامترهای مربوط به انتخاب گره استفاده کرد.
- استفاده از سایر رویکردهای تکاملی بهینه‌سازی شده برای انتخاب گره به منظور مسیریابی کارا.
- استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی ریاضی و همچنین رویکردهای ترکیبی جهت انجام روند مسیریابی در این شبکه‌ها
- ارزیابی و بررسی کارایی راهکار پیشنهادی در مقیاس‌های بزرگتر و واقعی‌تر

منابع

[1] S. Park, N. Crespi, H. Park, and S. H. Kim, "IoT routing architecture with autonomous systems of things," *2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014*, pp. 442–445, 2014, doi: 10.1109/WF-IOT.2014.6803207.

[2] D. B.D. and F. Al-Turjman, "A hybrid secure routing and monitoring mechanism in IoT-based wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 97, p. 102022, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.ADHOC.2019.102022.

[3] K. Fathallah, M. A. Abid, and N. ben Hadj-Alouane, "Enhancing Energy Saving in Smart Farming through Aggregation and Partition Aware IoT Routing Protocol," *Sensors 2020, Vol. 20, Page 2760*, vol. 20, no. 10, p. 2760, May 2020, doi: 10.3390/S20102760.

[4] F. Safara, A. Souri, T. Baker, I. al Ridhawi, and M. Aloqaily, "PriNergy: a priority-based energy-efficient routing method for IoT systems," *The Journal of Supercomputing 2020 76:11*, vol. 76, no. 11, pp. 8609–8626, Jan. 2020, doi: 10.1007/S11227-020-03147-8.

[5] N. Djedjig, D. Tandjaoui, F. Medjek, and I. Romdhani, "Trust-aware and cooperative routing protocol for IoT security," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 52, p. 102467, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.JISA.2020.102467.

[6] S. Malathy *et al.*, "An optimal network coding based backpressure routing approach for massive IoT network," *Wireless Networks 2020 26:5*, vol. 26, no. 5, pp. 3657–3674, Mar. 2020, doi: 10.1007/S11276-020-02284-5.

[7] T. Vaiyapuri, V. S. Parvathy, V. Manikandan, N. Krishnaraj, D. Gupta, and K. Shankar, "A Novel Hybrid Optimization for Cluster-Based Routing Protocol in Information-Centric Wireless Sensor Networks for IoT Based Mobile Edge Computing," *Wireless Personal Communications 2021*, pp. 1–24, Jan. 2021, doi: 10.1007/S11277-021-08088-W.

[8] B. Hammi, S. Zeadally, H. Labiod, R. Khatoun, Y. Begriche, and L. Khoukhi, "A secure multipath reactive protocol for routing in IoT and HANETs," *Ad Hoc Networks*, vol. 103, p. 102118, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.ADHOC.2020.102118.

[9] I. U. Khan, I. M. Qureshi, M. A. Aziz, T. A. Cheema, and S. B. H. Shah, "Smart IoT control-based nature inspired energy efficient routing protocol for Flying Ad Hoc Network (FANET)," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 56371–56378, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2981531.

[10] R. Sahay, G. Geethakumari, and B. Mitra, "A novel blockchain based framework to secure IoT-LLNs against routing attacks," *Computing 2020 102:11*, vol. 102, no. 11, pp. 2445–2470, May 2020, doi: 10.1007/S00607-020-00823-8.

[11] R. R. Rout, S. Vemireddy, S. K. Raul, and D. V. L. N. Somayajulu, "Fuzzy logic-based emergency vehicle routing: An IoT system development for smart city applications," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 88, p. 106839, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.COMPELECENG.2020.106839.

[12] Y. Jin, S. Gormus, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Content centric routing in IoT networks and its integration in RPL," *Computer Communications*, vol. 89–90, pp. 87–104, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.COMCOM.2016.03.005.

[13] M. S. Pan and S. W. Yang, "A lightweight and distributed geographic multicast routing protocol for IoT applications," *Computer Networks*, vol. 112, pp. 95–107, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.COMNET.2016.11.006.

[14] I. Javanshir, A. Maseleno, S. Tasoujian, and M. Oveisi, "Optimization of suspension system of heavy off-road vehicle for stability enhancement using integrated anti-roll bar and coiling spring mechanism," *Journal of Central South University 2018 25:9*, vol. 25, no. 9, pp. 2289–2298, Oct. 2018, doi: 10.1007/S11771-018-3913-6.

[15] S. K. Dhurandher, S. J. Borah, I. Woungang, A. Bansal, and A. Gupta, "A location Prediction-based routing scheme for opportunistic networks in an IoT scenario," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 118, pp. 369–378, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.JPDC.2017.08.008.

[16] S. Park, N. Crespi, H. Park, and S. H. Kim, "IoT routing architecture with autonomous systems of things," *2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014*, pp. 442–445, 2014, doi: 10.1109/WF-IOT.2014.6803207.

[17] P. L. R. Chze and K. S. Leong, "A secure multi-hop routing for IoT communication," *2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014*, pp. 428–432, 2014, doi: 10.1109/WF-IOT.2014.6803204.

[18] M. R. Berenbaum and L.-H. Liao, “Honey Bees and Environmental Stress: Toxicologic Pathology of a Superorganism:,” *https://doi.org/10.1177/0192623319877154*, vol. 47, no. 8, pp. 1076–1081, Oct. 2019, doi: 10.1177/0192623319877154.

[19] Z. Ding, L. Shen, H. Chen, F. Yan, and N. Ansari, “Energy-Efficient Relay-Selection-Based Dynamic Routing Algorithm for IoT-Oriented Software-Defined WSNs,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 9, pp. 9050–9065, Sep. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3002233.