Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 12, Number 2, Summer 2023, pp. 60-73
Received: 11/10/2022, Revised: 06/27/2023, Accepted: 08/20/2023

Routing in Internet of Thing (IoT) by jellyfish search optimizer algorithms

Fahimullh Filahoman[1] and Nik-Mohammad Balouchzahi[2*]
1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
2*- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
[1]Fahimkohzad@gmail.com, [2*]Balouchzahi@ece.usb.ac.ir

Corresponding author's address: Nik-Mohammad Balouchzahi, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Abstract- In the Internet of Things network, sending a packet from the origin to the destination and optimal routing is a fundamental challenge because the packets must be sent in the optimal path with minimum delay and error rate. One of the challenges of optimal routing is the need for more consideration of the problem of congestion in the paths of sending packets in most researches. This manuscript presents a new approach based on low congestion route prediction and an optimal route selection approach with swarm intelligence for optimal routing in the Internet of Things. The proposed method uses learning based on neural network majority voting, decision tree, and random forests to predict the paths with low congestion. The proposed method uses the Jellyfish Search Algorithm(JSA) to optimize the route of sending packets. The role of the mermaid optimization algorithm is to find optimal routes in the network with minimum delay, queue length, minimum transmission error, and maximum transmission rate in the desired route. The implementation of the proposed method has been done in MATLAB software, and simulated data in the Internet of Things has been used to predict congestion. The research findings show that the routing objective function of the proposed method is more minimized than the gray wolf optimization algorithm(GWO), whale optimization algorithm(WOA), and firefly algorithm(FA), which means that the proposed method improves routing more compared to these algorithms. The remaining energy in the network nodes in the proposed method is consumed later than the GWO, WOA, and FA algorithms, and the network life in the proposed method is more extended than these methods. The proposed method for congestion prediction has accuracy, sensitivity, and precision of 97.63%, 96.85%, and 97.19%, respectively. The use of majority voting causes the accuracy of the proposed method to increase by 6.39%, 1.42%, and 3.40%, respectively, compared to the decision tree, random forest, and multilayer artificial neural network. Experiments showed that the proposed method is more sensitive and accurate in predicting traffic congestion in selected routes from decision trees, repeated trees, random trees, and clustering methods.

Keywords- Jellyfish Search (JS) optimizer algorithm, Internet of Things(IoT), Optimization, Congestion prediction, Wireless sensor networks, Routing

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲ ، صفحه ۶۰-۷۳
دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

مسیریابی در اینترنت اشیاء با استفاده از الگوریتم جستجوی عروس دریایی

فهیم الله فیلا هومن[۱]، نیک محمد بلوچزهی*[۲]
۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
*۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
[1]fahimkohzad@gmail.com, [2*]balouchzahi@ece.usb.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

چکیده- در شبکه اینترنت اشیاء ارسال یک بسته از مبداء به مقصد و مسیریابی بهینه یک چالش اساسی است زیرا بسته‌ها باید در مسیر بهینه و با حداقل تاخیر و نرخ کمینه خطا ارسال شوند. یکی از چالش‌های این بخش عدم در نظر گرفتن مسئله ازدحام مسیرهای ارسال بسته‌ها در بیشتر پژوهش‌ها است. در این مقاله برای مسیریابی بهینه در اینترنت اشیاء یک رویکرد جدید بر اساس پیش بینی مسیر کم ازدحام و یک رویکرد انتخاب مسیر بهینه با هوش گروهی ارائه می‌شود. در روش پیشنهادی برای پیش‌بینی مسیرهای دارای ازدحام کم از یادگیری مبتنی بر رای‌گیری اکثریت شبکه عصبی، درخت تصمیم‌گیری و جنگل تصادفی استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی از الگوریتم عروس دریایی برای بهینه‌سازی مسیر ارسال بسته‌ها استفاده می‌شود. نقش الگوریتم عروس دریایی یافتن مسیرهای بهینه در شبکه با حداقل تاخیر، حداقل طول صف، حداقل خطای ارسال و بیشترین نرخ ارسال در مسیر مورد نظر است. پیاده‌سازی روش پیشنهادی در نرم‌افزار متلب انجام شده است و برای پیش بینی ازدحام از داده‌های شبیه‌سازی شده در اینترنت اشیاء استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد تابع هدف مسیریابی روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، بهینه‌سازی وال و کرم شب‌تاب از کارایی مناسب‌تری برخوردار است و این بدان است که روش پیشنهادی نسبت به این الگوریتم‌ها دارای مسیریابی کم خطاتر، با تاخیر کمتر و طول صف کمتر است. انرژی باقی مانده در گره‌های شبکه در روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، بهینه‌سازی وال و کرم شب‌تاب دیرتر مصرف می‌شود و عمر شبکه در روش پیشنهادی از این روش‌ها بیشتر است. روش پیشنهادی در پیش بینی ازدحام دارای دقت، حساسیت و صحتی به ترتیب برابر ۹۷.۶۳٪ ، ۹۶.۸۵٪ و ۹۷.۱۹٪ است. بکارگیری رای‌گیری اکثریت باعث می‌شود تا دقت روش پیشنهادی نسبت به درخت تصمیم‌گیری، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی چند لایه به ترتیب ۶.۳۹٪، ۱.۴۲٪ و ۳.۴۰٪ افزایش یابد. آزمایشات نشان داد که روش پیشنهادی در پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخاب شده از درخت تصمیم‌گیری، درختان تکراری، درختان تصادفی، روش خوشه‌بندی دارای دقت، حساسیت و صحت بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی، اینترنت اشیاء، بهینه‌سازی، پیش بینی ازدحام، شبکه‌های حسگر بیسیم، مسیریابی

۱- مقدمه

شبکه‌های کامپیوتری در چند سال اخیر موازی با صنایع در حال رشد و سایر فناوری‌های نوین مرتباً در حال تکامل و پیشرفت بوده است. امروزه انواع مختلفی از شبکه‌های کامپیوتری توسعه یافته‌اند که نمونه آن شبکه های حسگر بیسیم[۱][۱]، شبکه های بین خودرویی[۲][۲] و شبکه های اینترنت اشیاء[۳][۳] است. شبکه حسگر بیسیم به علت آنکه برای برقراری ارتباطات نیاز به زیرساخت خاصی ندارند بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و در کاربردهای مختلف نیز بکار گرفته می‌شوند. شبکه حسگر بیسیم را می‌توان شبکه‌هایی در نظر گرفت که باعث توسعه شبکه‌هایی مانند اینترنت اشیاء شده است. شبکه حسگر بیسیم دارای تعداد زیادی گره است و هر گره آن دارای تعدادی حسگر است و حسگر می‌تواند اطلاعات محیطی را دریافت نموده و آن را برای یک ایستگاه پایه ارسال نمایند. اطلاعات در ایستگاه پایه می‌تواند مورد پردازش قرار گرفته شود و الگوهای مفید آن تشخیص داده شود. شبکه حسگر بیسیم در بیشتر موارد از گره‌هایی استفاده می‌کند

که اندازه آنها گاهی خیلی کوچک بوده و از این جهت می‌توان تعداد زیادی از آنها را در محیط عملیاتی توزیع نمود تا اطلاعات محیطی کامل تر و دقیق تری را گردآوری نمایند. به جرأت می‌توان گفت که زیربنای شبکه اینترنت اشیاء بر اساس شبکه‌های حسگر بیسیم توسعه داده شده است و شبکه اینترنت اشیاء را می‌توان تکامل یافته شبکه حسگر بیسیم در نظر گرفت. شبکه اینترنت اشیاء یک شبکه بزرگ از اشیاء هوشمند است و هر شی در این شبکه دارای سخت‌افزار و اجزای هوشمند برای برقراری ارتباط با سایر اشیاء است. در این شبکه هر شی می‌تواند یک گره از شبکه ارتباطی اینترنت اشیاء باشد و گره‌ها داده‌های محیطی را از طریق حسگرهای تعبیه شده روی خود، دریافت و از طریق لایه شبکه برای لایه کاربردی ارسال نمایند. شبکه اینترنت اشیاء در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به عنوان مثال می‌توان از این شبکه‌ها برای کنترل خودروها در شبکه بین خودرویی یا شبکه حسگر بیسیم استفاده نمود. یک کاربرد مهم دیگر شبکه اینترنت اشیاء در نظارت بر محیط زیست و پدیده‌های طبیعی است. از شبکه اینترنت اشیاء می‌توان برای کنترل وضعیت و شرایط محیط‌های حادثه دیده مانند مناطق زلزله خیز استفاده نمود، یا در توسعه شهرهای هوشمند[۴]، از آن استفاده کرد. در اینترنت اشیاء بسته‌های رد و بدل شده نیاز دارند از مسیرهای بهینه بین مقصد و مبداء عبور داده شوند و ارسال باید به گونه‌ای باشد که حداقل سربار ممکن برای شبکه و گره‌های آن ایجاد شود. انتقال داده‌ها از مبدا به مقصد در شبکه اینترنت اشیاء به پروتکل مسیریابی کارآمد نیاز دارد و برخلاف پروتکل‌هایی مانند AODV که بر اساس بردارهای فاصله است، در اصل برای شبکه‌های ad hoc طراحی شده‌اند، پروتکل شبکه اینترنت اشیاء باید تمرکز بیشتری بر روی محدودیت‌های انرژی، منابع و کیفیت خدمات داشته باشد. شبکه اینترنت اشیاء با شبکه‌های بین خودرویی به خوبی تلفیق و ترکیب شده است و از این جهت می‌توان از این فناوری برای مسائل حمل و نقل هوشمند استفاده نمود. به عنوان مثال در این پژوهش[۵]، برای بررسی کارایی الگوریتم مسیریابی RPL که بر پایه پروتکل مسیریابی برای شبکه های کم مصرف و با اتلاف اندک است، تعدادی آزمایش انجام شده است و از الگوهای حرکتی تصادفی مختلف برای گره‌های شبکه استفاده نموده است و کارایی الگوریتم مورد نظر بر اساس متوسط مصرف انرژی، متوسط نسبت تحویل بسته و تعداد گام ارسال بسته‌ها بین مبداء و مقصد مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. آزمایشات نشان می‌دهد که زمانی مدل‌های حرکتی اشیاء در شبکه اینترنت اشیاء به صورت مدل تصادفی دچار تغییرات می‌شود الگوریتم مسیریابی دارای شاخص بیشتر کیفیت خدمات یا QoS است. به عنوان نمونه در پژوهش[۶]، در سال ۲۰۲۰، یک پروتکل مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء با رویکرد ایمن و افزایش کیفیت خدمات را ارائه داده اند. در این پژوهش یک روش تجزیه و تحلیل مسیریابی ایمن در زمان واقعی برای مسیریابی ایمن در زمان واقعی پیشنهاد شده است.

مسئله مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء به دلیل مقیاس بزرگ و ناهمگن بودن اشیاء در آن، یک مسئله پیچیده و چالش‌برانگیز است. مسیریابی، به فرآیندی گفته می‌شود که در آن بسته‌های حاصل از یک رویکرد در شبکه گردآوری شده و از طریق زیرساختهای موجود در شبکه و به کمک گره‌های میانی به سمت ایستگاه پایه یا محیط محاسبات ابری ارسال می‌شود. اگر پروتکلهای مسیریابی در شبکه بزرگ مانند اینترنت اشیاء به درستی عمل نکنند آنگاه اطلاعات گردآوری شده در این شبکه به کندی ارسال از مبداء به مقصد روبرو می‌شود. تاکنون انواع و روشهای مختلفی برای مسیبریابی در شبکه اینترنت اشیاء ارائه شده است اما در هیچکدام از آنها همزمان مسئله یافتن مسیر بهینه و پیش بینی ازدحام مورد بررسی قرار گرفته نشده است.

مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء مستلزم آن است که مسیرهای انتخاب شود که بهینه باشد و در این مقاله یک تابع هدف برای میزان بهینه بودن مسیر ارسال بسته‌ها تعریف می‌شود. تابع هدف دارای مولفه‌های مانند تاخیر انتها به انتها، نرخ خطا در ارسال بسته‌ها و گزارش دریافت بسته‌ها است و دو عامل اول کمینه و عامل سوم بیشینه می‌شود. مسئله مورد نظر یک مسئله بهینه‌سازی است و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جدید حل می‌شود و همزمان مسئله ازدحام و پیش بینی مسیر کم ازدحام نیز در نظر گرفته می‌شود. در روش پیشنهادی برای پیش بینی مسیرهای با ازدحام کم از پیش بینی مسیرها از نظر ازدحام با یادگیری ماشین نیز استفاده شده است.

هدف روش پیشنهادی انتخاب بهینه مسیرها برای ارسال بسته‌ها از مبدأ به مقصد در شبکه اینترنت اشیاء و استفاده از پارامترها و عوامل مختلف و تاثیرگذار در مسیریابی و فرموله کردن این پارامترها، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای افزایش کیفیت مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء، است. یک هدف دیگر روش پیشنهادی ارسال بسته‌ها در مسیرهای است که همزمان بهینه و دارای کمترین ازدحام ممکن است.

سهم نویسندگان در این مقاله به شرح ذیل است:

- یافتن مسیرهای بهینه برای ارسال بسته‌ها در اینترنت اشیاء توسط الگوریتم عروس دریایی
- پیش بینی ازدحام و انتخاب مسیرهای کم ازدحام در ارسال بسته‌ها
- ارایه یک رویکرد پیش بینی ازدحام بر اساس یادگیری مبتنی بر رای‌گیری اکثریت

مقاله مورد نظر دارای چند بخش است. در بخش دوم پیشینه تحقیق و کارهای مرتبط مرور شده است. در بخش سوم روش پیشنهادی برای مسیریابی بهینه و پیش بینی ازدحام مدلسازی شده است. در بخش چهارم روش پیشنهادی مورد پیاده‌سازی و تحلیل قرار گرفته می‌شود. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری تحقیق و پیشنهادات آتی ارایه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

شبکه اینترنت اشیاء با وجود آنکه کاربردی است دارای چالش‌های مختلفی است که یکی از آن‌ها مسیریابی بهینه بسته‌ها در این شبکه است. ارسال بسته‌ها در شبکه اینترنت اشیاء به دلیل بزرگی بیش از اندازه این شبکه و تعداد گره‌های آن یک مسئله پر چالش است. در اینترنت اشیاء اگر یک بسته بخواهد مسیر بهینه‌ای را از مبدا به مقصد طی نماید باید بر تعداد زیادی از چالش‌ها غلبه نماید. یکی از چالش‌های مهم در این حالت طول مسیر است که باید کمینه باشد. چالش مهم دیگر نیز نرخ خطای ارسال بسته‌ها از مبدا به مقصد است. با توجه به اینکه در اینترنت اشیاء تعداد زیادی گره حسگر بیسیم وجود دارد لذا نیاز است مسئله مصرف انرژی نیز در نظر گرفته شود تا طول عمر شبکه بهبود داده شود. در پژوهش[۶]، در سال ۲۰۲۰، یک پروتکل مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء با رویکرد ایمن و افزایش خدمات کیفیت را ارائه دادند. در این پژوهش یک روش تجزیه و تحلیل مسیریابی ایمن در زمان واقعی برای مسیریابی ایمن در زمان واقعی پیشنهاد شده است. این روش نه تنها استراتژی گره‌های میانی مسیر کشف شده را در نظر می‌گیرد، بلکه وجود دستگاه‌های اینترنت اشیاء و اعتماد آنها را نیز برای مسیریابی در نظر می گیرد. این روش در ابتدا لیستی از مسیرهای بین هر مبدأ و مقصد را کشف می‌کند.و در واقع برای هرگره متحرک، با در نظر گرفتن مکان، سرعت تحرک، انرژی و تعداد انتقال، لیست همسایگان قابل اعتماد برای مسیریابی ارزیابی می‌شود. آزمایشات نشان می‌دهد روش پیشنهادی کیفیت مسیریابی در شبکه را بهبود می‌بخشد و قابلیت اطمینان مسیرهای آن قابل توجه است. در پژوهش[۷]، در سال ۲۰۲۰، یک پروتکل مسیریابی تطبیقی متحرک و آگاه از ثبات برای مسیریابی داده‌ها در شبکه اینترنت اشیاء و شبکه‌های بیسیم ارائه دادند. اینترنت اشیاء یک فناوری نوآورانه است که امکان اتصال اشیاء فیزیکی را با دنیای دیجیتال از طریق استفاده از شبکه‌های ناهمگن و فن آوری‌های ارتباطی فراهم می‌کند. در پژوهش[۸]، در سال ۲۰۲۰، تجزیه و تحلیل توابع هدف الگوریتم مسیریابی RPL با استفاده از معیارهای مختلف مسیریابی برای کاربردهای اینترنت اشیاء مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی اینترنت اشیاء اتصال همه دستگاه‌های موجود و هوشمند پیرامون ما است. شبکه اینترنت اشیاء ماهیتی ناهمگن دارد، از این رو مسیریابی بسته‌های در این شبکه یک چالش بزرگ است. پروتکل مسیریابی برای شبکه کم مصرف RPL، یکی از پروتکل‌های مسیریابی کارآمد است که برای چنین شبکه‌هایی طراحی شده است. طراحی موجود این پروتکل مسیریابی برای پوشش دادن همه مسائل برنامه‌های اینترنت اشیاء کافی نیست. در این پژوهش با استفاده از معیارهای مختلف مسیریابی برای افزایش عملکرد برنامه‌های اینترنت اشیاء استفاده می‌شود. در پژوهش[۹]، در سال ۲۰۲۰، یک روش مسیریابی بهینه در شبکه اینترنت اشیاء و شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری ارائه ومعرفی نمودند. در شبکه های حسگر بی‌سیم تلفیق شده با اینترنت اشیاء، گره ها دارای منابع مختلفی می‌باشند که می‌توان به منابع محاسباتی، منابع انرژی و منابع ذخیره‌سازی اشاره نمود و نیاز است که در این نوع شبکه‌ها از پروتکل‌های مسیریابی بهینه استفاده شود تا باعث افزایش طول عمر شبکه شود. استفاده بیش از حد انرژی باعث می‌شود که عمر شبکه کاهش یابد لذا نیاز به توسعه روش‌های مسیریابی بهینه در این شبکه‌ها الزامی است. در مقاله‌ای [۱۰]، که در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است، به مسئله مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته شده است. این مطالعه یک الگوریتم تخصیص چرخه وظیفه پویا مبتنی بر فاصله[۴] را ارائه

می‌دهد. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که عملکرد استراتژی پیشنهادی به طور قابل توجهی بهتر از استراتژی‌های موجود از نظر مصرف انرژی است با این حال، در این روش فقط فاکتور فاصله برای سنجش چرخه استفاده شده است و این درحالی است که برخی لینک ها با وجود فاصله اندک از مقصد دارای نرخ خطای زیادی بوده و بهینه نمی‌باشند. در ادامه این بخش تعدادی از پژوهش‌های اخیر در زمینه مسیریابی کم مصرف مرور می‌شود.

در پژوهش[۱۶]،یک پروتکل مسیریابی تطبیقی متحرک و آگاه از ثبات برای مسیریابی داده‌ها در شبکه اینترنت اشیاء و شبکه‌های بیسیم ارائه دادند. نتایج ارائه شده از شبیه سازی نشان می‌دهد نسبت تحویل بسته در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه قابل توجه است.

در پژوهش[۱۷]،تجزیه و تحلیل توابع هدف الگوریتم مسیریابی RPL با استفاده از معیارهای مختلف مسیریابی برای کاربردهای اینترنت اشیاء را مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف نشان می‌دهد در بیشتر موارد سه معیار ETX ، محتوا و انرژی، ترکیبی با یکدیگر برای افزایش طراحی عملکرد RPL برای برنامه‌های مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء استفاده می‌شود.

در پژوهش[۱۸]، یک روش مسیریابی بهینه در شبکه اینترنت اشیاء و شبکه حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری ارائه ومعرفی نمودند. الگوریتم پیشنهادی آنها توانسته نرخ ارسال را افزایش و آن را تا حدود ۹۶.۳۸٪ افزایش دهد و از طرفی مصرف انرژیرا نیز تا حد ۲.۱۶۱ ژول کاهش داده و از این جهت نسبت به سایر روش‌ها که الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده نمی‌کنند، دارای عملکرد بهتری در مسیریابی است.

در پژوهش[۱۹]، در سال ۲۰۲۰، مروری بر روش‌های مسیریابی در اینترنت اشیاء انجام شده است. اخیرا، اینترنت اشیاء در میان دانشگاهیان، دولت ها، مهندسان و بخشهای مختلف مورد توجه قرار گرفته است. بسیاری از مسائل مهم در اینترنت اشیاء از جمله امنیت، مقیاس پذیری، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ وجود دارد که هر کدام از آنها دارای چالش‌های است که پژوهش‌های مختلفی برای رفع آنها انجام شده است. در دسترس بودن، قابلیت همکاری، عملکرد، تحرک و موارد دیگر از جمله چالش‌های مهم در شبکه اینترنت اشیاءاست. این پژوهش بر روی ارائه روش‌های مسیریابی بهینه در میان شبکه‌های مختلف مانند شبکه بی‌سیم و شبکه اینترنت اشیاء تمرکز دارد. در این پژوهش، عمده‌ترین مباحث تحقیقاتی درگیر در پروتکل های مسیریابی موجود برای تأمین نیازهای اینترنت اشیاء، در طراحی پروتکل مسیریابی و طبقه‌بندی متفاوت پروتکل‌های مسیریابی بررسی و ارائه شده است. چالش های عمده اینترنت اشیاء باید به مسئله توپولوژی پویا، مقیاس پذیری، تحرک گره‌ها و پهنای باند محدود بپردازد. این بررسی شامل انواع مختلف پروتکل های مسیریابی از قبیل واکنش پذیر، فعال، ترکیبی، آگاهی از مکان، چندپخشی، چند راهی، آگاه از انرژی و پروتکل‌های مسیریابی هندسی و سلسله مراتبی است که به طور معقولانه مورد مطالعه قرار گرفته است و شامل بحث در مورد تکنیک های مسیریابی، مزایا و معایب است و این مقایسه و ارزیابی‌ها می‌تواند کمک زیادی به محققان آینده در حوزه مسیریابی نماید. مطالعات نشان می‌دهد که بیشتر تجزیه و تحلیل پروتکل‌های مسیریابی موجود بر اساس کوتاه ترین مسیر و کمترین زمان انتقال انجام می‌شود.

در پژوهش[۲۰]، یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی و اعتماد به مسیریابی آگاهانه چندپخشی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی وال و الگوریتم بهینه‌سازی کلاغ برای برنامه‌های شبکه اینترنت اشیاء ارائه دادند. نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد، روش پیشنهادی در حضور و عدم وجود حملات با ۵۰ گره برای تجزیه و تحلیل، حداقل تأخیر ۰.۲۷۲۹ و ۰.۳۴۹۱ ، حداکثر میزان تشخیص ۰.۶۷۲۶ ، حداکثر انرژی ۶۶.۴۲۷۵ و ۷۱.۰۵۶۷ و حداکثر توان ۰.۴۶۲۵ و ۰.۸۶۴۹ را به دست آوردو نسبت به حالتی که از بهینه‌سازی استفاده نمی‌شود دارای عملکرد بهتری در مسیریابی است.

در پژوهش[۲۱]،در این مطالعه به مسئله مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که عملکرد استراتژی پیشنهادی به طور قابل توجهی بهتر از استراتژی‌های موجود از نظر مصرف انرژی است.

در پژوهش[۲۲]، پروتکل مسیریابی با بهره وری انرژی مبتنی بر الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل برای شبکه‌های اینترنت اشیاء معرفی شده است. چالش این مقاله آن است که ترکیب الگوریتم خوشه‌بندی فازی و الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل شرایط گرفتار شدن در بهینه‌های محلی و انتخاب غلط سرخوشه را به همراه دارد.

در پژوهش[۲۳]، پروتکل مسیریابی با الهام از روشهای زیستی برای شبکه حسگر بی سیم برای به حداقل رساندن مصرف انرژی ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می دهد عملکرد کلی خوشه بندی ژنتیک برای به دست آوردن مصرف بهینه انرژی بسیار امیدوار کننده است. ضعف اصلی این پژوهش در ارائه یک تابع هدف کارآمد و دقیق برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم است.

در پژوهش[۲۴]، یک رویکرد مسیریابی اینترنت اشیاء آگاه از انرژی بر اساس الگوریتم بهینه سازی ازدحام و تکنیک خوشه بندی ارایه دادند. یک تابع هزینه جدید برای پراکندگی همگن سر خوشه‌ها در این تحقیق پیشنهاد شده است و تعادل خوبی بین جستجوی اکتشاف و بهره‌برداری برای ایجاد یک پروتکل خوشه‌بندی گره بر اساس جستجوی مرغ ارائه شد. استراتژی پیشنهادی نشان داده شده است که مصرف برق را حداقل ۱۶ درصد بهبود می بخشد.

جدول ۱- مقایسه رویکردهایی پیشرفته تر مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء

پژوهش	استراتژی مسیریابی	مکانیزم	مزیت	عیب
[۱۱]	بهینه‌سازی تابع هدف	انتخاب بهینه‌تر والدها در ساختار درختی	افزایش QoS	بار محاسباتی زیادی دارد.
[۱۲]	تحمل‌پذیری خطا	افزایش پایداری مسیریابی	قابلیت اطمینان بالا دارند.	مصرف انرژی بالا، تاخیر زیاد در ارسال
[۱۳]	روشهای غیرخطی	تصمیم‌گیری غیرخطی و چند متغییره	انتخاب والدها در مسیریابی با دقت بیشتری انجام می‌شود.	هزینه بالا، عدم توازن بار ترافیکی و تاخیر نسبتاً بالا
[۱۴]	روشهای انتها به انتها	تحلیل مسیر ارسال بسته‌ها	افزایش کیفیت سرویس‌دهی	مصرف حافظه و انرژی زیاد در شبکه
[۱۵]	روشهای فراابتکاری	استفاده از روشهای با قطعیت کمتر اما بهینه‌تر	بهبود انتخاب مسیر و بهینگی بالا	مسیریابی قطعیت بالایی در این حالت ندارد و زمان ارسال افزایش می‌یابد.

در پژوهش[۲۵]، یک پروتکل مسیریابی ایمن مبتنی بر RPL با استفاده از بهینه‌ساز شعله شب پره برای برنامه‌های IoT ارایه دادند. MFO-RPL از الگوریتم گلبرگ برای انتخاب گره های بعدی پرش و تشکیل مسیر بهینه بین منبع و ریشه در نمودار استفاده می‌کند. سپس، حملات رتبه بندی در RPL با استفاده از الگوریتم Moth-Flame شناسایی می شوند تا از انتخاب گره های مخرب به عنوان والد ترجیحی جلوگیری شود. یافته‌های شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف نشان داد که MFO-RPL بسته‌های گمشده، تغییر رتبه، زمان همگرایی و حملات کمتری نسبت به طرح‌های مقایسه دارد.

در پژوهش[۲۶]، الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی چند هدفه برای مسیریابی QoS مبتنی بر اولویت کارآمد انرژی در شبکه‌های اینترنت اشیاء ارایه دادند. نتایج نشان می‌دهد که روش آنها در نظر گرفتن ترافیک شبکه، ارسال بسته‌ها، نرخ خطا، انرژی و فاصله بین گره‌ها و همچنین مسیریابی آگاه از اولویت را برای بهبود بار ترافیک، توان عملیاتی، تاخیر انتها به انتها و نسبت تحویل بسته در نظر می‌گیرد. در مسیر یابی شبکه اینترنت اشیاء تعدادی دیگر از رویکردها در جدول(۱)، در مسیریابی با هم مقایسه شده‌اند. در این جدول رویکردهای مسیریابی از نوع استراتژی، عملکرد، مزیت و چالش‌های آنها مورد بحث قرار داده شده است و در اینجا برای هر رویکرد یک مقاله مناسب در نظر گرفته شده است:

۳- روش پیشنهادی

مسئله مسیریابی در شبکه اینترنت اشیاء یک مسئله چند وجهی است که باید عوامل مختلف در آن درنظر گرفته شود. در یک الگوریتم مسیریابی کاربردی زمانی که بسته‌ها از مبداء به مقصد ارسال می‌شود در ابتدا باید یک گره مبداء که قصد دارد داده‌ها را ارسال نماید چالش‌های ذیل را در نظر بگیرد:

- گره مبداء باید یک گره را برای ارسال در نظر بگیرد که نسبت به سایر گره‌های همسایه خود کمترین نرخ خطا در گم کردن بسته‌ها را داشته باشد.
- گره مبداء باید مسیری را انتخاب نماید که تعداد گام های آن از مبداء به مقصد کمینه باشد و بسته مسیر کوتاه‌تری را طی کند.
- یک گره باید مسیرهایی را انتخاب نماید که دارای نرخ بیشینه دریافت بسته‌ها باشد.
- در یک مسیر بهینه، باید مصرف انرژی نیز کمینه باشد و از این جهت باید مسیری برای ارسال بسته‌ها انتخاب شود که باعث کاهش مصرف انرژی شود.
- تاخیر ارسال بسته‌ها در یک مسیر بهینه باید حداقل باشد و این تاخیر می‌تواند تاخیر ناشی از صف‌گذاری، تاخیر ناشی از پردازش، تاخیر انتقال و یا تاخیر انتشار باشد.

یک الگوریتم مسیریابی بهینه باید شرایطی را فراهم نماید که این عوامل در یافتن مسیر بهینه‌ی بین مبداء و مقصد لحاظ گردد. در روش پیشنهادی مسیر انتخابی باید به گونه‌ای باشد که همزمان بتواند خطای ارسال بسته‌ها، تاخیر ارسال بسته‌ها و مصرف انرژی در شبکه را کاهش دهد و از طرفی نرخ دریافت موفق بسته‌ها را بهبود بخشد و همچنین طول مسیر ارسال بسته‌ها را نیز کاهش دهد. مسئله مورد نظر در واقع دارای چند هدف اساسی است و در اینجا می‌توان یک تابع هدف اصلی را به گونه‌ای ارائه داد که همه اهداف مورد نظر را در خود داشته باشد. در این مسئله هر راه‌حل مسئله می‌تواند مسیری باشد که از گره مبدا شروع شده و به گره مقصد ختم می‌شود. مسئله مورد نظر را می‌توان یک مسئله

بهینه‌سازی در نظر گرفت که دارای چند تابع هدف است و هر راه‌حل آن یک مسیر ارسال بسته‌ها است. در این بخش یک روش پیشنهادی برای مسیریابی بهینه بر اساس الگوریتم عروس دریایی ارایه می‌شود و مسیرهای بهینه به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که دارای ازدحام کمتری باشد.

۳-۱- مکانیزم مسیریابی پیشنهادی

روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی مسیریابی مراحل ذیل در نظر گرفته شود:

- بسته‌ها می‌توانند از طریق گره‌ها و زیرساخت های شبکه و با تعدادی گام بین مبداء تا مقصد در نهایت به مقصد برسند اما هدف آن است که گره‌هایی به عنوان گره‌های میانی مسیر انتخاب شوند که تابع هدف را برآورده سازند.
- در اینجا برای ارسال بسته از یک مبدا به یک مقصد تعداد حالات زیادی می‌تواند وجود داشته باشد که در مرحله اول تعدادی از آنها به صورت تصادفی به عنوان مسیر حرکت بسته از مبداء به مقصد در نظر گرفته شده و هر مسیر در واقع یک عضو الگوریتم فراابتکاری است.
- هر مسیر یا راه‌حل ارسال بسته‌ها در شبکه توسط تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفته شده و سپس مسیر ارسال بسته‌ها اگر تابع هدف را با کاهش بیشتری مواجه نماید، مسیر مناسب‌تری است.
- الگوریتم بهینه‌سازی روی جوابهای مورد نظر اعمال شده تا راه‌حل و مسیرهای ارسال بسته‌ها به شیوه دقیق و مناسب‌تری انتخاب شود.
- مراحل مورد نظر تکرار شده و مسیرهای ارسال بسته در شبکه اینترنت اشیاء مرتباً به روز شده و با پایان شرط تکرار الگوریتم که می‌تواند یک آستانه مشخص باشد، مراحل الگوریتم تمام می‌شود و راه‌حل بهینه نهایی انتخاب می‌گردد.
- در نهایت مناسب‌ترین راه‌حل برای ارسال بسته‌ها از مبداء به مقصد انتخاب شده و بسته‌ها در این مسیر ارسال می‌شوند.
- برای ارسال بهینه بسته‌ها از الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی استفاده می‌شود.

در روش پیشنهادی مطابق چارچوب پیشنهادی یک مجموعه سناریو ایجاد می‌شود و هر سناریو تعدادی گره حسگر در شبکه پراکنده می‌شود. در ادامه یک گره برای ارسال داده‌ها و بسته‌ها به یک مقصد مشخص آماده می‌شود و تنظیم پارامترهای الگوریتم عروس دریایی انجام می‌شود و سپس تعریف تابع هدف با مولفه‌های خطا، تاخیر، مصرف انرژی و غیره انجام می‌شود. در ادامه تعدادی راه‌حل به عنوان مسیر ارسال بسته‌ها از مبداء به مقصد در نظر گرفته می‌شود و هر راه‌حل به عنوان یک عروس دریایی در نظر گرفته می‌شود. در اینجا هر مسیر ارسال بسته‌ها از مبداء به مقصد یک عضو الگوریتم عروس دریایی است و از طرفی تابع هدف هر کدام از راه‌حلها را برای ارسال بسته‌ها، ارزیابی می‌کند.

۳-۲- عوامل موثر در مسیریابی پیشنهادی

در روش پیشنهادی برای مسیریابی بهینه در شبکه چندین عامل مهم در نظر گرفته می‌شود که تعدادی از آنها به شرح ذیل است:

- تاخیر انتها به انتها : تاخیر انتها به انتها که با E2E نیز نمایش داده می‌شود و زمان بر حسب میلی ثانیه است نشان می‌دهد الگوریتم با چه تاخیری بسته ها را ارسال نموده و کاهش دادن این شاخص مناسب است و این متغییر نیز وابسته، عددی، پیوسته و بر اساس آزمایشات محاسبه می‌شود.
- نرخ گزارش دریافت بسته‌ها یا PDR: نرخ گزارش دریافت بسته‌ها که با PDR نشان داده می‌شود یک متغییر وابسته، عددی و پیوسته مهم دیگر برای ارزیابی است و اگر این شاخص بیشینه باشد می‌توان گفت که عملکرد مسیریابی بهینه‌تر می‌شود.
- نرخ خطای ارسال بسته‌ها : در اینجا نرخ خطایی است که به ازای آن بسته‌ها در شبکه ارسال و تعدادی از آنها در شبکه گم می‌شود و هر چقدر این نرخ بیشتر باشد آنگاه کیفیت خدمات شبکه کاهش خواهد یافت.
- مصرف انرژی: مقدار انرژی مصرف شده در گره‌های حسگر است و هر چقدر این شاخص کمتر باشد عمر شبکه بیشتر است.

۳-۳- فرموله نمودن تابع هدف مسیریابی

در روش پیشنهادی یک تابع هدف برای مسئله مسیریابی در نظر گرفته می‌شود که از چند زیر هدف ذیل تشکیل شده است و کمک میکند تا یک بسته از مبداء به مقصد ارسال شود.

- خطای ارسال بسته‌ها در طول مسیر ارسال بسته‌ها در شبکه که با ERR نمایش داده می‌شود باید کمینه شود.
- تاخیر ارسال بسته‌ها از مبداء به مقصد که با D نمایش داده می‌شود نیز باید کمینه شود.

- مصرف انرژی در گره‌های مشارکت کننده در مسیر یابی که با E نمایش داده می‌شود نیز کمینه شود.
- نرخ گزارش دریافت بسته‌ها از مقصد به مبداء که با R نمایش داده می‌شود باید بیشینه باشد یا معادل آن عبارت 1/R نیاز است که کمینه شود.

تابع هدف مورد نظر را می‌توان به صورت یک تابع چند هدفی و مانند معادله(۱)، فرموله نمود که هدف اصلی آن است که همه این عوامل کمینه شوند:

$$f = \begin{cases} \min ERR \\ \min D \\ \min E \\ \min \dfrac{1}{R} \end{cases} \quad (۱)$$

در ریاضیات و مسائل بهینه‌سازی اگر چند تابع مختلف مانند f_i وجود داشته باشد و تعداد آنها برابر n باشد می‌توان برای کمینه نمودن آنها از ترکیب خطی مانند معادله(۲)، استفاده نمود.

$$Cost = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 + \cdots + w_n f_n \quad (۲)$$

در این تابع n تابع هدف وجود دارد و فرض شده است که هر یک از آنها کمینه شود لذا برای کمینه‌سازی آنها می‌توان ترکیب خطی آنها را کمینه نمود به شرطی که شرط موجود در معادله(۳)، نیز وجود داشته باشد:

$$w_1 + w_2 + w_3 + \cdots + w_n = 1 \quad (۳)$$

در این رابطه، w_1 تا w_n به ترتیب ضرایب وزنی برای وزن‌دهی به توابع هدف مختلف بکار رفته است که اهمیت هر تابع و عامل را مشخص می‌نماید. در اینجا می‌توان اهداف مختلف در مسیریابی را با توجه به معادله(۱) و (۲)، به صورت معادله(۳) بازنویسی و ارائه داد:

$$Cost = w_1 . ERR + w_2 . D + w_3 E + w_4 \frac{1}{R} \quad (۴)$$

در تابع هدف مورد نظر برای تعیین مقادیر w_1 تا w_n روشهای متنوعی در نظر گرفته شده است. یکی از روشهای بکار رفته آن است که مقدار هر کدام از ضرایب بکار رفته تصادفی انتخاب شود و در نهایت مجموع آنها برابر یک شود. یک رویکرد دیگر آن است که اهمیت هر کدام از این وزن‌ها ۰.۲۵ تنظیم شود و به عبارت بهتر اهمیت همه چهار عامل در تابع هدف یکسان در نظر گرفته شود.
در اینجا می‌توان تاثیر هر عامل را برابر گرفت و رابطه(۴)، را به رابطه(۵)، بازنویسی نمود و هدف آن است که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی آن را کمینه‌یابی نمود:

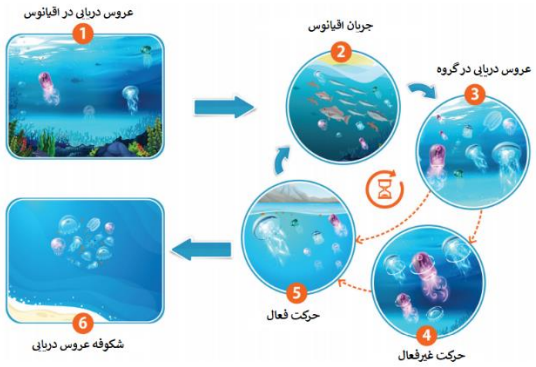
$$Cost = 0.25 \times ERR + 0.25 \times D + 0.25 \times E + 0.25 \times \frac{1}{R} \quad (۵)$$

اهداف مهم روش پیشنهادی انتخاب بهینه مسیرها در مسیریابی شبکه اینترنت اشیاء، استفاده از پارامترها و عوامل مختلف و تاثیرگذار در مسیریابی و فرموله نمودن آنها، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای افزایش کیفیت مسیریابی و استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی در حل این مسئله است.

۳-۴- مسیریابی بهینه با الگوریتم عروس دریایی

الگوریتم عروس دریایی یک الگوریتم هوش جمعی است که سال ۲۰۲۱ ارائه شده است[۱۱] و مطابق شکل(۱)، از مجموعه‌ای رفتارهای عروسهای دریایی در دریا و حرکت آنها در یک گروه الگوبرداری شده است. الگوریتم عروس دریایی دارای سه مرحله ذیل است:

- یک راه‌حل، یا عروس دریایی، یا جریان اقیانوس را دنبال می کند یا در داخل گروه حرکت می‌کند و بین این دو حالت می‌تواند به طور متناوب سوئیچ کنند.
- عروس دریایی در جستجوی غذا در اقیانوس حرکت می‌کند. آنها بیشتر جذب مکانهایی می شوند که مقداری غذای در آنها وجود دارد.
- بهینه‌ترین عروس دریایی به عنوان موقعیت تخمینی طعمه در نظر گرفته می‌شود.
-



شکل ۱- رفتارهای عروس دریایی در مدلسازی الگوریتم JSO [۱۱]

در روش پیشنهادی هر مسیر از مبدا به مقصد به عنوان یک عضو الگوریتم عروس دریایی در نظر گرفته می‌شود. در ابتدا یک جمعیت از عروس‌های دریایی تصادفی ایجاد شده و با تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفته می‌شود. از معادله(۶)، برای به روزرسانی راه‌حلها بر اساس حرکات امواج آب استفاده می‌شود[۱۱]:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + rand(0,1) \times \overrightarrow{trend} \quad (۶)$$

در این معادله، $X_i(t)$ موقعیت یک راه‌حل نظیر i در تکرار t الگوریتم و $X_i(t+1)$ موقعیت جدید راه‌حل در تکرار t+1 است.

$\overrightarrow{trend}$ در این معادله، جهت حرکت عروس دریایی یا راه‌حل مسئله است و مطابق معادله(۷)، محاسبه می‌شود.

$$\overrightarrow{trend} = X^* - \beta \times rand(0,1) \times \mu \quad (۷)$$

در این معادله، X^* بهترین عروس دریایی و μ میانگین جمعیت در عروس دریایی است و β یک ضریب همگرایی به مقدار برابر ۳ است. برای به روزرسانی مسیرها بر اساس حرکت نوع منفعل از معادله(۸)، استفاده می‌شود[۱۱]:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \gamma.rand(0,1) \times (U_b - L_b) \quad (۸)$$

در این معادله، γ ضریب حرکت عروسهای دریایی است و معمولا برابر ۰.۱ تنظیم می‌شود. U_b محدوده بالای و L_b محدوده پایین هر بعد مسئله است. برای به روزرسانی مسیرها بر اساس حرکات فعال از معادله(۹) استفاده می‌شود[۱۱]:

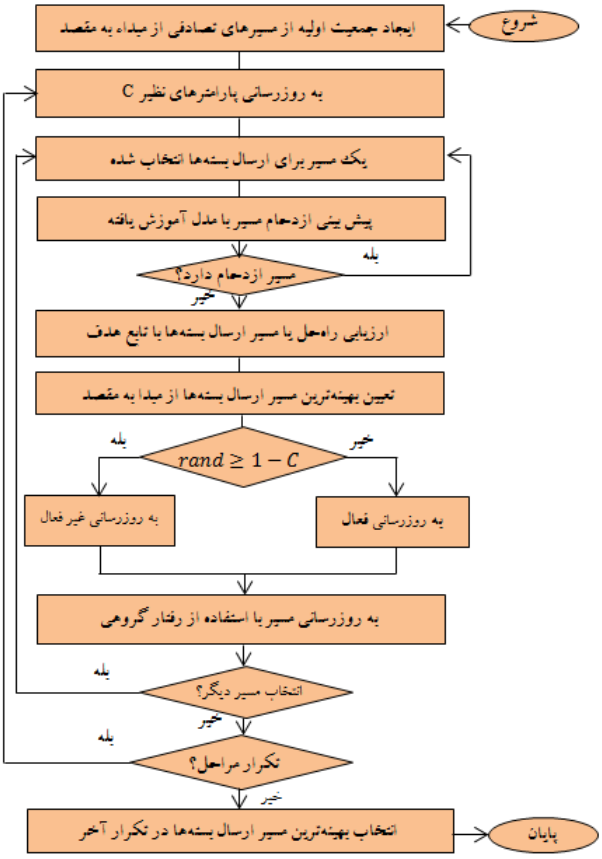
$$X_i(t+1) = X_i(t) + rand.(X_j(t) - X_i(t)) \quad (۹)$$

در حالت رفتار فعال یک عروس دریایی یا یک راه‌حل مسیریابی مانند X_i به طور تصادفی یک راه‌حل مانند X_j را انتخاب می‌کند و اگر X_j از X_i شایسته‌تر باشد به دنبال آن حرکت می‌کند. برای سوییچ کردن بین به روزرسانی بر اساس امواج آب و حرکات گروهی از معادله(۱۰)، استفاده می‌شود[۱۱]:

$$c(t) = \left|\left(1 - \frac{t}{Maxt}\right) \times (2.\text{rand} - 1)\right| \quad (۱۰)$$

t شماره تکرار فعلی الگوریتم عروس دریایی است و $Maxt$ بیشترین شمارنده الگوریتم است. اگر مقدار عدد تصادفی $c(t)$ از ۰.۵ بیشتر باشد آنگاه به روزرسانی عروس دریایی بر اساس امواج است و اگر کمتر از ۰.۵ باشد بر اساس حرکات گروهی به روزرسانی انجام می‌شود. در این حالت برای هر عروس دریایی یک عدد تصادفی تولید شده و اگر این عدد تصادفی از 1-c بیشتر باشد جستجو از نوع غیرفعال و در غیر اینصورت از نوع فعال در نظر گرفته می‌شود. در شکل(۲)، فلوچارت روش پیشنهادی برای مسیریابی پیشنهادی در شبکه اینترنت اشیاء نمایش داده شده است و دارای مراحل ذیل است:

- در ابتدا تعدادی شی هوشمند به صورت تصادفی در محیط پراکنده شده
- پارامترهای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی مانند تعداد اشیاء، برد اشیاء، مصرف انرژی، اندازه جمعیت الگوریتم JSA تنظیم و مقداردهی اولیه می‌شود.
- در این مرحله هر مسیر به عنوان یک عضو الگوریتم عروس دریایی در نظر گرفته می‌شود و هر مسیر در واقع امکان ارسال بسته‌ها از مبدا به مقصد را نشان می‌دهد.



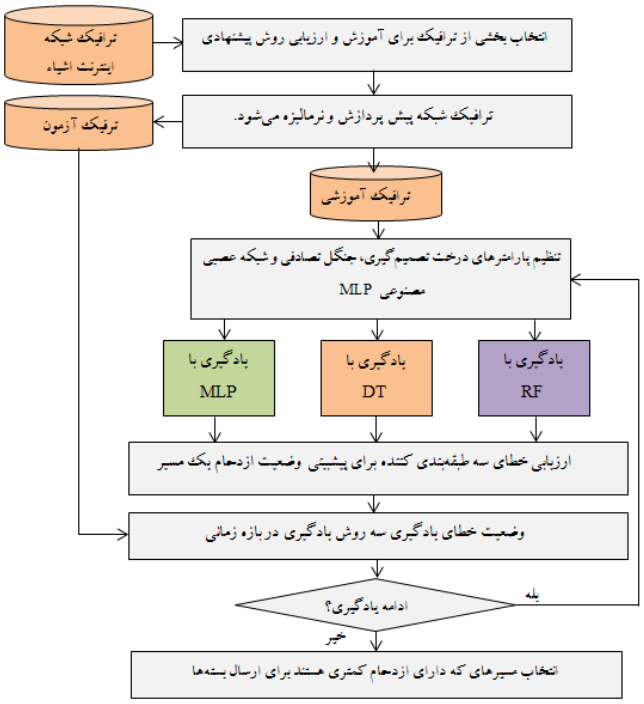
شکل ۲- فلوچارت مسیریابی بهینه پیشنهادی

- تعدادی از این مسیرها در مرحله اول تصادفی به عنوان جمعیت اولیه الگوریتم عروس دریایی ایجاد می‌شود و هر مسیر با تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفته می‌شود.
- هر مسیر در ابتدا برای آنکه توسط الگوریتم JSA مورد به روزرسانی قرار گرفته شود نیاز به پیش بینی ازدحام دارد. در اینجا مدل یادگیری ماشین مشخص می‌کند آیا مسیر ازدحام دارد یا خیر. اگر مسیر ازدحام نداشت به عنوان یک کاندید توسط الگوریتم JSA در نظر گرفته می‌شود و اگر ازدحام داشت یک مسیر دیگر تصادفی جایگزین آن می‌شود تا ازدحام آن مسیر کمتر باشد.
- هر مسیر که بتواند تابع هدف را کمینه نماید به عنوان مسیر بهینه در هر تکرار در نظر گرفته می‌شود و مسیر بهینه در واقع موقعیت غذا را نشان می‌دهد.
- یک مسیر ارسال بسته‌ها در جمعیت الگوریتم JSA انتخاب شده و برای آن یک عدد تصادفی مانند Rand ایجاد می‌شود و بر اساس این مقدار تصادفی و مقدار C که در هر تکرار به روزرسانی می‌شود می‌توان مسیر ارسال بسته‌ها را به روزرسانی نمود.

- مسیر ارسال بسته‌ها از مبدا به مقصد می‌توا ند ت حت تاثیر دو عامل فعال و غیر فعال به صورت تصادفی به روز رسانی شود.
- در هر تکرار یک عروس دریایی یا یک مسیر ارسال بسته ها می‌تواند با رفتار گروهی به روزرسانی شود.
- در هر تکرار مسیر بهینه برای ارسال بسته‌ها به روز رسانی می‌شود و در نهایت در تکرار آخر بسته‌ها روی مسیر بهی نه از مبداء به مقصد ارسال می‌شوند.

۳-۵-پیش بینی ازدحام

در روش پیشنهادی علاوه بر مسیریابی بهینه در اینترنت اشیاء یک مکانیزم کنترل ازدحام در شبکه نیز اعمال می‌شود. یک گره برای ارسال بسته‌ها از مبداء به مقصد سعی می‌کند مسیرهایی را انتخاب نماید که دارای کمترین ترافیک ممکن باشند. در اینجا مسئله مهم آن است که کدام سوئیچها یا گره‌های میانی در مسیر ارسال بسته‌ها انتخاب شوند به گونه‌ای که منجر به افزایش ازدحام در شبکه نشود. در روش پیشنهادی برای حل این مسئله از رویکرد یادگیری ماشین استفاده شده و تلاش می‌شود تا گره‌ها و سوئیچ‌های دارای ازدحام تشخیص و پیش بینی شود و بسته‌ها در مسیرهای بهینه‌تری ارسال شوند. در مسئله مورد نظر یک سوئیچ در مسیر ارسال بسته‌ها می‌تواند دارای دو حالت با ازدحام و بدون ازدحام باشد. در واقع نیاز است که روش پیشنهادی پیش بینی نماید که وضعیت گره‌ها و سوئیچ‌ها از نظر ازدحام به چه صورتی است. در روش پیشنهادی چند روش یادگیری ماشین آموزش داده می‌شود تا مشخص کنند کدام گره‌ها یا مسیرها دارای ازدحام بیشتری است. در این روش از تکنیک جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی چند لایه یا MLP و درختان تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در اینجا ورودی‌های یادگیری ماشین ویژگی‌های ترافیک شبکه مانند تاخیر یک مسیر، صف ایجاد شده در یک مسیر، نرخ گم شدن بسته‌ها در یک مسیر، نرخ ارسال موفق بسته‌ها در یک مسیر و تعدادی دیگری از این نوع ویژگی‌ها است. در روش پیشنهادی مانند شکل(۳)، از یادگیری گروهی با مکانیزم رای اکثریت استفاده می‌شود و این بدان معنا است که اگر از سه روش مورد نظر حداقل دو روش تشخیص دادند که مسیر دارای ازدحام است لذا آن مسیر از نوع مسیر ازدحام دار در نظر گرفته می‌شود. در اینجا نوعی یادگیری مشارکتی باعث می‌شود تا مسیرهای با ازدحام کمتر در اولویت باشند.



شکل ۳- مکانیزم کنترل ازدحام در روش پیشنهادی

با توجه به چارچوب پیشنهادی برای تشخیص و پیش بینی ازدحام در شبکه اینترنت اشیاء موارد ذیل بکار گرفته شده است:

- ترافیک شبکه اینترنت اشیاء برای کنترل ازدحام به عنوان ورودی یادگیری و روش پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود.
- ترافیک شبکه مورد پیش پردازش قرار گرفته و نرمالیزه می‌شود. منظور از نرمالیزه شدن آن است که مقادیر همه ویژگی‌های شبکه بین صفر و یک نرمال شود.
- داده‌ها و ترافیک شبکه به نسبت ۷۰٪ به ۳۰٪ به ترتیب به نمونه آموزشی و آزمون تقسیم می‌شوند.
- از نمونه‌های آموزشی برای آموزش تکنیک جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی و درختان تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.
- در مرحله آموزش از رای‌گیری اکثریت استفاده می‌شود به گونه‌ای که اگر از بین سه تکنیک جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی و درختان تصمیم‌گیری دو روش حداقل تشخیص دادند که یک مسیر دارای ازدحام است آن را مسیری با ازدحام پیش بینی می‌کنند.
- با داده‌های آزمون مدل مورد نظر ارزیابی شده و سپس مشخص می‌شود که روش مورد نظر تا چه اندازه دقت در پیش بینی ازدحام یک مسیر در شبکه را دارد.
- اگر مقدار دقت روش پیشنهادی در پیش بینی ازدحام اندک باشد می‌توان مدل مورد نظر را آموزش مجدد داد تا خطای آن در تشخیص حملات کاهش داده شود.

با توجه به مسیرهای پیش بینی شده می‌توان بسته‌ها را در مسیرهای ارسال نمود که دارای ازدحام کمتری باشند. هدف از یادگیری ماشین آن است که مسیرهای بهینه‌سازی شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی مورد ارزیابی قرار گرفته شوند تا مشخص شود این مسیرها تا چه اندازه دارای ازدحام می‌باشند.

۴- تجزیه و تحلیل

برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار متلب ۲۰۲۱ استفاده می‌شود و در این نرم‌افزار می‌توان انواع سناریو را پیاده‌سازی و گره‌های حسگر و اشیاء را در اینترنت اشیاء توزیع نمود. در ادامه این بخش تعدادی از آزمایشات و نتایج مقاله بررسی و با روش‌های مشابه نیز مقایسه می‌شود.

۴-۱-پارامترهای پیاده سازی

در جدول(۱)، پارامترهای پیاده‌سازی برای مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی نمایش داده شده است. مقادیر بکار رفته در جدول(۲)، بر اساس مطالعات و مقایسه با روشهای مشابه تنظیم شده است. پارامترهای الگوریتم JSA نیز بر اساس مقاله اصلی JSA تنظیم شده است.

جدول ۲- جدول پارامترهای پیاده سازی روش پیشنهادی

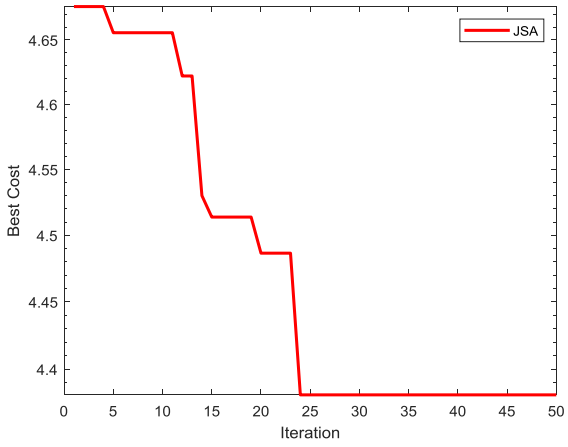
نام پارمتر	توضیح	مقدار
N	اندازه طول و عرض شبکه	۲۰۰ متر مربع
R	بر رادیویی هر گره	۱۰ تا ۱۵ متر
MaxIt	تعداد تکرار الگوریتم JSA	۵۰ بار
nPop	اندازه جمعیت الگوریتم JSA	بین ۱۰ تا ۲۰
wi	ضرایب تابع هدف	هر کدام ۰.۲۵
N	تعداد بسته‌های هر گره	تصادفی ۰ تا ۵۱۲
E	حداقل انرژی هر گره	۱۰۰۰ میلی ژول
err	نرخ خطا در هر لینک	تصادفی ۰.۰۱ تا ۰.۱
R	نرخ گزارش دریافت بسته‌ها	بین ۰.۹ تا ۰.۹۸
Test	تعداد آزمایشات	۳۰ مرتبه

۴-۲- مجموعه داده

در این پژوهش برای پیش بینی ازدحام در شبکه از داده‌های شبیه‌سازی شده در پژوهش[۱۲]، استفاده شده است و در نهایت الگوریتم پیشنهادی با نتایج این مقاله در شاخص‌های مانند صحت و حساسیت مقایسه شده است. مجموعه داده دارای ویژگی‌های مرتبط ترافیک شبکه است که از جمله آنها می‌توان به تاخیر مسیر، طول صف، نرخ گزارش ارسال بسته‌ها، توان پردازش لینک، تاخیر صف در گره، نرخ خطای گره، توان پردازش گره، میزان انرژی گره و غیره اشاره نمود.

۴-۳- تحلیل تابع هدف مسیریابی

در روش پیشنهادی یک تابع هدف برای مسیریابی بهینه ارایه و معرفی شد. کمینه‌سازی این تابع هدف نشان می‌دهد الگوریتم در حال انتخاب مسیرهای بهینه‌ای است که تاخیر در آنها کمینه باشد و از طرفی نرخ خطا و مصرف انرژی نیز در مسیرارسالی در حال کاهش باشد. در نمودار شکل(۴)، مشاهده می‌شود که مقدار تابع هدف بر حسب تکرار در حال کاهش است و در اینجا جمعیت برابر ۱۰ تنظیم شده است.



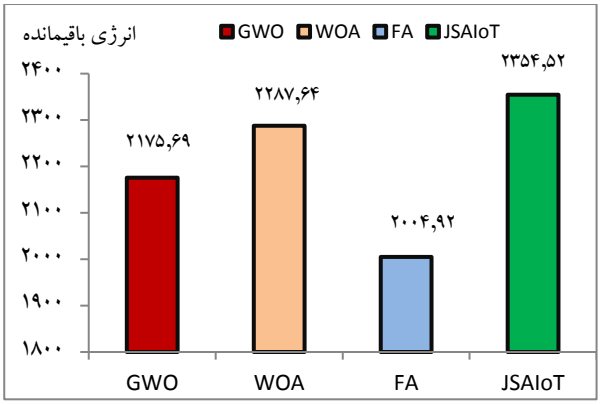
شکل ۴- کاهش یافتن تابع هدف انتخاب ویژگی بر حسب تکرار در مسیریابی

این کاهش نشان دهنده انتخاب مسیرهای بهینه توسط الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی در شبکه اینترنت اشیاء است. الگوریتم‌های فرابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی بشدت به اندازه جمعیت خود وابسته می‌باشند. در اینجا هر مسیر ارسال بسته‌ها از مبدا به مقصد به عنوان یک عضو الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی در نظر گرفته می‌شود. اگر اندازه جمعیت اولیه افزایش داده شود آنگاه شانس یافتن مسیر بهینه نیز افزایش خواهد یافت و این موضوع را می‌توان با تحلیل تابع هدف مورد بررسی قرار داد.

۴-۳- تحلیل مصرف انرژی

یک شاخص مهم برای مسیریابی بهینه آن است که الگوریتم مورد نظر انرژی مصرفی کمتری داشته باشد. اگر آزمایشات را به تعداد ۳۰ مرتبه تکرار نمود و مقدار متوسط انرژی باقیمانده در روش پیشنهادی[۵] را می‌توان محاسبه نمود و سپس می‌توان آن را با الگوریتم‌های مشابه مقایسه و ارزیابی کرد. در نمودار شکل(۵)،

مقدار انرژی باقیمانده در شبکه اینترنت اشیاء با مسیریابی بهینه با الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری[۶]، الگوریتم بهینه‌سازی وال[۷] و بهینه‌سازی کرم شب‌تاب[۸] مقایسه شده است و هر کدام از این الگوریتم‌ها در متلب پیاده‌سازی و نتایج با هم مقایسه شده است. با توجه به آزمایشات انجام شده و شرایط یکسان در نظر گرفته شده مقدار انرژی باقیمانده در این روش پیشنهادی، الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، الگوریتم بهینه‌سازی وال و بهینه‌سازی کرم شب‌تاب بعد از ۲۰ مرحله اجراء به ترتیب به طور متوسط برابر ۲۳۵۴.۵۲، ۲۱۷۵.۶۹، ۲۲۸۷.۶۴ و ۲۰۰۴.۹۲ میلی ژوال است.



شکل ۵-مقایسه انرژی باقیمانده در گره های شبکه

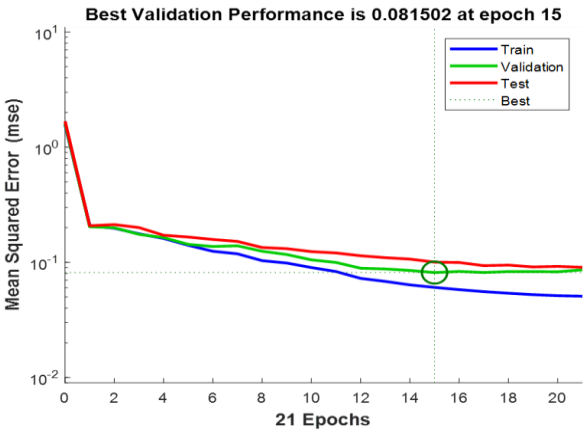
با توجه به ارزیابی و مقایسه می‌توان گفت که در بین روش‌های مورد نظر روش پیشنهادی دارای بیشترین انرژی باقیمانده در شبکه است و بدترین عملکرد نیز مرتبط با الگوریتم کرم شب‌تاب است که انرژی باقیمانده گره‌ها را با سرعت بیشتری مصرف می‌کند. روش پیشنهادی مصرف انرژی کمتری در مسیریابی دارد و این کاهش مصرف انرژی باعث می‌شود که انرژی گره‌ها در شبکه دیرتر خالی شود و عمر شبکه نیز افزایش یابد. در بین روش‌های مورد مقایسه الگوریتم بهینه‌سازی وال بعد از روش پیشنهادی بهترین عملکرد را حفظ انرژی شبکه نیز دارد.

۴-۴- پیش بینی ازدحام

در این بخش به بررسی مسئله کنترل ازدحام در مسیریابی پیشنهادی پرداخته می‌شود. در ابتدا نمونه خروجی‌های یادگیری ماشین برای پیش بینی مسیرهای دارای ازدحام نمایش داده می‌شود و در ادامه شاخص‌های ارزیابی برای این مسئله معرفی می‌شود. در نهایت با انجام آزمایشاتی روش پیشنهادی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته شده و سپس با روشهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته می‌شود.

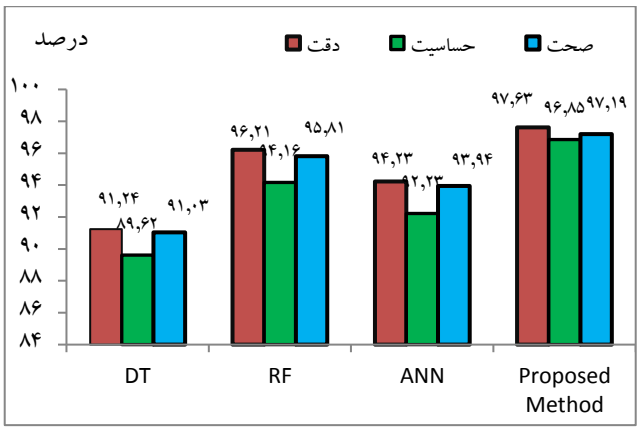
در روش پیشنهادی برای پیش بینی وضعیت ازدحام در شبکه اینترنت اشیاء و مسیرهای بهینه توسط الگوریتم عروس دریایی از شاخص دقت[۹]، حساسیت[۱۰] و صحت[۱۱] استفاده می‌شود.

روشهای یادگیری ماشین را می‌توان با این ویژگی‌ها آموزش داد. و غیره است. در شکل(۶)، یک نمونه از فرآیند یادگیری در شبکه عصبی به عنوان یک عامل یادگیری بر اساس رای‌گیری اکثریت نشان داده شده است. در اینجا ۷۰٪ از داده‌ها آموزشی و ۱۵٪ داده‌ها آزمون و ۱۵٪ دیگر داده‌ها از نوع اعتبارسنجی است. لایه خروجی شبکه عصبی نیز می‌تواند دو حالت داشته باشد که به ترتیب نشان می‌دهد مسیر مورد نظر دارای ازدحام است یا بدون ازدحام است.



شکل۶- کاهش یافتن خطای پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخابی با آموزش شبکه عصبی مصنوعی چند لایه

در این نمودار مشاهده می‌شود که با آموزش شبکه عصبی مصنوعی خطای پیش بینی ازدحام در یک لینک یا مسیر در حال کاهش است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی در این آزمایش به خطای در حدود ۰.۰۸۱۵ رسیده است. برای محاسبه خطای نهایی این طبقه‌بندی کننده نیاز است که آزمایشات به تعداد مشخص نظیر ۵۰ مرتبه تکرار شده و متوسط خطا در همه این آزمایشات ملاک قرار گرفته شود. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد روش پیشنهادی[۱۲] در شاخص دقت، حساسیت و صحت مطابق نمودار شکل(۷)، از روشهای یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم‌گیری[۱۳]، جنگل تصادفی[۱۴] و شبکه عصبی[۱۵] در پیش بینی ازدحام مسیرهای انتخاب شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی دقیق‌تر است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد روش پیشنهادی در شاخص حساسیت و صحت نسبت به روشهای یادگیری سه‌گانه در پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخابی موفق‌تر است.

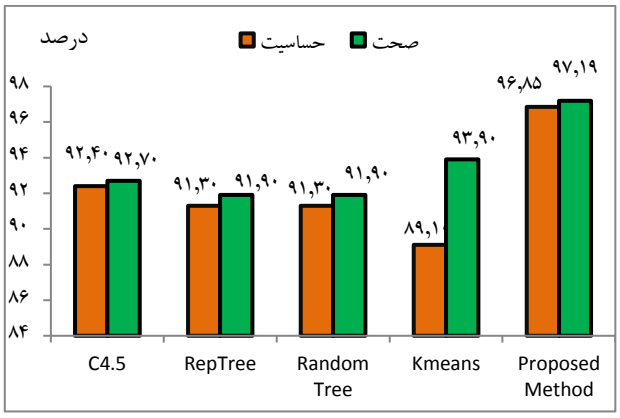


شکل ۷- مقایسه دقت، حساسیت و صحت در پیش بینی ازدحام

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که دقت روش پیشنهادی، شبکه عصبی چند لایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم‌گیری در پیش بینی ازدحام به ترتیب برابر ۹۷.۶۳٪، ۹۴.۲۳٪، ۹۶.۲۱٪ و ۹۱.۲۴٪ است. در بین روش‌های مورد نظر بیشترین شاخص دقت در پیش بینی ازدحام ترافیک مسیرهای انتخابی مرتبط با روش پیشنهادی است و بدترین عملکرد نیز مرتبط با درخت تصمیم‌گیری است. حساسیت هر یک از روش‌های مورد نظر برای پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخاب شده به ترتیب برابر ۹۶.۸۵٪، ۹۲.۳۳٪، ۹۴.۱۶٪ و ۸۹.۶۲٪ است. شاخص صحت برای پیش بینی ازدحام در روش‌های مورد نظر نیز به ترتیب برابر ۹۷.۱۹٪، ۹۳.۹۴٪، ۹۵.۸۱٪ و ۹۱.۰۳٪ است. در بین روش‌های مورد نظر شاخص حساسیت و صحت روش پیشنهادی نیز از شبکه عصبی چند لایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم‌گیری در پیش بینی ازدحام ترافیک شبکه موفق‌تر است.

روش پیشنهادی در فاز مسیریابی و ازدحام را می‌توان با روش‌های مرتبط در این حوزه مورد مقایسه قرار داد. در اینجا روش پیشنهادی با نتایج پژوهش[۱۲]، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته شده است. تحلیل نموداری شاخص حساسیت و صحت پیش بینی ازدحام روش پیشنهادی با روش‌های مورد مقایسه در نمودار شکل(۸) نمایش داده شده است.

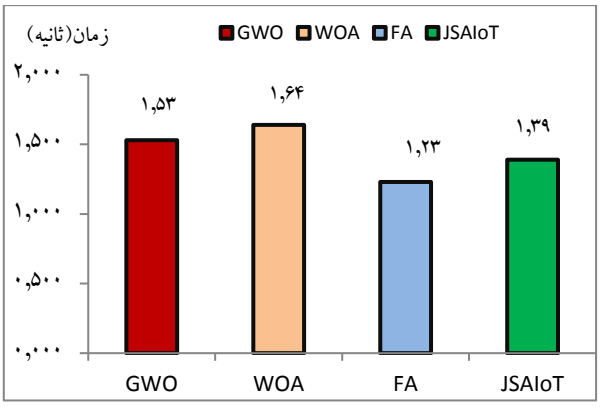
در این پژوهش روش‌های درخت تصمیم‌گیری[۱۶]، درختان تکراری[۱۷]، درختان تصادفی[۱۸] و روش خوشه‌بندی[۱۹] با روش پیشنهادی برای پیش بینی ازدحام مسیرهای کشف شده مورد مقایسه قرار گرفته شده است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که شاخص حساسیت روش درخت تصمیم‌گیری، درختان تکراری، درختان تصادفی، روش خوشه‌بندی و روش پیشنهادی در پیش بینی ازدحام ترافیک شبکه به ترتیب برابر ۹۲.۴٪، ۹۱.۳٪، ۹۱.۳٪، ۸۹.۱٪ و ۹۶.۸۵٪ است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد شاخص صحت روش درخت تصمیم‌گیری، درختان تکراری، درختان تصادفی، روش خوشه‌بندی و روش پیشنهادی به ترتیب برابر ۹۲.۷٪، ۹۱.۹٪، ۹۱.۹٪، ۹۳.۹٪ و ۹۷.۱۹٪ است.



شکل ۸- مقایسه حساسیت روش پیشنهادی در پیش بینی ازدحام مسیریابی

۴-۵- تحلیل پیچیدگی زمانی

الگوریتم JSA یک الگوریتم با سه جستجوی اصلی مبتنی بر امواج آب، جستجوی فعال و جستجوی غیر فعال است از این جهت انتظار می‌رود که فاقد پیچیدگی زیادی باشد. در نمودار شکل(۹)، زمان اجرای الگوریتم JSA با الگوریتم‌های WOA، GWO، FA مورد مقایسه قرار گرفته شده است.



شکل ۹-مقایسه زمان بهینه سازی مسیریابی

آزمایشات نشان می‌دهد زمان بهینه‌سازی مسیریابی در روش پیشنهادی با پردازنده اینتل ۴ هسته‌ای و حافظه ۴ گیگابایت برابر ۱.۳۹ ثانیه است و زمان اجرای الگوریتم گرگ خاکستری، الگوریتم وال و الگوریتم کرم شب‌تاب به ترتیب ۱.۵۳، ۱.۶۴ و ۱.۲۳ ثانیه

است. روش پیشنهادی اندکی از الگوریتم کرم‌شب تاب زمان اجرای بیشتری دارد اما نسبت به الگوریتم وال و گرگ خاکستری زمان کمتری در یافتن مسیر بهینه دارد.

۵- نتیجه گیری

یکی از چالش‌های مهم در شبکه اینترنت اشیاء مسئله مسیریابی بهینه در این شبکه‌ها است. در بیشتر موارد تعداد گره‌ها و اشیاء در اینترنت اشیاء به قدر کافی بزرگ است که گراف مسیریابی نیز بزرگ شده و روش‌های سابق و سنتی نمی‌توانند بخوبی مسیریابی بهینه را عملیاتی نمایند. مسئله مسیریابی یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده و چند وجهی است و باید موارد و اهداف مختلفی را در آن در نظر گرفت تا مسیرهای بهینه با حداقل تاخیر، طول صف اندک و نرخ خطای اندک پیدا شود. یک مسئله مهم که در بیشتر پژوهش‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، مسئله کنترل ازدحام روی مسیرهای انتخاب شده است لذا در این مقاله مسئله ازدحام مسیرهای کشف شده در کنار بهینه‌سازی با الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی نیز مورد مدلسازی قرار گرفته می‌شود. در روش پیشنهادی برای مسیریابی بهینه از الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی استفاده می‌شود تا تابع هدف مسیریابی بهینه شود. برای کنترل ازدحام در شبکه نیز یک مکانیزم پیش بینی با استفاده از یادگیری ماشین با رای‌گیری اکثریت ارایه شده است. در روش پیشنهادی از مکانیزم یادگیری رای اکثریت با روش‌های مانند جنگل تصادفی، درخت تصمیم‌گیری و شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود تا مسیرهای ارسال بسته از نظر نوع ازدحام پیش بینی شود.

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد، با افزایش تعداد مسیرهای اولیه در الگوریتم مسیریابی، کیفیت مسیریابی بیشتر شده اما زمان اجرای الگوریتم نیز افزایش خواهد یافت. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم بهینه‌سازی وال، بهینه‌سازی گرگ خاکستری و الگوریتم کرم شب‌تاب مسیریابی بهینه‌تری ارایه می‌دهد. خطای پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخاب شده بر حسب یادگیری روش پیشنهادی در حال کاهش است. دقت روش پیشنهادی، شبکه عصبی چند لایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم‌گیری در پیش بینی ازدحام در مسیرهای انتخاب شده به ترتیب برابر ۹۷.۶۳٪، ۹۴.۲۳٪، ۹۶.۲۱٪ و ۹۱.۲۴٪ است. حساسیت پیش بینی ازدحام مسیرهای انتخاب شده توسط روش پیشنهادی، شبکه عصبی چند لایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم‌گیری به ترتیب برابر ۹۶.۸۵٪، ۹۲.۳۳٪، ۹۴.۱۶٪ و ۸۹.۶۲٪ است. روش پیشنهادی، شبکه عصبی چند لایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم‌گیری در پیش بینی ترافیک کم ازدحام شبکه دارای صحتی به ترتیب برابر ۹۷.۱۹٪، ۹۳.۹۴٪، ۹۵.۸۱٪ و ۹۱.۰۳٪ است. روش پیشنهادی در انتخاب مسیرهای بهینه نسبت به درخت تصمیم‌گیری، درختان تکراری، درختان تصادفی، روش خوشه‌بندی دارای حساسیت و صحت بیشتری است و مسیرهای را انتخاب می‌کند که دارای ازدحام کمتری است.

بکارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید برای مسیریابی در اینترنت اشیاء، استفاده از مسیرهای برای ارسال بسته‌ها که کمتر مورد حملات قرار گرفته می‌شوند و بکارگیری یادگیری عمیق در پیش بینی مسیرهای بهینه و کم ازدحام از پیشنهادات آتی است.

مراجع

[1] Sahoo, B. M., Pandey, H. M., & Amgoth, T. (2021). GAPSO-H: A hybrid approach towards optimizing the cluster-based routing in wireless sensor network. Swarm and Evolutionary Computation, 60, 100772.

[2] Srivastava, A., Prakash, A., & Tripathi, R. (2020). Location based routing protocols in VANET: Issues and existing solutions. Vehicular Communications, 23, 100231.

[3] Vaiyapuri, T., Parvathy, V. S., Manikandan, V., Krishnaraj, N., Gupta, D., & Shankar, K. (2021). A Novel Hybrid Optimization for Cluster-Based Routing Protocol in Information-Centric Wireless Sensor Networks for IoT Based Mobile Edge Computing. Wireless Personal Communications, 1-24.

[4] Aljohani, S. L., & Alenazi, M. J. (2021). MPResiSDN: Multipath Resilient Routing Scheme for SDN-Enabled Smart Cities Networks. Applied Sciences, 11(4), 1900.

[5] Kabilan, K., Bhalaji, N., Selvaraj, C., Kumaar, M., & Karthikeyan, P. T. R. (2018). Performance analysis of IoT protocol under different mobility models. Computers & Electrical Engineering, 72, 154-168.

[6] Sathyaraj, P., & Devi, D. R. (2020). Designing the routing protocol with secured IoT devices and QoS over Manet using trust-based performance evaluation method. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 1-9.

[7] Serhani, A., Naja, N., & Jamali, A. (2020). AQ-Routing: mobility-, stability-aware adaptive routing protocol for data routing in MANET–IoT systems. Cluster Computing, 23(1), 13-27.

[8] Solapure, S. S., & Kenchannavar, H. H. (2020). Design and analysis of RPL objective functions using variant routing metrics for IoT applications. WIRELESS NETWORKS.

[9] Chouhan, N., & Jain, S. C. (2020). Tunicate swarm Grey Wolf optimization for multi-path routing protocol in IoT assisted WSN networks. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 1-17.

[10] Shah, I. K., Maity, T., & Dohare, Y. S. (2020). Algorithm for energy consumption minimisation in wireless sensor network. IET Communications, 14(8), 1301-1310.

[11] Chou, J. S., & Truong, D. N. (2021). A novel metaheuristic optimizer inspired by behavior of jellyfish in ocean. Applied Mathematics and Computation, 389, 125535.

[12] Najm, I. A., Hamoud, A. K., Lloret, J., & Bosch, I. (2019). Machine learning prediction approach to enhance congestion control in 5G IoT environment. Electronics, 8(6), 607.

[13] Xie, Y., Wang, S., Wang, B., Xu, S., Wang, X., & Ren, J. (2021). Online algorithm for migration aware Virtualized Network Function placing and routing in dynamic 5G networks. Computer Networks, 194, 108115.

[14] Malathy, S., Jayarajan, P., Hindia, M. H. D., Tilwari, V., Dimyati, K., Noordin, K. A., & Amiri, I. S. (2021). Routing constraints in the device-to-device communication for beyond IoT 5G networks: a review. Wireless Networks, 27(5), 3207-3231.

[15] Huang, S. Y., Yang, H. T., & Chao, H. C. (2021, November). Efficiently Vehicle Route Planning based on Metaheuristic Algorithm in 5G. In 2021 International Symposium on Intelligent

Signal Processing and Communication Systems (ISPACS) (pp. 1-2). IEEE.

[16] Serhani, A., Naja, N., & Jamali, A. (2020). AQ-Routing: mobility-, stability-aware adaptive routing protocol for data routing in MANET–IoT systems. Cluster Computing, 23(1), 13-27.

[17] Solapure, S. S., & Kenchannavar, H. H. (2020). Design and analysis of RPL objective functions using variant routing metrics for IoT applications. WIRELESS NETWORKS.

[18] Chouhan, N., & Jain, S. C. (2020). Tunicate swarm Grey Wolf optimization for multi-path routing protocol in IoT assisted WSN networks. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 1-17.

پاورقی‌ها:

[1] Wireless Sensor Network (WSN)

[2] Vehicular ad hoc Network (VANET)

[3] Internet of Things (IoT)

[4] Distance-based dynamic duty-cycle allocation (DBDDCA)

[5] JSAIoT

[6] GWO

[7] WOA

[8] FA

[9] Accuracy

[10] Sensitivity

[11] Precision

[12] Proposed method

[13] DT

[14] RF

[15] ANN

[16] C4.5

[17] RepTree

[18] Random Tree

[19] K Means