

Optimal Determination of Cooperative Nodes in Multi-hop Wireless Networks Based on Game Theory

Fahimeh Rashid Jafari¹, Nahideh Derakhshanfard², Behrooz Shahrokhzadeh³, Ali Ghaffari⁴

¹ PhD student Department of Computer and Information Technology, Faculty of Electrical, Computer and Medical Engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran. fahimeh.rj2013@gmail.com

² Assistant Professor, Computer Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (Correspondence: n.dfard@gmail.com)

³ Assistant Professor, Department of Computer and Information Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. bshahrokhzadeh@qiau.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Computer Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. a.ghaffari@iaut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Receive: 07 June 2025

Revise: 02 August 2025

Accept: 30 August 2025

Available online: 23 September 2025

Keywords:

game theory
genetic algorithm
multi-hop wireless networks
relay node
cooperative node.

ABSTRACT

Wireless multi-hop networks are networks in which communications are not constant, and packets delivery occurs hop-by-hop through a group of relay nodes. One of the primary challenges in these networks is routing and ensuring cooperation among relay nodes over long distances with short transmission range. Previous methods have tackled routing issues by utilizing cooperative nodes. Most of these methods consider cooperative nodes either as a group for the entire network or determine them for each source node based on specific characteristics, Such as node neighborhood or movement history, etc. However, due to the dynamic nature of wireless multi-hop networks and intermittent communications, issues such as high delay and low packet delivery ratio remain, which reduce network performance. This paper proposes a method in which a group of nodes is selected as cooperative nodes relative to a specific destination node. In the proposed method, a genetic algorithm is used to determine the cooperative nodes for each destination node. In the first step, a bargaining game is employed to generate the initial population. Then, a group of nodes is selected as cooperative nodes using the genetic algorithm, and routing is performed based on these nodes. Simulation results and comparison with previous methods indicate that the proposed method improves performance by reducing average delay by approximately 15%, increasing the packet delivery ratio by around 16%, and reducing network overhead by about 12%.

Cite this article: Rashid Jafari, F., Derakhshanfard, N., Shahrokhzadeh, B., & Ghaffari, A. (2025). Optimal Determination of Cooperative Nodes in Multi-hop Wireless Networks Based on Game Theory. *Electronic and Cyber Defense*, 13(3), 87- 98. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1404.13.3.5.4>



© The Author(s). retain the copyright and full publishing rights
Publisher: Imam Hossein University

تعیین بهینه گره‌های همکار در شبکه‌های بی‌سیم چند گامی بر اساس نظریه بازی‌ها

فهمیه رشید جعفری¹؛ ناهید درخشان فرد²؛ بهروز شاهرخ زاده³؛ علی غفاری⁴

¹ دانشجوی دکتری، گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

fahimeh.rj2013@gmail.com

² استادیار، مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول: n.dfard@gmail.com)

³ استادیار، گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. bshahrokhzadeh@qiau.ac.ir

⁴ دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. a.ghaffari@iaut.ac.ir

چکیده	مشخصات مقاله
شبکه‌های بی‌سیم چند گامی شبکه‌هایی هستند که ارتباطات در آن‌ها دائمی نبوده و تحویل بسته‌ها به‌صورت گام‌به‌گام از طریق مجموعه‌ای از گره‌های بازپخش انجام می‌شود. یکی از چالش‌های اصلی این شبکه‌ها، مسیریابی و اطمینان از همکاری میان گره‌های بازپخش در فواصل طولانی با برد انتقال کوتاه است. روش‌های قبلی برای حل مشکلات مسیریابی از گره‌های همکار استفاده کرده‌اند. بیشتر این روش‌ها گره‌های همکار را یا به‌صورت گروهی برای کل شبکه در نظر می‌گیرند یا برای هر مبدأ بر اساس ویژگی‌های خاص آن، مانند همسایگی گره‌ها یا تاریخچه حرکتی و غیره تعیین می‌کردند. با این وجود، به دلیل ماهیت پویای شبکه‌های بی‌سیم چند گامی و ارتباطات متناوب، مشکلاتی نظیر تأخیر زیاد و نسبت تحویل پایین بسته‌ها همچنان باقی‌مانده است که کارایی شبکه را کاهش می‌دهد. در این مقاله، روشی پیشنهاد می‌شود که در آن گروهی از گره‌ها به‌عنوان گره‌های همکار نسبت به یک گره مقصد خاص انتخاب می‌شوند. در روش پیشنهادی، برای تعیین گره‌های همکار هر گره مقصد، از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. در گام اول، از بازی چانه‌زنی برای تولید جمعیت اولیه بهره گرفته می‌شود. سپس، گروهی از گره‌ها به‌عنوان گره‌های همکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شوند و مسیریابی بر اساس این گره‌ها انجام می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی و مقایسه با روش‌های قبلی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با کاهش میانگین تأخیر در حدود 15٪، افزایش نسبت تحویل بسته‌ها در حدود 16٪ و کاهش سربار شبکه در حدود 12٪ عملکرد بهتری دارد.	تاریخچه مقاله: نوع مقاله: علمی - پژوهشی دریافت: 17 خرداد 1404 بازنگری: 11 مرداد 1404 پذیرش: 08 شهریور 1404 ارائه آنلاین: 01 مهر 1404 کلیدواژه‌ها: نظریه بازی‌ها الگوریتم ژنتیک شبکه‌های بی‌سیم چند گامی گره بازپخش گره همکار

استناد: رشید جعفری، فهمیه، درخشان فرد، ناهید، شاهرخ‌زاده، بهروز و غفاری، علی. (۱۴۰۴). تعیین بهینه گره‌های همکار در شبکه‌های بی‌سیم چندگامی براساس نظریه بازی‌ها. پدافند الکترونیکی و سایبری، ۱۳(۳)، ص ۸۷-۹۸.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1404.13.3.5.4>

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.



ناشر: دانشگاه جامع امام حسین(ع).

OPEN ACCESS

1. مقدمه

در عصر شبکه‌های هوشمند و پویا که مسئله ارتباطات به یک مسئله حیاتی تبدیل شده است. پروتکل‌های مسیریابی کارآمد برای انتقال داده، ضروری است. شبکه‌های بی‌سیم چند گامی^۱، زیر بخشی از اینترنت اشیاء هستند که معمولاً دارای ارتباطات و اتصالات متناوب هستند و انتقال بسته‌ها توسط گره‌های بازپخش صورت می‌گیرد [1]. از این رو مسئله مسیریابی یکی از چالش‌های اصلی در این شبکه‌ها است که در این مقاله به آن پرداخته شده است. نمونه‌ای از این شبکه‌ها را می‌توان در شبکه‌های خودرویی [2] و موردی متحرک [3]، شبکه‌های زیرآبی [4] و مراقبت‌های بهداشتی و سلامتی [5] مشاهده نمود. از مشخصه‌های شبکه‌های بی‌سیم چند گامی این است که این نوع شبکه‌ها معمولاً دارای برد (محدوده) کوتاه ارسال و مسافت‌های طولانی بین فرستنده و گیرنده هستند، لذا برای ارسال داده از مبدأ به مقصد و تأمین نیازهای قابلیت اطمینان، لازم است که مسیریابی به صورت گام‌به‌گام و با همکاری گره‌های شبکه صورت بگیرد [1]. بنابراین، نحوه ارتباط گره‌ها و انتخاب مناسب گره‌های میانی به عنوان گره همکار برای هدایت بسته‌ها از مبدأ به مقصد مهم است. با توجه به ماهیت این نوع شبکه‌ها که در مسافت‌های طولانی کاربرد دارند، استفاده از کمترین تعداد گره در هر گام برای بازپخش به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی ضروری است. در بیشتر کارهای موجود تمامی گره‌هایی که یک شبکه چند گامی را تشکیل می‌دهند، همکار فرض شده‌اند. ایراد این روش‌ها سربار زیاد مسیریابی به دلیل جلورانی‌های متعدد و غیرضروری بسته‌ها است. هم‌چنین ممکن است در شبکه، گره‌هایی با اهداف و انگیزه‌های مختلف در جهت رسیدن به سود شخصی و یا ایجاد نابسامانی در شبکه باشند که منجر به بروز حالت خودخواهی شده و در نتیجه، این عدم همکاری باعث ایجاد مشکل در مسیریابی و افت عملکرد شبکه گردد [2]، [6]. بنابراین لازم است تعدادی از گره‌ها که بیشترین احتمال تحویل بسته‌ها به مقصد را دارند به عنوان گره‌های همکار تعیین شوند. هدف دیگر این پژوهش، استفاده از گره‌های میانی برای همکاری به عنوان گره بازپخش^۲ مقصد است. در بیشتر کارهایی که قبلاً در این زمینه انجام گرفته است انتخاب گره‌های بازپخش و همکار نسبت به موقعیت مکانی گره مبدأ بوده است [7]، [8] ولی در این پژوهش، انتخاب گره‌های همکار نسبت به گره مقصد انجام می‌پذیرد. با توجه به اینکه در این مقاله برای تعیین گره‌های همکار از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. این الگوریتم در ابتدا نیاز به یک جمعیت اولیه از گره‌ها دارد، برای بهره‌وری بیشتر روش به جای تشکیل تصادفی جمعیت اولیه از نظریه بازی‌ها [9] برای

تشکیل جمعیت اولیه، استفاده شده است. موارد مهمی که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود عبارت‌اند از:

- استفاده از نظریه بازی‌ها برای تعیین جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک
- استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تعیین گره‌های همکار گره‌های مقصد
- مسیریابی گره‌ها در شبکه‌های بی‌سیم با رویکرد گام‌به‌گام بر اساس گره‌های همکار

این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است. در بخش 2 کارهای مرتبط پیشین ارائه شده است در بخش 3 روش پیشنهادی خود را ارائه می‌شود، در بخش 4 نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود و بخش آخر به نتیجه‌گیری روش پیشنهادی اختصاص یافته است.

2. کارهای مرتبط

در شبکه‌های بی‌سیم چند گامی و شبکه‌های موردی متحرک^۳، گره‌ها برای ارسال بسته‌ها به مقصد موردنظر متکی به همسایگان همتای خود هستند. نرخ موفقیت در ارتباطات در این شبکه‌ها منوط به همکاری تمامی گره‌ها در شبکه است تا بسته‌ها را به یکدیگر منتقل کنند. با این حال، به دلیل وجود گره‌هایی با انگیزه‌ها و اهداف مختلف، تضمین همکاری کامل ممکن نیست و هدف ارتباطات به دست نمی‌آید. به همین خاطر بسیاری از رویکردهای تشویق به همکاری پیشنهاد شده‌اند که به طور کلی از رویکردهای مبتنی بر انگیزه و مبتنی بر مجازات تشکیل شده‌اند. این طرح‌ها شامل چندین مؤلفه از جمله مکانیسم‌های نظارت و به کار بردن الگوریتم ژنتیک و نظریه بازی‌ها هستند که برای ارائه روش‌های مؤثر برای تشخیص و مدیریت رفتار گره‌های خودخواه در شبکه، بهینه‌سازی می‌شوند تا نقاط ضعف ممکن، قبل از پیدا کردن راه‌حل‌ها شناسایی شوند. در [9] به بررسی کاربرد الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل خوشه‌بندی و مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازد. در این روش، پس از خوشه‌بندی، ارتباطات بین حسگرها مدل‌سازی می‌شوند و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسیریابی و انتخاب خوشه‌ها باهدف کاهش مصرف انرژی به کار گرفته می‌شود. در [10] مطالعه مروری در شبکه‌های بی‌سیم چند گامی انجام گرفته است و خلاصه‌ای از مکانیسم‌های محرک همکاری موجود در این شبکه‌ها ارائه شده است، همچنین مسائلی مانند قضاوت نادرست و توطئه گره‌ها مورد بحث قرار می‌دهد و ریشه این نوع مشکلات را بررسی می‌کند. مقاله [11] یک سیستم پاداش و تشویقی برای ارتقاء ارتباطات چند گامی در شبکه‌های خودرویی با استفاده از یادگیری تقویتی^۴ طراحی کرده است که بر اساس عملکرد شبکه است. یعنی خودروها با ارتباطات موفق بیشتر، پاداش‌هایی دریافت می‌کنند که به اجرای این

³ MANET

⁴ Reinforcement Learning

¹ Wireless Multi-Hop Networks

² Relay Node

در شبکه‌های حسگر زیرآبی با استفاده از استراتژی بهینه‌سازی گرگ خاکستری ارائه می‌دهد. هدف، ایجاد مسیرهای انرژی کارآمد برای انتقال داده و افزایش طول عمر شبکه در محیط پیچیده زیرآب است. این روش با الهام از ساختار سلسله‌مراتبی گرگ‌های خاکستری، فرآیند انتخاب سرگروه‌ها را بهبود می‌بخشد و باعث کاهش قابل توجه مصرف انرژی و طول عمر شبکه و حفظ منابع زیرآبی می‌گردد. مقاله [18] یک پروتکل مسیریابی چند گامی و خوشه‌بندی آگاه از انرژی با سینک متحرک پیشنهاد داده است. هدف، کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی شبکه است. این روش از الگوریتم ازدحام تونیکیت برای انتخاب سرخوشه و مونتاژ خوشه استفاده می‌کند و از منطق فازی نوع 2 برای انتخاب بهینه مسیرهای چند گامی با پارامترهای ورودی متعدد استفاده می‌شود. مقاله [19] در مورد مسیریابی توسط گره‌های حسگر و جمع‌آوری داده‌ها در یک شبکه بی‌سیم باهدف بهبود عملکرد کشاورزی مانند کنترل دقیق دما و رطوبت و سلامتی محصول است. در این روش یک پروتکل مسیریابی پویا و چند گامی مبتنی بر نظریه بازی ائتلافی بهینه یافته گرگ خاکستری معرفی شده است. در این روش، مصرف انرژی، تأخیر انتها به انتها و توان در جهت مدیریت مؤثر کشاورزی، بهبود یافته است. مقاله [20] در مورد توزیع اطلاعات در شبکه حسگر بی‌سیم و انتقال آن‌ها به سینک است. در روش پیشنهادی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات سیستم ایمنی برای به حداقل رساندن انرژی و بهبود طول عمر شبکه استفاده شده است. در این روش از یک سیستم ترکیبی از بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها با انرژی کارآمد و مطمئن بر اساس پروتکل مسیریابی و الگوریتم خوشه‌بندی انرژی کارآمد مبتنی بر نظریه بازی استفاده شده است. مقاله [21] در مورد مسیریابی چند گامی مبتنی بر نظریه بازی خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای کم کردن مصرف انرژی است. با خوشه‌بندی حسگرها و انجام بازی برای انتخاب گره سرخوشه باعث بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. فاکتورهای مؤثر برای شناسایی مسیرهای بهینه شامل مرکزیت گره، فاصله گره تا ایستگاه پایه و انرژی باقیمانده گره است. مقاله [22] در مورد مسیریابی چند گامی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر است. در این روش، مدیریت مسیریابی و تشخیص گره دارای بافر خالی انجام می‌گیرد و سپس روشی ارائه شده است که در صورت پر بودن بافر گره، بسته دریافتی جایگزین کدام یکی از بسته‌های داخل بافر شود که از اهمیت و اولویت کمتری برخوردار است. برای تصمیم‌گیری از نظریه بازی‌ها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدیریت بافر با این روش باعث افزایش نسبت تحویل و کاهش میانگین تأخیر و نسبت سربار شده است. مقاله [23] یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی فازی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خودرویی ارائه داده است که هدف آن کاهش

عملکرد تشویق می‌شوند و همچنین این روش باعث تشویق گره‌های خودخواه به همکاری شده است. مزایای استفاده از یادگیری تقویتی، قابلیت بهینه‌سازی و ارتقاء سامانه‌های پیچیده و همچنین بهبود ارتباطات چندگانه است. مقاله [12] در مورد همکاری بین گره‌ها برای افزایش توان عبور شبکه در اینترنت اشیاء است و یک مکانیسم برای تشخیص گره‌های خودخواه و مخرب بر اساس اعتبار و نظریه بازی پیشنهاد شده که شامل سه مرحله برای همکاری و مرحله نظارت بر عملکرد گره‌های همسایه و تحلیل همکاری آن‌ها است. در این روش با کاهش اعتبار گره‌هایی که همکاری نمی‌کنند به عنوان مجازات، گره‌ها تشویق به همکاری می‌شوند. در [13] یک الگوریتم فرا مکاشفه‌ای ترکیبی برای مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی پویا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به جهت بهره‌وری انرژی و طول عمر شبکه و بهبود عملکرد مسیریابی پیشنهاد شده است. این الگوریتم ترکیبی به نام طوفان مغزی با فرایند خوشه‌بندی مبتنی بر مالیات و تابع تناسب دارد که توانایی تطبیق با شرایط مختلف شبکه را دارا است و همچنین یک بهینه‌سازی موج آب با فرایند مسیریابی مبتنی بر تپه نوردی برای انتخاب مسیر بهینه انجام می‌شود. مقاله [14] در مورد مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم زیرآبی است که کاربرد آن در مسائلی چون تصویربرداری زیرآبی و نظارت بر تجهیزات زیرآبی و غیره است. برای این کار، پروتکل‌های مسیریابی مختلفی به منظور حل مشکلات توان عملیاتی کم، تأخیر طولانی و مصرف انرژی بالا و تصادم طراحی شده‌اند. در این روش برای حل این مسائل، مسیریابی فرصت‌طلبانه با همکاری و بر اساس بهینه‌سازی ترکیبی پیشنهاد شده است که از هوش جمعی بر پایه الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای انتخاب گره بازیخش بهینه و همکار استفاده کرده است تا به هدف انتقال داده فرصت‌طلبانه مطمئن دست یابد. در مقاله [15] به مطالعه مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم زیرآبی می‌پردازد و یک الگوریتم آشوب بهبود یافته کريل هرد (میگو) را معرفی می‌کند. هدف آن دستیابی به بهره‌وری انرژی در مسیریابی چند گامی است. با استفاده از خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم فرا ابتکاری، مسیرهای بهینه به مقصد را مشخص می‌کند. تابع تناسب شامل چهار پارامتر یعنی انرژی باقیمانده، تأخیر، فاصله و اعتماد است. این روش به بهره‌وری انرژی و طول عمر شبکه کمک می‌کند. مقاله [16] در مورد طراحی شبکه‌های پاسخگو و سبز با تصمیم‌گیری‌های استراتژیک یا عملیاتی است. این مقاله به حل مشکل مسیریابی چند گامی و چندهدفه در وسایل نقلیه می‌پردازد که هدف به حداقل رساندن زمان سرویس و کل انتشار دی‌اکسید کربن در حمل و نقل است که از الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب استفاده می‌کند که منجر به ارائه راه‌حل‌های خوب در زمان‌های محاسباتی رقابتی می‌گردد. مقاله [17] رویکرد جدیدی برای پروتکل‌های مسیریابی

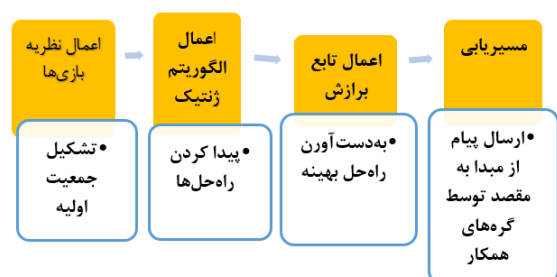
پایه دارد. مقاله [26] به مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی را در شبکه حسگر بی‌سیم پرداخته است که از الگوریتم جستجوی فاخته چندهدفه برای تعیین گره‌های بهینه سرخوشه و تعیین شعاع بهینه برای هر خوشه استفاده شده است. همچنین از یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر نظریه بازی‌ها به منظور تعیین مسیرهای بهینه جهت ارسال داده به سمت ایستگاه پایه استفاده شده است. این روش علاوه بر کاهش مصرف انرژی باعث جلوگیری از ترافیک در سطح شبکه و توزیع بار مؤثر شده است. برخی از این روش‌ها در جدول (1) آورده شده است.

مصرف انرژی و بهبود طول عمر شبکه است. مقاله [24] در ارتباط با شبکه‌های اجتماعی یک روش ابتکاری برای کشف اجتماعات پیچیده پویا با تمرکز با بیشینه‌سازی معیار اهمیت ارائه داده است. این روش باعث بهبود در دقت شناسایی روابط پیچیده در شبکه‌های اجتماعی و زمان کمتر آن در مقایسه با سایر طرح‌ها شده است. در مقاله [25] چالش مصرف انرژی در اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گرفته است و یک رویکرد انرژی آگاه برای مسیریابی ارائه داده است که از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بهبود یافته با تئوری آشوب برای زمان‌بندی خواب‌وبیداری گره‌ها استفاده کرده است. این روش کارایی بهتری نسبت به طرح‌های

جدول (1). کارهای مرتبط

مرجع	روش	اهداف	مزایا	معایب	نویسندگان و سال انتشار
11	استفاده از یادگیری تقویتی در طراحی یک سیستم پاداش	ارتقای ارتباطات چند گامی	بهبود ارتباطات چند گامی و اطلاعات ایمنی و ترافیکی	مشکلات زمان و تأخیر	شان و همکاران 2023
12	مکانیسم تشخیص گره‌های خودخواه و مخرب بر اساس اعتبار و نظریه بازی	همکاری گره‌ها برای افزایش توان عبور شبکه در اینترنت اشیا	کاهش نرخ خطاهای مثبت - افزایش دقت تشخیص گره‌های غیر نرمال	سربار عملیاتی و محاسباتی	سولماز نوبهاری و همکاران 2019
16	طراحی شبکه پاسخگو و سبز با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری	حل مشکل مسیریابی چند گامی در خودروها	به حداقل رساندن زمان سرویس و انتشار کل دی‌اکسید	هزینه و سربار	عوام و همکاران 2024
17	بهبود مسیریابی چند گامی با کمک الگوریتم فرا مکاشفه‌ای بهبود یافته برای خوشه‌بندی	انتخاب سرخوشه‌ها و مسیرهای بهینه به مقصد	بهره‌وری در انرژی و افزایش طول عمر شبکه	سربار و هزینه	گان سن و همکاران 2024
18	کنترل خوشه‌بندی آگاه از انرژی و پروتکل مسیریابی چند گامی	استفاده از الگوریتم ازدحام تونیکا برای انتخاب سرخوشه و منطق فازی	کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی شبکه	سربار محاسباتی	Subramani و همکاران 2022
21	مسیریابی چند گامی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم	به حداقل رساندن مصرف انرژی با نظریه بازی‌ها	بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	سربار هزینه	گوپتا و همکاران 2022
22	مسیریابی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر با نظریه بازی	مدیریت بافر در مسیریابی	افزایش نرخ تحویل - کاهش میانگین تأخیر - کاهش سربار	هزینه زمانی و محاسباتی	بتول کریم زاده و همکاران 2024

درحالی‌که روش‌های قبلی بر اساس ویژگی‌های شبکه و گره تعیین می‌کردند. گام‌های روش پیشنهادی به ترتیب زیر است. گام 1: تشکیل جمعیت اولیه بر اساس نظریه بازی‌ها - گام 2: اعمال الگوریتم ژنتیک - گام 3: اعمال تابع برازش و به دست آوردن راه‌حل نزدیک به بهترین جواب - گام 4: مسیریابی بر اساس راه‌حل به دست آمده، که در ادامه به توضیح هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود. در شکل (1) دیاگرام بلوکی روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل (1). دیاگرام بلوکی روش پیشنهادی

3. روش پیشنهادی

مسئله مهمی که در چالش مسیریابی به صورت گام به گام وجود دارد استفاده از گره‌های میانی به عنوان بازپخش برای هدایت و ارسال پیام از مبدأ به مقصد است. در این حالت، اگر تمامی گره‌ها برای مسیریابی استفاده شود سربار مسیریابی زیاد خواهد شد برای این منظور نیاز است که فقط عده خاصی از گره‌ها که بیشترین احتمال تحویل بسته‌ها به مقصد را دارند به عنوان گره همکار تعیین شوند. همان‌طور که در بخش 2 مشاهده شد روش‌های قبلی برای تعیین گره‌های همکار توسط الگوریتم‌های فرا مکاشفه‌ای، جمعیت اولیه را به صورت تصادفی انتخاب می‌کردند و این کار باعث افزایش تأخیر در مسیریابی می‌گردید برای حل این مسئله در این مقاله، برای اولین بار جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک را بر اساس نظریه بازی‌ها انتخاب کردیم که باعث شد کارایی روش پیشنهادی بیشتر شود، همچنین گره‌های همکار هر گره به صورت اختصاصی و نسبت به گره مقصد تعیین می‌شود

ماتریس ۱ ماتریس ۲ ماتریس K

$$\begin{matrix}
 & \text{گره} & 0 & 1 & 2 & \dots & m \\
 \text{گره} & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \\
 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \\
 & 2 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 & m & 1 & 1 & 0 & \dots & 1
 \end{matrix}
 \quad
 \begin{matrix}
 & \text{گره} & 0 & 1 & 2 & \dots & m \\
 \text{گره} & 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\
 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 \\
 & 2 & 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 & m & 0 & 1 & 1 & \dots & 1
 \end{matrix}
 \quad
 \dots
 \quad
 \begin{matrix}
 & \text{گره} & 0 & 1 & 2 & \dots & m \\
 \text{گره} & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\
 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \\
 & 2 & 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 & m & 0 & 0 & 1 & \dots & 1
 \end{matrix}$$

جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک

$$\begin{matrix}
 & \text{گره} & 0 & 1 & 2 & \dots & m \\
 \text{گره} & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\
 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\
 & 2 & 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 & m & 1 & 0 & 1 & \dots & 1
 \end{matrix}$$

شکل (2). الف. اشکال ماتریسی اجرای نظریه بازی و الگوریتم ژنتیک

گره 0 1 2 3 . . . m

1	0	0	1	.	.	.	1
---	---	---	---	---	---	---	---

همکار غیرهمکار

گره ۱	گره ۳	.	.	.	گره m
1	1	1	1	1	1

شکل (2). ب. آرایه نهایی مجموعه گره‌های همکار

3-2. بازی چانه‌زنی

بازی چانه‌زنی^۵ یا مذاکره، یک نوع بازی است که در مواقعی که افراد باید توافقی را در مورد تقسیم یک منبع یا مزیت انجام دهند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع بازی معمولاً در مواردی از جمله توزیع منابع مالی، تقسیم وراثت، مذاکرات تجاری و موارد مشابه به کار می‌رود. یک بازی مذاکره ممکن است به صورت نظریه گونه (مطالعه بازی نظریه) یا در مواقع واقعی و عملی رخ دهد. در بازی مذاکره نظریه گونه، افراد به صورت تصویری یا به طور معمول با استفاده از نمایش‌های ریاضی و مدل‌های بازی‌های نظریه با یکدیگر مذاکره می‌کنند. در مواقع واقعی، افراد واقعی در معاملات و مذاکرات شرکت می‌کنند. در بازی مذاکره، افراد تعیین می‌کنند که چگونه منابع یا مزایا مشترک را تقسیم کنند. هر فرد ممکن است به دنبال بهره‌وری حداکثری خود باشد و در عین حال باید مدنظر دیگران را نیز در نظر بگیرد. این بازی ممکن است به صورت همکاری آمیز یا رقابتی رخ دهد و در نهایت به توافق یا عدم توافق منجر شود. در شکل (3) شمای کلی بازی

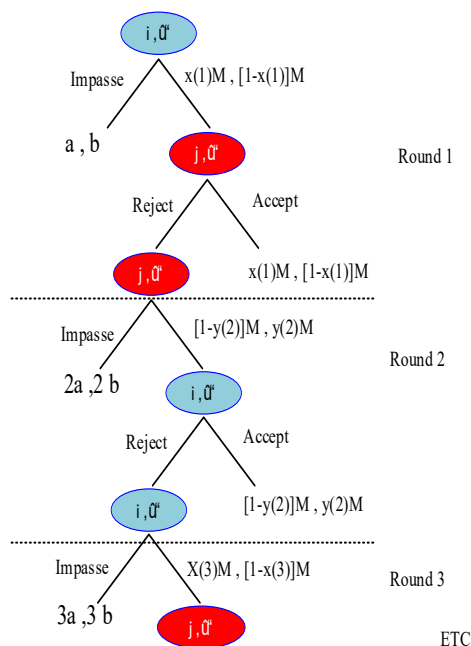
3-1. تشکیل جمعیت اولیه

در روش پیشنهادی در شبکه بی‌سیم چند گامی در ابتدا برای تولید جمعیت اولیه از نظریه بازی‌ها استفاده می‌شود. در اینجا چون مسئله دارای ماهیت تصمیم‌گیری و رقابتی است به نظر می‌رسد که استفاده از نظریه بازی‌ها راهکار مناسبی باشد. برای این کار از بازی چانه‌زنی در بین تمامی گره‌های شبکه به صورت دوطرفه استفاده می‌شود. پس هدف از این کار در ابتدا تعیین گروه گره‌های همکار و سپس، مسیریابی بر اساس گره‌های مشخص شده است. تعیین گروه گره‌های همکار دارای دو مرحله است:

- مرحله اول به صورت توزیع شده بین تمامی گره‌های موجود در شبکه برای به دست آوردن ماتریس جمعیت اولیه با استفاده از نظریه بازی.
- مرحله دوم به صورت متمرکز تعیین گره‌های همکار بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

الگوریتم ژنتیک نوعی الگوریتم فرا مکاشفه‌ای است که با شبیه‌سازی فرایند طبیعی تکامل به دنبال راه‌حل نزدیک به بهینه می‌گردد. بعد از تشکیل جمعیت اولیه، با استفاده از عملگرهای ترکیب، جهش، انتخاب و اعمال تابع برازش، لازم است که بهترین راه‌حل پیدا شود. اگر جمعیت جدید، شرایط خاتمه را برآورده کند، الگوریتم به پایان می‌رسد. در غیر این صورت الگوریتم وارد نسل بعدی می‌شود [9]. اشکال ماتریسی و جمعیت اولیه در شکل (2) (الف و ب) نشان داده شده است.

⁵ Bargaining Game



شکل (۳). بازی چانه‌زنی

3-3. تابع برازش

برای مسئله مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم به‌صورت چند گامی، هدف ما یافتن مسیریابی مناسب بین گره‌های مختلف شبکه است که در این پژوهش هدف، پیدا کردن گره‌های همکار مناسب در مسیریابی به‌عنوان بازپخش بسته نسبت به مقصد است. تابع برازش در یک الگوریتم ژنتیک به‌عنوان معیار کارایی برای تعیین اینکه ژنوم‌های کدام یک از جمله بهترین هستند، عمل می‌کند [28]. در مسئله مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم، تابع برازش باید به تابع هدفی تبدیل شود که ما بهینه‌سازی آن را در الگوریتم ژنتیک انجام می‌دهیم. تابع برازش در این مسئله، ویژگی‌های زیر را مورد ارزیابی قرار می‌دهد: 1- کیفیت مسیر: برای ارزیابی یک مسیر باکیفیت بین مبدأ و مقصد معیارهایی مانند تأخیر^۶، پهنای باند^۷، از دست رفتن داده در نظر گرفته می‌شود و طبق فرمول (1) محاسبه می‌شود.

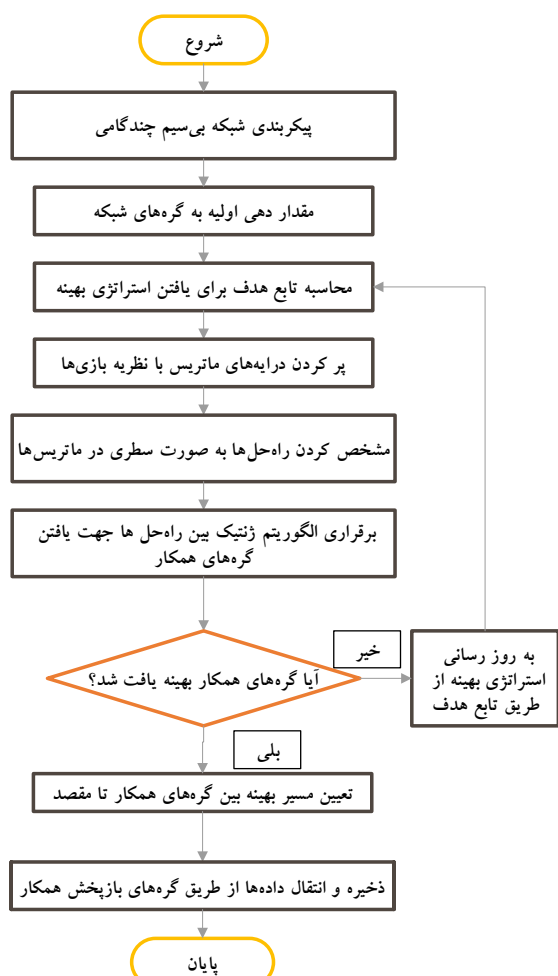
$$Quality(p) = [\alpha * (1/Delay) + \beta * Bandwidth] \quad (1)$$

که در اینجا α و β وزندهی‌های مناسبی برای تأخیر و پهنای باند هستند. 2- پایداری مسیر: به دلیل تغییرات مکرر شبکه و گره‌ها، مسیریابی باید پایدار باشد. برای ارزیابی پایداری مسیر، می‌توان از معیارهایی مانند تغییرات تأخیر در طول زمان یا تغییرات توان

چانه‌زنی نشان داده‌شده است. گره (i)، با گره (j) وارد بازی می‌شود. در دور اول گره i با پیشنهاد $x(1)M$ برای خود و $[1-x(1)]M$ به گره j دو حالت متصور است یا پیشنهادی که ارائه می‌دهد از طرف بازیکن دوم یا همان گره j پذیرفته‌شده و یا رد می‌شود. سود حاصل از چانه‌زنی است که در صورت توافق معامله می‌شود و در صورت رد، یک دور بازی چانه‌زنی دیگر انجام می‌شود. a و b مقادیری هستند که در صورت اختلاف و عدم توافق به هریک از طرفین اختصاص می‌یابد. اگر $a=b=0$ باشد یعنی هیچ‌کدام از طرفین به توافق نرسیدند و باهم همکار نیستند. در دور دوم این بار، بازیکن دوم یا گره j پیشنهاد $y(2)M$ برای خود و $[1-y(2)]M$ برای بازیکن اول یا گره i را می‌دهد. اگر بازیکن اول پیشنهاد را بپذیرد معامله انجام می‌شود در غیر این صورت دور سوم شروع می‌شود. چانه‌زنی به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا زمانی که معامله‌ای انجام شود و دو گره، همکار بودن یکدیگر را به هم اعلام کنند و یا توافقی حاصل نشود. حالت بن‌بست، زمانی از طرف یک بازیکن اعلام می‌شود که دیگر مایل به ادامه بازی نیست (تعطیل). در این صورت بازیکن اول، مقدار a و بازیکن دوم مقدار b، (مقادیر عدم توافق) کسب می‌کنند. پیشنهادهای بازی‌های چانه‌زنی می‌تواند به‌طور نامحدود ادامه یابد ولی در واقعیت این اتفاق نمی‌افتد. چون هر بازیکن از قبل در یک‌زمان ضرب‌الاجل ($M=0$ یا یک مهلت تاریخی) موافقت کرده‌اند و همچنین ممکن است ارزش سود حاصل از معامله در طول زمان کاسته می‌شود و به زیر $(a+b)$ برسد. بنابراین گره‌ها به‌طور منطقی سعی در افزایش سودمندی خود دارند و سود حاصل از چانه‌زنی زمانی که به‌صورت $(M > a+b)$ باشد به نفع طرفین است. به دلیل محدودیت منابع مانند انرژی گره‌ها، بازیکنان معمولاً بعد از یک مدت‌زمانی به توافق می‌رسند. سپس بازی چانه‌زنی با قطعیت تمام می‌شود [27]. در این مقاله، یک پیشنهاد متقابل برای توافق ارائه می‌شود که برای افزایش میزان همکاری در انتقال داده‌ها طراحی گردیده است. چانه‌زنی گره‌ها بر اساس معیارهای دوستی، مرکزیت و بینابینی محاسبه‌شده بین گره‌های شبکه انجام می‌گیرد. هر گره که دارای مقادیر ارزشی بالایی از نظر معیاری، نسبت به گره مقصد باشد برنده بازی و همکار گره مقصد است که از مقادیر عددی صفر و یک برای نشان دادن عدم همکاری و همکاری استفاده می‌شود.

^۶ Delay

^۷ Bandwidth



شکل (۴). فلوچارت روش پیشنهادی

جدول (۲). شبه کد روش پیشنهادی

1. Start
2. Wireless network configuration:
3. Set the number of nodes (100).
4. Initialize the network adjacency matrix randomly (network).
5. Apply game theory:
6. For each pair of nodes (i, j):
7. If node i and j are connected:
8. Assign an initial strategy to each node pair (population).
9. Execute the genetic algorithm:
10. Define the fitness function (fitness Function):
11. The fitness function evaluates the total cooperative strategies.
12. While the number of generations is less than the maximum limit:
13. Evaluate the current population using the fitness function (fitness).
14. Sort the population based on fitness scores.
15. Select the top 10% of the population as elite (elite Nodes).
16. If cooperative nodes (elite Nodes) are identified:
17. Display "Cooperative nodes found."
18. - End the algorithm.
- Else:
- Apply crossover and mutation operators to generate a new population.
- Replace the old population with the new one.
- Increment the generation count.
19. End:
- If cooperative nodes are not found after the maximum number of generations:
- Display "Cooperative nodes not found."
- End

انتقال^۸ استفاده کرد. ۳- توان مصرفی: در شبکه‌های بی‌سیم. تابع برازش باید بهینه‌سازی مصرف انرژی را مدنظر داشته باشد. برای ارزیابی مصرف انرژی، از توان مصرفی گره‌ها در مسیر و تغییرات آن‌ها استفاده می‌شود. ۴- انعطاف‌پذیری: ممکن است نیاز به انتخاب مسیرهای مختلف برای انواع مختلف داده‌ها داشته باشیم. تابع برازش باید این انعطاف‌پذیری را در نظر بگیرد. برای ارزیابی انعطاف‌پذیری، می‌توان از تعداد مسیرهای مختلف برای انتقال داده‌ها در شبکه استفاده کرد و به آن‌ها امتیاز داد. سپس تابع برازش بر اساس معیارهای مذکور وزن دهی می‌شود و الگوریتم ژنتیک برای یافتن مسیرهای بهینه با توجه به این تابع بهینه‌سازی عمل می‌کند. تطابق ژنوم‌ها با تابع برازش معیاری برای انتخاب ژنوم‌های بهتر و انجام عملیات ژنتیکی را مشخص می‌کند تا جمعیتی بهتر و نخبه ایجاد شود.

۳-۴. مسیریابی بر اساس راه‌حل به دست آمده

در این مرحله با توجه به بهترین راه‌حل‌های به دست آمده از تابع برازش و تعیین گره‌های همکار نسبت به مقصد، مسیریابی بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۴) نشان داده شده است. در ابتدا پیکربندی شبکه با تعدادی گره به صورت بی‌سیم ایجاد می‌گردد و نظریه بازی‌ها روی آن‌ها اعمال می‌شود بدین صورت که ابتدا یک جمعیت اولیه از گره‌ها تشکیل می‌شود سپس الگوریتم ژنتیک روی جمعیت اولیه اجرا می‌شود و تابع برازش روی آن‌ها اعمال می‌شود. عملگرهای انتخاب، تولیدمثل و جهش روی آن‌ها اعمال می‌شود و بدین ترتیب راه‌حل‌ها به دست می‌آیند و روی این راه‌حل‌ها دوباره الگوریتم ژنتیک اعمال می‌شود و با تکرار این کار جمعیت نخبه که همان گره‌های همکار هستند پیدا می‌شوند و مسیریابی از طریق آن‌ها به سوی مقصد انجام می‌گیرد. در جدول (۲)، شبه کد روش پیشنهادی نشان داده شده است.

^۸ Transmission power

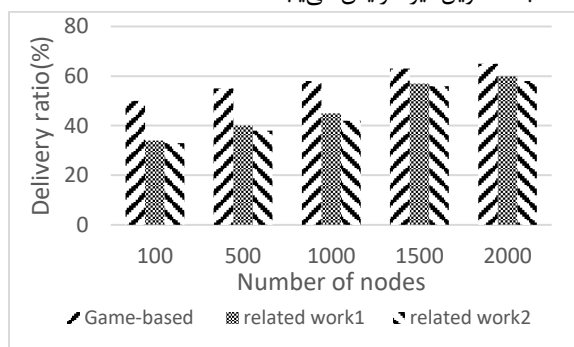
$$\text{Overhead} = \frac{\text{Total number of control packets}}{\text{The total number of packages produced}} \quad (4)$$

جدول (4). جدول نمادها

نماد	مفهوم نماد
N	تعداد گره‌ها
$t_{\text{Delivered}}$	زمان تحویل بسته به مقصد
t_{initial}	زمان ارسال بسته از مبدأ
n	کل بسته‌های ارسال شده موفق
Average Latency	میانگین تأخیر
Packet Delivery ratio	نسبت تحویل بسته

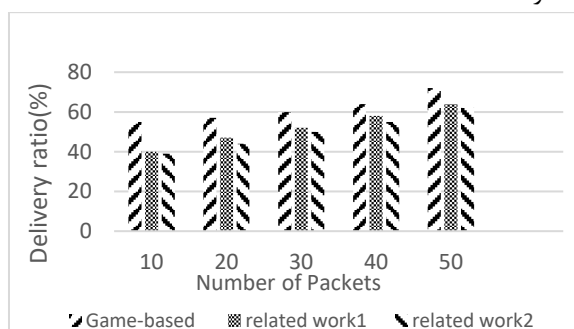
4-4. نمودارهای ارزیابی

در این بخش نمودارهای ارزیابی نشان داده شده است. شکل (5) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط، (AOMDV- و GA) و (GECR) را بر اساس معیار نسبت تحویل نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش تعداد گره‌ها با توجه به اینکه احتمال یافتن گره‌های مناسب به‌عنوان گره همکار مقصد افزایش می‌یابد، نسبت تحویل نیز افزایش می‌یابد.



شکل (5). نسبت تحویل در برابر تعداد گره‌ها

شکل (6) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط را بر اساس معیار نسبت تحویل، نسبت به تعداد بسته‌ها نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش تعداد بسته‌ها احتمال افزایش تعداد بسته‌های تحویلی در تمامی روش‌ها افزایش می‌یابد. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر بهبود بیشتری دارد.



شکل (6). نسبت تحویل در برابر تعداد بسته‌ها

4. ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی با روش‌های [3]، [9] بر اساس معیارهای نسبت تحویل، میانگین تأخیر و سربار با استفاده از شبیه‌ساز متلب ارزیابی و مقایسه خواهد شد. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (3) آورده شده است و نمادها در جدول (4) نشان داده شده است.

جدول (3). پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار	واحد
مدت زمان شبیه‌سازی	1000	sec
بازه زمانی به‌روزرسانی سناریو	0.1	sec
تعداد گره‌ها	100 – 2000	گره
طول عمر	1 – 5	روز
تعداد بسته‌ها	10 – 50	-
واسط انتقال داده	بلوتوث	-
نوع واسط بلوتوث	واسط همه پخشی	-
سرعت انتقال واسط	1	Mb/s
محدوده انتقال واسط	50	m
اندازه شبکه	4500×3400	m ²

1-4. نسبت تحویل: نسبت تحویل یکی از معیارهای اندازه‌گیری از میزان قابلیت اطمینان در پروتکل‌های مسیریابی و تشخیص گره همکار در شبکه است و طبق رابطه (2) نشان‌دهنده تعداد بسته‌هایی است که با موفقیت به مقصد تحویل داده شده است و هرچه قدر نسبت تحویل الگوریتم پیشنهادی بالاتر باشد، نشان می‌دهد که الگوریتم آن کارایی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد [3]، [29].

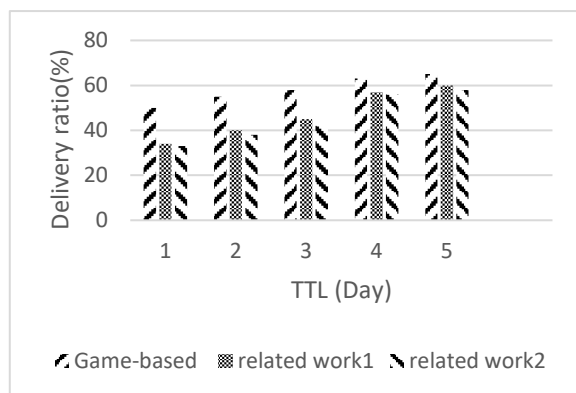
$$\text{Packet Delivery ratio} = \frac{\text{Number of Delivered}}{\text{Number of total}} \quad (2)$$

2-4. میانگین تأخیر: رخ دادن تأخیر در رسیدن بسته به گره مقصد، یکی از معیارهای اندازه‌گیری از میزان قابلیت اطمینان در پروتکل‌های مسیریابی و تشخیص گره همکار در شبکه است و رسیدن بسته تا مقصد هرچه قدر از تأخیر کمتری برخوردار باشد، نشان می‌دهد که الگوریتم آن کارایی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. طبق رابطه (3) میانگین تأخیر از مجموع اختلاف زمان تحویل بسته و زمان انتشار بسته نسبت به تعداد کل بسته‌های ارسال شده موفق به‌دست آمده می‌آید [30].

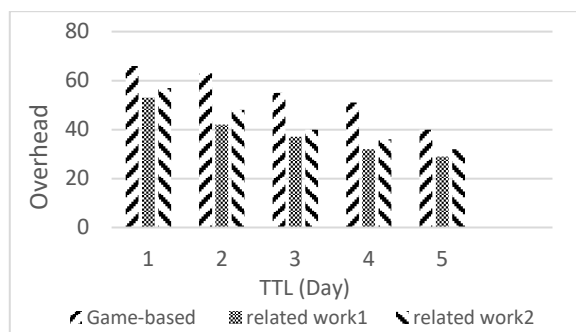
$$\text{Average Latency} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{\text{Delivered}_i} - t_{\text{initial}_i})}{n} \quad (3)$$

3-4. سربار: سربار حاصل از مسیریابی از تعداد کل بسته‌های کنترلی نسبت به تعداد کل بسته‌های تولیدشده برای کشف مسیر محاسبه می‌شود. سربار با رابطه (4) نشان داده می‌شود.

می‌کند. به دلیل اینکه تعداد ارسال‌ها و بازپخش بسته‌ها کاهش می‌یابد سربار نیز کاهشی است.



شکل (9). نسبت تحویل در برابر طول عمر بسته‌ها



شکل (10). سربار در برابر طول عمر

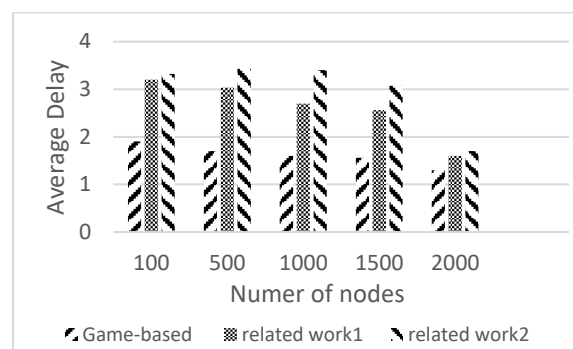
5. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش بهینه‌سازی مسیریابی برای شبکه‌های بی‌سیم چند گامی ارائه شده است. نکته مهم این روش تعیین گره‌های بازپخش همکار نسبت به گره مقصد با استفاده از الگوریتم ژنتیک است. این روش از نظریه بازی برای تعیین جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند. استفاده از الگوریتم ژنتیک ممکن است محاسبات پیچیده‌تری را در مقایسه با روش‌های ساده‌تر ایجاد کند و همچنین نیازمند پارامترهای بهینه‌سازی است ولی باین وجود، انتخاب هوشمندانه گره‌های همکار و استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهبود قابل‌توجهی در عملکرد شبکه ایجاد می‌کند. در این روش نیز می‌توان شاهد بهبود 16 درصدی در نسبت تحویل و 15 درصدی در میانگین تأخیر و 12 درصدی در سربار شبکه بود. به‌عنوان کارهای آتی می‌توان از یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ترکیبی دیگر برای تعیین گره‌های همکار نسبت به مقصد استفاده کرد.

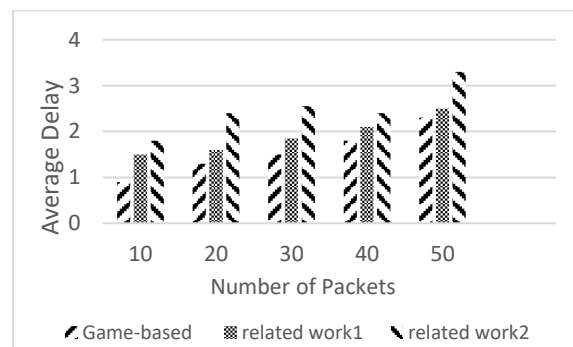
6. مراجع

شکل (7) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط را بر اساس معیار متوسط تأخیر، نسبت به تعداد گره‌ها نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش تعداد گره‌ها به دلیل افزایش اتصال‌های مابین گره‌ها میانگین تأخیر همه روش‌ها کاهش می‌یابد. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر مقدار بیشتری کاهش می‌یابد.

شکل (8) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط را بر اساس معیار متوسط تأخیر، نسبت به تعداد بسته‌ها نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش تعداد بسته‌ها به دلیل تحویل بسته‌های زیاد میانگین تأخیر همه روش‌ها افزایش می‌یابد. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر مقدار بیشتری افزایش می‌یابد.



شکل (7). میانگین تأخیر در برابر تعداد گره‌ها



شکل (8). میانگین تأخیر در برابر تعداد بسته‌ها

شکل (9) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط را بر اساس معیار نسبت تحویل، نسبت به طول عمر بسته‌ها نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش طول عمر بسته‌ها به دلیل فرصت بیشتر برای تحویل بسته‌ها، نسبت تحویل همه روش‌ها افزایش می‌یابد.

شکل (10) نمودار ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط را بر اساس معیار سربار، نسبت به طول عمر نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش طول عمر بسته‌ها، سربار کاهش پیدا

- IEEE T Cogn Commun Netw, vol. 10, no. 1, pp. 335-347, 18 September 2023. DOI: 10.1109/TCCN.2023.3316644
- [12] S. Nobahary, H. G. Garakani, A. Khademzadeh and A. M. Rahmani, "Selfish node detection based on hierarchical game theory in IoT," EURASIP J WIREL COMM, vol. 2019, pp. 1-19, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1564-4>
- [13] S. Al-Otaibi, A. Al-Rasheed, R. F. Mansour, E. Yang, G. P. Joshi and W. Cho, "Hybridization of metaheuristic algorithm for dynamic cluster-based routing protocol in wireless sensor Networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 83751 - 83761, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3087602
- [14] A. B. Gavali, V. M. Vaze and S. A. Ubale, "HOCOR: Hybrid Optimization-Based Cooperative Opportunistic Routing for Underwater Wireless Sensor Networks," WIRELESS PERS COMMUN, vol. 135, no. 3, pp. 1449-1472, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11277-024-11106-2>
- [15] P. Mohan, N. Subramani, Y. Alotaibi, S. Alghamdi, O. I. Khalaf and S. Ulaganathan, "Improved metaheuristics-based clustering with multihop routing protocol for underwater wireless sensor networks," Sensors, vol. 22, no. 4, p. 1618, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22041618>
- [16] T. Aouam, M. Oudani and M. Ghogho, "Efficient Meta-Heuristic Approach for the Multi-Objective Green p-Hub Centre Routing Problem," IEEE T EVOLUT COMPUT, 06 June 2024. DOI: 10.1109/TEVC.2024.3410517
- [17] R. Ganesan, "Meta-Heuristic Solution for Route Optimization in Underwater Wireless Sensor Networks for Marine Applications: GREY-WOLF OPTIMIZATION FOR UWSN PATH FINDING," J. SCI. IND. RES. (JSIR), vol. 83, no. 4, pp. 405-413, 2024. <https://doi.org/10.56042/jsir.v83i4.2936>
- [18] N. Subramani, S. K. Perumal, J. S. Kallimani, S. Ulaganathan, S. Bhargava and S. Meckanizi, "Controlling energy aware clustering and multihop routing protocol for IoT assisted wireless sensor networks," CONCURR COMP-PRACT E, vol. 34, no. 21, p. e7106, 2022. <https://doi.org/10.1002/cpe.7106>
- [19] B. M. Mohammed, M. Alsaadi, M. Khalaf and A. S. Awad, "Game Theory-Based Multi-Hop Routing Protocol with Metaheuristic Optimization-Based Clustering Process in WSN for Precision Agriculture," Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), vol. 57, no. 3, 2024. DOI: 10.18280/jesa.570302
- [20] H. Gunigari and S. Chitra, "Energy Efficient Networks Using Ant Colony Optimization with Game Theory Clustering," INTELL AUTOM SOFT CO, vol. 35, no. 3, 2023. DOI:10.32604/iasc.2023.029155
- [21] M. Gupta, N. Singh Aulakh and I. Kaur Aulakh, "A game theory-based clustering and multi-hop routing scheme in wireless sensor networks for energy minimization," INT J COMMUN SYST, vol. 35, no. 10, p. e5176, 2022. <https://doi.org/10.1002/dac.5176>
- [1] G. Khanna and S. K. Chaturvedi, "A Comprehensive Survey on Multi-hop Wireless Networks: Milestones, Changing Trends and Concomitant Challenges," WIRELESS PERS COMMUN, vol. 101, no. 2, pp. 677-722, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5711-8>
- [2] G. U. Rehman, M. I. U. Haq, M. Zubair, Z. Mahmood, M. Singh and D. Singh, "Misbehavior of nodes in IoT based vehicular delay tolerant networks VDTNs," MULTIMED TOOLS APPL, vol. 82, no. 5, pp. 7841-7859, 2023. DOI :10.1007/s11042-022-13624-2
- [3] A. Bhardwaj and H. El-Ocla, "Multipath routing protocol using genetic algorithm in mobile ad hoc networks," IEEE Access, vol. 8, pp. 177534-177548, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3027043
- [4] N. Subramani, P. Mohan, Y. Alotaibi, S. Alghamdi and O. I. Khalaf, "An efficient metaheuristic-based clustering with routing protocol for underwater wireless sensor networks," Sensors, vol. 22, no. 2, p. 415, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22020415>
- [5] R. A. Khan, Q. Xin and N. Roshan, "RK-energy efficient routing protocol for wireless body area sensor networks," WIRELESS PERS COMMUN, vol. 116, no. 1, pp. 709-721, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07734-z>
- [6] S. Nobahary, H. Gharace Garakani and A. Khademzadeh, "Detecting Noncooperation Nodes Mechanisms in Wireless Networks: A Survey," SECUR COMMUN NETW, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6486816>
- [7] S. Sharma, Y. Shi, Y. T. Hou, H. D. Sherali and S. Kompella, "Cooperative communications in multi-hop wireless networks: Joint flow routing and relay node assignment," in 2010 Proceedings IEEE INFOCOM, San Diego, 2010. DOI: 10.1109/INFCOM.2010.5462024
- [8] A. Unnikrishnan and V. Das, "Cooperative routing for improving the lifetime of wireless ad-hoc networks," (IJASIS), vol. 8, no. 1, pp. 17-24, Jun 2022. <https://doi.org/10.29284/ijas.8.1.2022.17-24>
- [9] T. Wang, G. Zhang, X. Yang and A. Vajdi, "Genetic algorithm for energy-efficient clustering and routing in wireless sensor networks," J SYST SOFTWARE, vol. 146, pp. 196-214, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.067>
- [10] N. Samian, Z. A. Zukarnain, W. K. Seah, A. Abdullah and Z. M. Hanapi, "Cooperation stimulation mechanisms for wireless multihop networks: A survey," J NETW COMPUT APPL, vol. 54, pp. 88-106, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.04.012>
- [11] A. Shan, X. Fan, X. Chen, Y. Ji and C. Wu, "A Reinforcement Learning Based Incentive Scheme for Multi-Hop Communications in Vehicular Networks,"

Using Multi-Objective Cuckoo Search and Game Theory," Electronic and Cyber Defense, vol. 10, no. 3, pp. 11-20, 2022. In Persian.)DOR:<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1401.10.3.2.0>

[27] Z. Zhang, J. Shi, H.-H. Chen, M. Guizani and P. Qiu, "A cooperation strategy based on Nash bargaining solution in cooperative relay networks," IEEE T VEH TECHNOL, vol. 57, no. 4, pp. 2570 - 2577, 2008. DOI: 10.1109/TVT.2007.912960

[28] M. Vaezi and M. J. Jamali, "A Novel Routing Protocol based on the Quality of Service in Wireless Sensor Networks with Hierarchical Analysis," Tabriz Journal of Electrical Eng, vol. 16, pp. 355-367, 2016.(in persian.)

[29] A. Abbasi and N. Derakhshanfard, "Determination of relay node based on fuzzy logic in delay tolerant network," WIRELESS PERS COMMUN, vol. 104, pp. 1023-1036, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-6065-y>

L. Xue, J. Liu and J. Peng, "An adaptive message ferry routing algorithm for delay tolerant networks," in 2012 IEEE 14th International Conference on Communication Technology, Chengdu, China, 2012. <https://doi.org/10.1109/ICCT.2012.6511295>

[22] B. Karimzadeh and N. Deraxshanfard, "Routing and Buffer Management Based on Game Theory in Delay Tolerant Networks," Electronic and Cyber Defense, vol. 11, no. 4, pp. 35-43, 2024. In Persian. DOR:<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.3.0>

[23] M. Azizi and A. Naseri, "A Routing Method In IoT Networks Based On Fuzzy Logic And Clustering For Intelligent Transportation," Scientific Journal of Electronic & Cyber Defense, vol. 11, no. 4, 2024. In Persian. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.11.8>

[24] A. Sarabadani, S. M. Pournaghi and K. Rahsepar, "discovery of communities in social networks of a dynamic layer with the approach of maximizing the importance," Electronic and Cyber Defense, vol. 12, pp. 43-57, 2024.(In Persian)DOR:<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.1.5.3>

[25] M. Mir, M. Yaghoobi and M. Kheirabadi, "Energy Aware Routing in the Internet of Things using improved Grasshopper Metaheuristic Algorithm," Electronic and Cyber Defense, vol. 11, no. 1, pp. 15-29, 2023. In Persian. DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.1.2.3>

[26] S. Z. Majidian and M. Shirmohammadi, "Clustering and Routing in Wireless Sensor Networks