Scientific Journal of Electronic & Cyber Defense
Vol. 11, No. 4, Winter 2023, Serial No. 44
ISSN: 2322-4347 , E-ISSN: 2980-8979

Routing and Buffer Management Based on Game Theory in Delay Tolerant Networks

N. Derakhshanfard*, B. Karimzadeh kaleibar
* Asistance Professor, Department of Computer Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
(Received: 2023/09/12, Revised: 2023/12/05, Accepted: 2024/01/02, Published: 2024/12/27)
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.3.0

ABSTRACT

Delay tolerant networks are a group of wireless networks that suffer long-term and frequent disconnections due to the scattered distribution of nodes and their movement. In these networks, which are a type of mobile networks, there may not be a connected path from the sender to the receiver, so message delivery is done by opportunistic routing based on the store, carry and Forward pattern. Routing is one of the main challenges in these networks. Routing consists of the steps of choosing a replay node, buffer management and data transmission. Various methods have been proposed to deal with the routing challenge. Most of these methods are only about replay node selection and few have discussed about buffer management and alternative packet selection. Considering that the problem of choosing an alternative package from the buffer is decision-making, it seems that using game theory can be effective in improving buffer management. In this paper, at each step of the routing process and when two nodes meet after determining the sender and receiver nodes, a method is presented that, based on game theory, decides with which packet from the receiving node's buffer if the buffer of the received packet is full, to be replaced. The simulation results of this method using THE ONE simulator show that buffer management with the proposed method increases the delivery ratio and reduces the average delay and overhead ratio .

Keywords: : Delay tolerant networks, Game theory, Routing, Buffer management.

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

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: N.dfard@gmail.com

نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال یازدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص۳۵-۴۳
شاپا الکترونیکی: ۸۹۷۹-۲۹۸۰ شاپا چاپی: ۴۳۴۷-۲۳۲۲

علمی – پژوهشی

مسیریابی و مدیریت بافر بر اساس بازی‌ها در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر

ناهید درخشان فرد [۱*]، بتول کریم‌زاده کلیبر [۲]

۱. استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران. ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز ، تبریز، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲، انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲)

DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.3.0

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

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

چکیده

شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر، گروهی از شبکه‌های بی‌سیم هستند که به دلیل توزیع پراکنده گره‌ها و حرکت آنها، قطع و وصل‌های طولانی‌مدت و مکرری را متحمل می‌شوند. در این شبکه‌ها که نوعی از شبکه‌های سیار هستند ممکن است یک مسیر متصل از فرستنده به گیرنده وجود نداشته باشد، بنابراین تحویل پیام به روش مسیریابی فرصت‌طلبانه و براساس الگوی ذخیره، حمل و ارسال انجام می‌شود. مسیریابی یکی از چالش‌های اصلی در این شبکه‌ها است. مسیریابی از گام‌های انتخاب گره بازپخش، مدیریت بافر و انتقال داده تشکیل شده است. برای مقابله با چالش مسیریابی روشهای مختلفی ارائه شده‌است. اکثر این روشها فقط در مورد انتخاب گره بازپخش بوده و تعداد کمی راجع به مدیریت بافر و انتخاب بسته‌ی جایگزین بحث کرده‌اند. با توجه به اینکه مسئله انتخاب بسته‌ی جایگزین از بافر ماهیت تصمیم‌گیری دارد به نظر می‌رسد استفاده از تئوری بازی‌ها می‌تواند در بهبود مدیریت بافر کارساز باشد. در این مقاله در هرگام از فرایند مسیریابی و در زمان ملاقات دو گره بعد از تعیین گره ارسال کننده و دریافت کننده روشی ارائه شده است که براساس تئوری بازی‌ها تصمیم گیری می‌کند که در صورت پر بودن بافر بسته‌ی دریافتی با کدام بسته از بافر گره دریافت کننده جایگزین شود. نتایج شبیه‌سازی این روش با استفاده از شبیه‌ساز THE ONE نشان می‌دهد که مدیریت بافر با روش پیشنهادی نسبت تحویل را افزایش و میانگین تأخیر و نسبت سربار را کاهش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر، تئوری بازی‌ها، مدیریت بافر، مسیریابی.

*Corresponding Author E-mail: N.dfard@gmail.com

۱. مقدمه

شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر گروهی از شبکه‌های بی‌سیم هستند که به دلیل توزیع پراکنده گره‌ها در همبندی شبکه، قطع و وصل‌های طولانی‌مدت و مکرری را متحمل می‌شوند. در این شبکه‌ها که به عنوان شبکه‌های سیار شناخته می‌شوند ممکن است یک مسیر متصل از فرستنده به گیرنده وجود نداشته باشد، بنابراین تحویل پیام بستگی به یک مسیریابی فرصت‌طلبانه و براساس ذخیره، حمل و جلورانی دارد[۱]. مسیریابی یکی از اجزای اصلی قابل‌توجهی است که بر روی عملکرد کلی شبکه برحسب مصرف منابع، تحویل داده و تأخیر تأثیر می‌گذارد[۲]. در چند سال اخیر تعدادی الگوریتم مسیریابی پیشنهاد شده است مانند، « پروتکل توزیع محتوای مبتنی بر ارتباط همتا به همتا برای شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر آگاه از انگیزه» [۳]، «سازوکار تشویقی مبتنی بر اعتبار منصفانه برای مسیریابی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر با خودخواهی گره‌ها» [۴]، « رویکرد تحویل بهینه محتوای مبتنی بر تئوری عرضه و تقاضا در شبکه‌های تحمل‌پذیر اختلال» [۵]، « پروتکل مسیریابی خوشه‌ای انرژی-کارآمد مبتنی برا تئوری بازی‌ها برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم» [۶]. که برخی از این الگوریتم‌ها مبتنی بر ارسال سیل‌آسا بوده و برخی دیگر مبتنی بر ارسال یک نسخه از پیام می‌باشند. نقطه‌ضعف اساسی الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر ارسال یک نسخه از کپی این است که نسبت تحویل پیام پایین و نرخ گم شدن پیام نسبت به الگوریتم‌های سیل‌آسا بیشتر است. در الگوریتم‌های سیل‌آسا نیز مصرف بافر بیشتر می‌باشد اما تأخیر ارسال کمتر و نسبت تحویل زیادتر می‌باشد[۸],[۷]. موضوع مهمی که در چالش مسیریابی در این شبکه‌ها وجود دارد موضوع مدیریت بافر می‌باشد. یعنی درصورت پربودن بافر تحویل بسته به چه صورت انجام خواهد شد. در این مقاله براساس تئوری بازی‌ها بین گره‌ها روشی ارائه می‌شود که براساس اهمیت بسته تصمیم گیری می‌کند که آیا بسته را دریافت کند یا دریافت نکند. بنابراین اصل قضیه مسیریابی در سمت فرستنده در شبکه‌های تحمل‌پذیرتاخیر براین مبنا استوار است که آیا بسته تحویل داده شود یا تحویل داده نشود. هردو گره ملاقات کننده دارای بافر بوده و می‌توانند تعداد مشخصی بسته را در خود نگه دارند، گام اول براساس محاسبه «احتمال تحویل» تصمیم‌گیری می‌گردد که آیا بسته تحویل داده شود و یا تحویل داده نشود. در صورت مثبت بودن جواب در گام دوم با فرض پربودن بافر با محاسبه اهمیت بسته تصمیم‌گیری برای تحویل بسته انجام خواهد گرفت، وقتی گرهی بسته‌ای را به گره بعدی پیشنهاد می‌دهد ممکن است گره بعدی در بافر خود دارای تعدادی بسته باشد، اگر بافر خالی باشد گره بسته را دریافت خواهد کرد و در بافر خود قرار می‌دهد. ولی اگر بافر دارای بسته باشد و خالی نباشد در این شرایط از تئوری بازی‌ها و اهمیت بسته‌ها استفاده می‌کنیم تا مشخص کنیم که آیا بسته‌ای که الان پیشنهاد شده است را براساس اهمیت بسته دریافت و با یکی از بسته‌های موجود جاگزین کند یا جایگزین نکند. اگر براساس اهمیت بسته به این نتیجه رسید که بسته دریافت شود براساس تئوری بازی‌ها مشخص خواهیم کرد که با کدام بسته جایگزین شود.

در تمامی چالش‌هایی که ماهیت تصمیم‌گیری دارند می‌توان از تئوری بازی‌ها استفاده کرد[۹][۱۰]. در این پژوهش برای اولین بار از تئوری بازی‌ها برای تحویل بسته و مدیریت بافر براساس اهمیت بسته در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر استفاده شده است. حرکت گره‌ها در شبکه همراه با هزینه و منفعت است، به عنوان مثال گره‌ها در نظارت و ارسال بسته‌های دیگران انرژی مصرف می‌کنند. چیزی که مشهود است این است که گره‌ها در شبکه منطقی هستند و حرکاتی که انجام می‌دهند با هدف به حداکثر رساندن منافع خودشان است مفهوم تئوری بازی‌ها در مواجهه با مسائلی که در آن منفعت[1] عوامل مساله در میان است به خوبی عمل می‌کند. در چنین محیط‌های توزیع‌شده‌ای که گره‌ها تصمیمات خودشان را می‌گیرند، منفعت به دست‌آمده نه فقط به خود گره بلکه به تصمیمات گره‌های دیگر نیز وابسته است. با توجه به وجود گره‌های منطقی در شبکه‌ی بی‌سیم، تصمیم اینکه گرهی در فرآیند ارسال بسته شرکت کند یا اینکه چگونه در مقابل حرکات دیگران عکس‌العمل نشان دهد، به خوبی می‌تواند با استفاده از تئوری بازی‌ها تحلیل شود[۱۱][۱۲].

این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش ۲ مروری از کارهای پیشین، نوشته شده است، در بخش ۳ پروتکل پیشنهادی خود را ارائه می‌دهیم، در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود و در بخش آخر از کار خود نتیجه‌گیری می‌کنیم.

۲. کارهای پیشین

پروتکل‌های انتقال داده زیادی برای شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر ارائه شده است که بطور کلی به دو دسته انتقال داده مبتنی بر همکاری[2] و انتقال داده مبتنی بر انگیزه[3] تقسیم می‌شوند. پروتکل‌های انتقال داده مبتنی بر همکاری با این فرض عمل می‌کنند که همه گره‌های شبکه برای انتقال پیام با یکدیگر همکاری می‌کنند اما درواقع ممکن است به دلیل رفتار خودخواهانه گره‌ها عملکرد ضعیفی داشته باشند، این پروتکل‌ها به سه دسته مبتنی بر محتوا، مبتنی بر ویژگیهای اجتماعی و مسیریابی سیل‌آسا تقسیم می‌شوند. روش‌های مبتنی بر انگیزه برای اطمینان از همکاری بین گره‌ها در شبکه‌های تحمل‌پذیر

[1] Payoff or utility
[2] Cooperative data forwarding
[3] Incentive-based data forwarding

تأخیر ارائه شده است. این روشها به دو دسته پروتکل‌های با نظریه بازی[۱۷]۱ و پروتکل‌های بدون نظریه بازی[۲] طبقه بندی می‌شوند. تئوری بازی الگوریتمی ابزاری ریاضی برای تدوین، تحلیل و حل موقعیت‌های راهبردی تعارض و همکاری است[۱۸]. در چنین شرایطی، استراتژی‌هایی که بازیکنان بازی می‌کنند و امتیازاتی که در ازای آن می‌گیرند به یکدیگر وابسته هستند [۳]. با درک این موضوع، بسیاری از تحقیقات، مکانیسم‌های تشویقی تئوری بازی را برای ارسال داده‌ها در *DTN* ارائه داده‌اند که در اینجا برخی از آنها را بررسی می‌شود. در پروتکل توزیع محتوا مبتنی بر ارتباط «نظیر به نظیر»[۳] در صورت نبود اینترنت، یک شبکه فرصت‌طلب محتوامحور می‌تواند توسط دستگاه‌های سیار ایجاد شود. گره‌ها ممکن است برای صرفه‌جویی در منابع باتری، بافر و پهنای باند از روی خودخواهی تمایلی به برقراری ارتباط نداشته باشند و در نتیجه باعث کاهش عملکرد شبکه شوند [۱۳]. برای افزایش همکاری گره‌های خودخواه، یک بازی قیمت‌گذاری بر مبنای افزایش انگیزه جهت بالابردن میزان علاقه در همکاری اجتماعی شبکه‌های مقاوم بر تأخیر را پیشنهاد داده است. بازی پیشنهادی براساس مدل معامله رابینشتاین است.[۴] [۳].

در پروتکل تشویقی مبتنی بر اعتبار منصفانه برای مسیریابی[۵]، شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر از مکانیسم انتقال فرصت‌طلب برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کنند، شبکه‌ی متحرک در برابر بسیاری از حملات آسیب‌پذیر است و در هنگام اجرا در دنیای واقعی با عدم همکاری برخی گره‌های خودخواه مواجه می‌شود که نیاز به مکانیسمی جهت تشخیص گره بدرفتار و ایجاد تشویق مبتنی بر اعتبار منصفانه برای مسیریابی در این نوع شبکه‌ها دارد [۴].

در الگوریتم تحویل بهینه محتوای مبتنی بر تئوری عرضه و تقاضا[۶]، شبکه‌های تحمل‌پذیر اختلال برای برنامه‌هایی که محدودیت زمانی دارند مناسب است، برای بهبود عملکرد کلی مسیریابی، باید به شیوه‌های مختلف گره‌های بازپخش را تشویق کرد تا منابع خود را به اشتراک بگذارند. در این مقاله، تئوری عرضه-تقاضا برای کاهش خودخواهی گره‌ها و ایجاد انگیزه در بین آنها بکار گرفته شده است. هرگره می‌تواند چندین پیام فرعی دریافت کند که هرکدام حاوی مزایای ویژه‌ای هستند، به این ترتیب گره‌ها برای سودآوری بیشتر، انگیزه ارسال پیام خواهند داشت [۵].

در پروتکل مسیریابی خوشه‌ای انرژی-کارآمد مبتنی بر تئوری بازی[۷]، شبکه حسگر بی‌سیم از گره‌های حسگر متعددی تشکیل شده است. که این گره‌ها، قادر به سنجش، پردازش و ارتباط داده ها هستند. اخیراً باتوجه به توسعه سریع سیستم میکروالکتریکی - مکانیکی و ارتباطات بی‌سیم، شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده و مورد توجه قرار گرفته‌اند [۶].

در مکانیسم انگیزشی مبتنی بر بازی ائتلافی برای ذخیره محتوا، یک بازی حمل‌ونقل داده ائتلاف برای شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر پیشنهاد شده است، که گره‌ها را قادر می‌سازد تا ائتلاف کرده و در انتقال داده‌ها در یک شبکه همکاری کنند. انجام این کار نه تنها بازده آنها را افزایش می‌دهد بلکه به سود یک شبکه کلی نیز می‌باشد [۸].پروتکل مسیریابی دیگری که براساس تئوری بازی‌ها در شبکه‌های بین خودرویی ارائه شده استدر مرجع [۱۹] است. این پروتکل برای خودروهای اتوماتیک ارائه شده است. پروتکل تشویقی تئوری بازی برای شبکه‌های خودرویی مبتنی بر ارتباط «همتا به همتا»۸، برای شبکه‌های بین خودرویی[۹] مبتنی بر ارتباط «همتا به همتا» با استفاده از تئوری بازی تکاملی است[۹]. پروتکل همکاری مبتنی بر تئوری هزینه محور[۱۰]، یک پروتکل همکاری مبتنی بر تئوری هزینه محور است که برای ایجاد انگیزه در گره‌های خودخواه در شبکه است. عملکرد *CACR* برای اثبات اثربخشی آن با ردیابی واقعیت ارزیابی شده است. با این‌حال، این پروتکل رابطه اجتماعی در میان گره‌ها را نادیده می‌گیرد [۱۴].

پروتکل مبتنی بر انگیزه و محتوا برای ارسال پیام[۱۱] یک طرح تشویقی تئوری بازی برای مسیریابی آگاه اجتماعی است که با تحریک گره‌های خودخواه اجتماعی *(SS)* برای پخش پیام‌ها در یک شبکه عمل می‌کند. ابتدا، سودمندی اجتماعی هر پیام به یک گره میانی براساس قدرت پیوندهای اجتماعی و خصوصیات پیام آن محاسبه می‌شود. سپس، یک بازی چانه‌زنی[۱۲] با پیشنهادات متناوب اعمال می‌شود که در آن گره‌های خودخواه اجتماعی پیام های خود را برای به حداکثر رساندن سودمندی تجارت می‌کنند. از معایب این روش نادیده‌گرفتن مصرف انرژی گره‌ها در انتقال پیام است که ممکن است منجر به کم‌شدن طول عمر شبکه شود. علاوه براین، اندازه بافر برای پیام‌های غیرمحلی کم است، که می تواند بر ذخیره‌سازی پیام‌های بزرگ تأثیر بگذارد [۱۱]. در مرجع [۱۲] یک رویکرد مبتنی بر تئوری بازی‌ها در اینترنت اشیا ارائه شده است. در این روش براساس تئوری بازی‌ها و چندپخشی پیام‌ها نسبت تحویل افزایش می‌یابد. در مقاله [۱۳] یک روش مسیریابی مبتنی بر تئوری بازی‌ها ارائه شده است که برای شبکه‌های فرصت طلبانه است. در این مقاله از متغیر انرژی برای

[1] Game- Theoretic
[2] Non Game-Theoretic
[3] iP2PCAD
[4] Rubinstain pricing
[5] FCIM
[6] OPCCD
[7] GEEC
[8] RGMPMW
[9] VANET
[10] CACR
[11] GISSO
[12] Bargaining

تعیین گره بازپخش استفاده می‌شود. در مرجع [۲۰] از تئوری بازی‌ها برای بررسی کیفیت پیوند بین گره‌ها استفاده شده‌است. مرجع [۲۱] مسیریابی مبتنی بر انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است.

۳.طرح پیشنهادی

موضوع مهمی که در چالش مسیریابی در این شبکه‌ها وجود دارد موضوع مدیریت بافر است. یعنی در صورت پربودن بافر تحویل بسته به چه صورت انجام خواهد شد، در این مقاله ما می‌خواهیم براساس تئوری بازی‌ها بین گره‌ها روشی ارائه دهیم که براساس اهمیت بسته تصمیم گیری کند که آیا بسته را دریافت کند یا دریافت نکند. اصل قضیه مسیریابی در شبکه‌های تحمل‌پذیرتاخیر براین مبنا استوار است که آیا بسته را به گره ملاقات شده تحویل بدهد یا تحویل ندهد. هردو گره دارای بافر بوده و می توانند تعداد مشخصی بسته را در خود نگه دارند، گام اول براساس محاسبه «احتمال تحویل» تصمیم‌گیری می‌گردد که آیا بسته تحویل داده شود و یا تحویل داده نشود. در صورت مثبت بودن جواب در گام دوم با فرض پربودن بافر با محاسبه اهمیت بسته تصمیم گیری برای تحویل بسته انجام خواهد گرفت. وقتی گرهی بسته‌ای را به گره بعدی پیشنهاد می‌دهد قطعاً گره بعدی در بافر خود دارای تعدادی بسته است، اگر بافر خالی باشد گره بسته را دریافت خواهد کرد و در بافر خود قرار می‌دهد. ولی اگر بافر دارای بسته باشد و خالی نباشد در این شرایط از تئوری بازی‌ها و اهمیت بسته‌ها استفاده می‌کنیم تا مشخص کنیم که آیا بسته‌ای که الان پیشنهاد شده است را براساس اهمیت بسته دریافت و جایگزین یکی از بسته های موجود بکند یا جایگزین نکند. اگر براساس اهمیت بسته به این نتیجه رسید که دریافت بکند براساس تئوری بازی‌ها مشخص خواهیم کرد که با کدام بسته جایگزین شود.

در گام اول زمانی که دو گره i و j همدیگر را ملاقات می‌کنند، ابتدا احتمال تحویل برای هردو گره محاسبه می‌گردد که این احتمال را با PD نشان می‌دهیم و PD عددی بین صفر و یک است.

احتمال تحویل i به d: تعداد بسته‌های تحویل داده شده از i به d (مقصد بسته) بر روی کل بسته‌های تولید شده به مقصد d که طبق فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

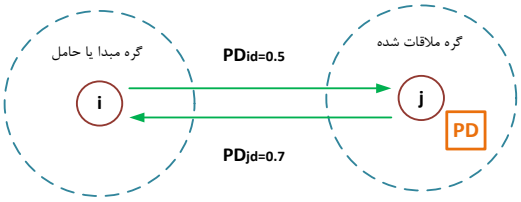
$$PD_{id} = \frac{N_{id}}{N_d} \quad (۱)$$

احتمال تحویل j به d: تعداد بسته‌های تحویل داده شده از j به d (مقصد بسته) بر روی کل بسته‌های تولید شده به مقصد d که طبق فرمول (۲) محاسبه می‌شود.

$$PD_{jd} = \frac{N_{jd}}{N_d} \quad (۲)$$

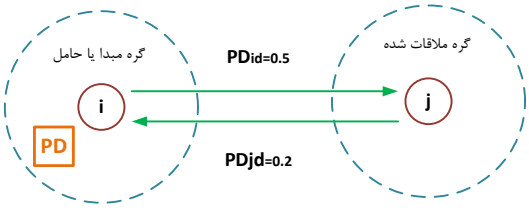
با مقایسه نتایج به دست آمده تصمیم‌گیری برای تحویل بسته انجام می‌شود.

مثال: مطابق شکل (۱) احتمال تحویل برای گره j بیشتر است (نسبت به گره مبدأ) بنابراین گره حامل یا مبدأ بسته را به گره ملاقات‌شده تحویل می‌دهد.



شکل (۱). مثال احتمال تحویل (با احتمال تحویل کمتر گره مبدأ)

ولی در شکل (۲) احتمال تحویل برای گره j کمتر است (نسبت به گره مبدأ) بنابراین گره حامل یا مبدأ بسته را نگه می‌دارد و تحویل نمی‌دهد.



شکل (۲) مثال احتمال تحویل (با احتمال تحویل بیشتر گره مبدأ)

ایده اصلی این مقاله در هنگام تحویل صورت می‌گیرد. بعد از تصمیم به تحویل بسته براساس احتمال تحویل، اگر بافر فضای خالی داشته باشد بسته تحویل داده می‌شود، در غیر اینصورت بازی چانه‌زنی بین گره فرستنده و گره ملاقات‌شده برای پیداکردن اولین بسته‌ای که اهمیت آن از بسته جاری کمتر است انجام و در نهایت بسته‌ی با اهمیت کمتر حذف و بسته‌ی ارسالی جایگزین می‌شود. در اکثر کارها فرض براین است که فضای خالی وجود دارد. در برخی کارها به صوت تصادفی یک بسته حذف شده و در برخی دیگر براساس حذف اولین بسته ورودی انجام شده است.برای این منظور ابتدا اهمیت بسته‌های موجود در بافر به روش ذیل تعیین می‌گردد که پارامترهای تعیین کننده اهمیت بسته (P) عبارتند از:

TTL: هرچقدر طول عمر بسته کمتر باشد اهمیت آن بیشتر خواهد بود.

NC: هرچقدر تعداد کپی موجود از بسته کمتر باشد اهمیت آن بیشتر خواهد بود.

فرمول محاسبه P که عددی بین صفر و یک است طبق فرمول (۳) محاسبه خواهد شد:

$$P = \frac{1}{TTL+NC} \quad (۳)$$

قبل از محاسبه P مقدار TTL و NC باید نرمال‌سازی شود.

بر اساس P بدست آمده بازی چانه‌زنی بین دو گره i و j جهت پیدا کردن و حذف بسته‌ای که اهمیت آن از بسته ارسالی

فرستنده کمتر است و جایگزین کردن بسته‌ی ارسالی انجام می‌گیرد. روش کار به اینصورت است که P_{ia}(اهمیت بسته ارسالی توسط فرستنده) با P بسته‌های موجود در گره گیرنده مقایسه و اولین بسته کم‌اهمیت به عنوان کاندید حذف شناخته می‌شود. در ابتدای کارk برابر یک خواهد بود. P_{jk} با P_{ia} مقایسه می‌گردد، درهر گام یک واحد به K اضافه می‌شود و مقایسه دوباره انجام می‌گیرد، این عمل تا پیدا کردن اولین بسته کم‌اهمیت در گره ملاقات‌شده ادامه پیدا می‌کند. سپس بازیکنان قیمت پیشنهادی را ارائه می‌کنند (نحوه قیمت‌گذاری در ادامه تشریح می‌شود) و در صورت رسیدن به توافق و ایجاد انگیزه ارسال بسته انجام می‌گیرد. در غیر اینصورت گره فرستنده به سراغ گره بعدی می‌رود و بازی با گره بعدی انجام می‌شود.

به طور منطقی گره‌ها سعی در افزایش سودمندی خود دارند. مکانیسم های مبتنی بر تئوری بازی برای افزایش میزان همکاری در انتقال داده‌ها طراحی گردیده است. گره‌ها پیام را براساس میزان باتری باقیمانده، قدرت اجتماعی و ارزش پیام قیمت‌گذاری می‌کنند. هنگامی که قدرت اجتماعی بین دو گره قوی باشد، احتمال مبادله پیام نیز بیشتر خواهد شد. در مواردی که قدرت اجتماعی بین گره‌ها کم باشد تبادل بسته در شبکه کم خواهد بود. برای جلوگیری از تبادل بسته ضعیف، تعیین قیمت ارسال توسط گره‌ها براساس سطح قدرت اجتماعی و میزان باتری باقی‌مانده آنها تعیین می‌گردد. اگر قدرت اجتماعی کم باشد گره فرستنده باید مبلغ بیشتری بپردازد. با افزایش قدرت اجتماعی بین آنها این قیمت‌گذاری کاهش می‌یابد. قدرت اجتماعی بین یک جفت گره ارتباطی با $SS_{rcr.sdr}$ نشان داده شده است و طبق فرمول (۴) محاسبه می‌گردد که جواب قطعاً عددی بین یک و صفر خواهد بود هرچقدر این عدد به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده ارزش بالای بسته ارسالی است.

$$SS_{rcr.sdr} = \frac{P_{jk}}{P_{ia}+P_{jk}} \quad (۴)$$

نسبت سطح باتری باقی‌مانده طبق فرمول (۵) محاسبه می‌گردد:

$$E(R)=Full_battery\ level-Current_battery\ level\ [3] \quad (۵)$$

در این مدل ارزش خدمات با درنظرگرفتن اعتبار گره فرستنده طبق فرمول (۶) محاسبه می‌شود:

$$REP_{sdr}=(1-SS_{rcr.sdr})+(1-P_{ia})/2 \quad (۶)$$

بعد از رسیدن به توافق پاداش‌های فرستنده و گیرنده در دور R طبق فرمول (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

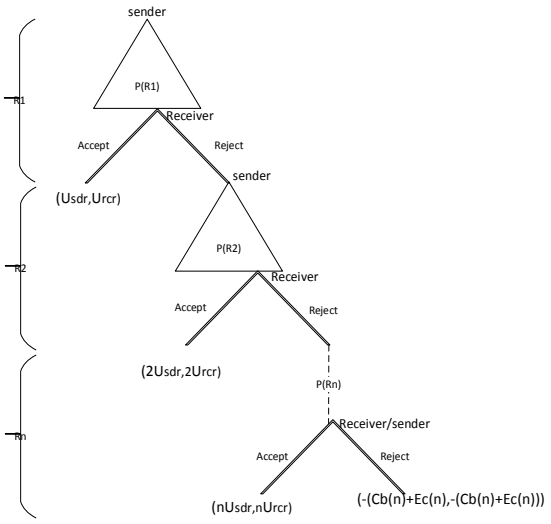
$$U_{sdr}(R) = REP_{sdr} - (P(R) + E_i(R) + C_b(R) + C_{snd})[3] \quad (۷)$$

$$U_{rcr}(R) = P(R) - (E_j(R) + C_b(R) + C_{rcv})\ [3] \quad (۸)$$

اگر تلاش‌های چانه‌زنی به نتیجه نرسد، بسته به مصرف انرژی می‌بایست هزینه تأخیر معامله پرداخت شود که نحوه محاسبه آن طبق فرمول (۹) و (۱۰) است:

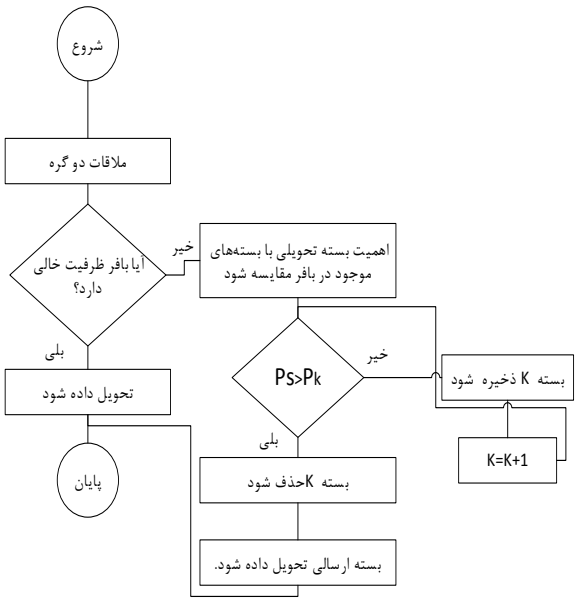
$$U_{sdr}(R) = -(C_b(R) + E_i(R))\ [3] \quad (۹)$$

$$U_{rcr}(R) = -(C_b(R) + E_j(R))\ [3] \quad (۱۰)$$



شکل (۳) بازی چانه‌زنی بین فرستنده و گیرنده

طبق شکل (۳) دو بازیکن به عنوان ارسال کننده و دریافت کننده دوتا عمل تأیید یا رد را می‌توانند انتخاب کنند و براساس انتخاب‌های خود پاداش تعریف شده را در هر دور بازی دریافت کنند. فلوچارت روش پیشنهادی طبق شکل (۴) است.



شکل (۴) فلوچارت روش پیشنهادی

جدول (۱). جدول نمادها

نماد	مفهوم نماد
N	تعداد گره‌ها
$i.j$	شمارنده گره
PD_{id}	احتمال تحویل i به d
PD_{jd}	احتمال تحویل j به d
N_{id}	تعداد بسته‌های تحویل‌شده شده توسط i به d
N_{jd}	تعداد بسته‌های تحویل‌شده شده توسط j به d
N_d	کل بسته‌های تولیدشده به مقصد d
P	اهمیت بسته
TTL	طول عمر بسته
NC	تعداد کپی از بسته
P_{ia}	اهمیت بسته فرستنده
P_{jk}	اهمیت بسته K ام گیرنده
$SS_{rcr.sdr}$	قدرت اجتماعی بین گره‌های گیرنده و فرستنده
C_{rcv}	هزینه دریافت (برابر ۰،۰۴)
C_{snd}	هزینه ارسال (برابر ۰،۰۳)
$E(R)$	انرژی مصرفی هر گره در دور R (انرژی اولیه گره ۵ ژول)
$P(R)$	قیمت ارسال بسته در دور (در دور اول برابر ۰،۲ و در دورهای بعدی $2R$)
$C_b(R)$	هزینه چانه‌زنی (۰،۰۵)

۴. ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

برای ارزیابی کارایی رویکرد پیشنهادی (RBMGD[1]) از شبیه‌سازی استفاده شده است. شبیه‌سازی در نرم‌افزار THE ONE انجام شده است. محیط انجام شبیه‌سازی را یک شبکه بی‌سیم در نظر می‌گیریم که گره‌ها از طریق رابط بلوتوث با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. جزئیات شبیه سازی در جدول (۲) خلاصه شده است.

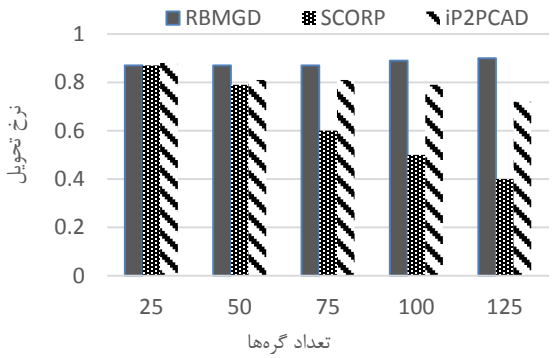
جدول (۲). پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	توضیحات
نقشه	شهر هلسینکی
تعداد گره‌ها	۱۲۵
اندازه پیام	*1 MB*
اندازه بافر	*5 MB*
سرعت گره‌ها	*0.8 – 1.4 m/s*
مدت‌زمان زنده بودن پیام	چهار روز
زمان به‌روزرسانی	هر ۰،۱ ثانیه
مدت شبیه‌سازی	۱۰ روز
محدوده انتقال	۱۰ متر
واسط انتقال	بلوتوث
نوع بلوتوث	*bluetooth 4 simple broadcast . interface*
نوع گره‌ها	متحرک
مدل حرکتی گره‌ها	*Shortest Path Map Based* (کوتاه‌ترین مسیر مبتنی بر نقشه)

[1] RBMGD: Routing and Bufer Management based on Game theory

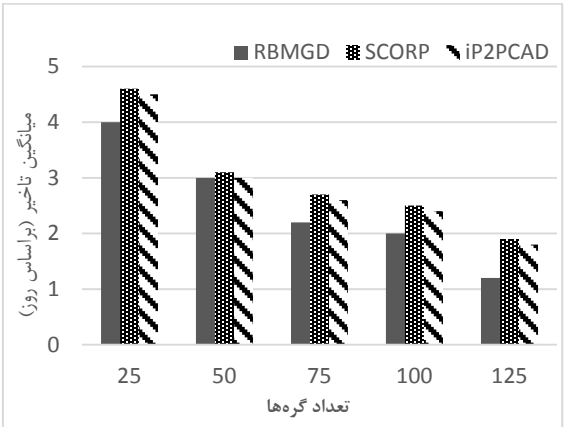
۵. تحلیل شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج حاصل از شبیه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد، نتایج حاصله با الگوریتم‌های iP2CAD و SCORP مقایسه شده است و نمودارهای نتایج مقایسه به شرح ذیل می‌باشد.



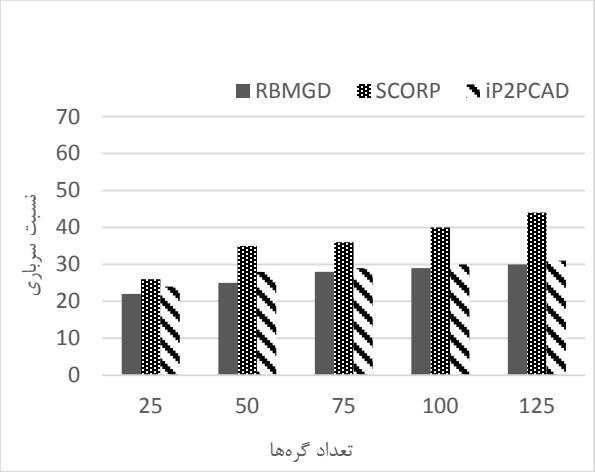
نمودار (۱). مقایسه نرخ تحویل با افزایش تعداد گره‌ها

نمودار (۱) نسبت تحویل پیام را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد گره‌ها به دلیل افزایش ارتباط نسبت تحویل برخلاف سایر الگوریتم‌ها بصورت نسبی بهبود پیدا می‌کند. باتوجه به اینکه با افزایش تعداد گرهها فضای بافری بیشتری در دسترس است احتمال حذف شدن *بسته‌ها* از حافظه گرهها کمتر می‌شود، تعداد اتصالات افزایش می‌یابد و به دنبال آن احتمال تحویل افزایش می‌یابد. برای شبکه‌های با تعداد گره بیشتر این الگوریتم نرخ تحویل بالاتری دارد.



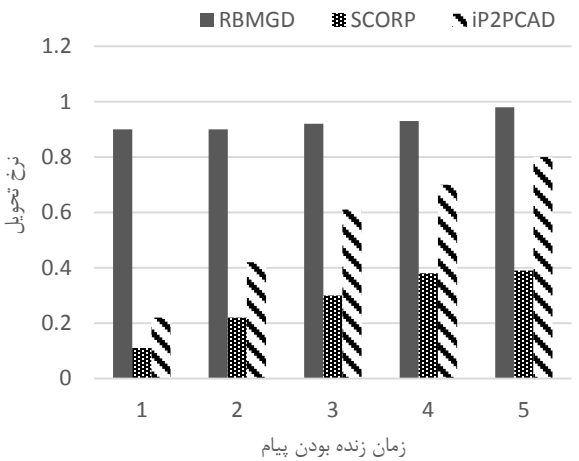
نمودار (۲). مقایسه میانگین تأخیر با افزایش تعداد گره‌ها

نمودار (۲) میانگین تأخیر در ارسال پیام را نشان می‌دهد SCORP بیشترین تأخیر در ارسال پیام را دارد، زیرا گره‌های موجود در آن *فقط* پیام‌هایی با علایق همپوشانی را ارسال می‌کنند. الگوریتم RBMGD به کمترین تأخیر در تحویل دست می‌یابد زیرا گره‌های موجود در آن تقریباً هر پیام را به دیگران منتقل می‌کنند. با افزایش تعداد گره‌ها، میانگین تأخیر در همه الگوریتم‌ها کاهش می‌یابد.



نمودار (۳). نمودار نسبت سرباری با افزایش تعداد گره‌ها

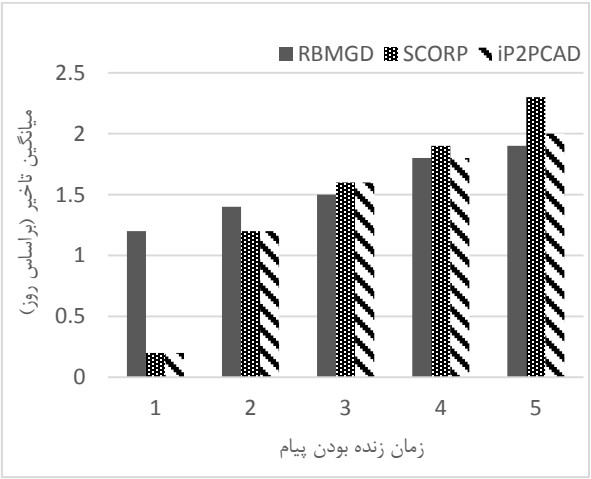
نمودار (۳) تأثیر تعداد گره‌های شبکه بر نسبت سربار را نشان می دهد. نسبت سربار RBMGD کمترین است زیرا توزیع بهتری از پیام‌ها در شبکه ارائه می‌دهد. وقتی تعداد گره‌ها افزایش می‌یابد، نسبت سربار برای RBMGD کمی افزایش می‌یابد بدلیل اینکه ممکن است همه گره‌ها پیام‌ها را بصورت کامل دریافت نکنند. با این‌حال، افزایش نسبت سربار نسبت به بقیه الگوریتم‌ها بهتر است.



نمودار (۴). مقایسه نرخ تحویل با افزایش زمان زنده‌بودن پیام

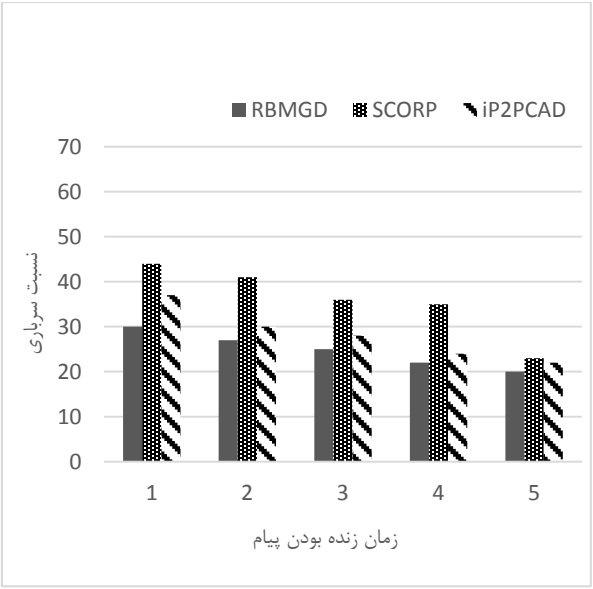
نمودار (۴) میانگین انتقال پیام را نشان می‌دهد. RBMGD بیشترین نسبت تحویل را در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها دارد و این مقدار با *افزایش* مقدار TTL بیشتر هم می

شود. عملکرد SCORP تحت‌تأثیر این واقعیت است که گره‌های موجود *بسته‌های* داده را به طور تصادفی به گره گیرنده منتقل می‌کنند. در نتیجه، بیشتر پیام‌ها به طور ناقص منتقل می شوند.در RBMGD مدل تشویقی پیشنهادی همکاری در شبکه را افزایش می‌دهد.



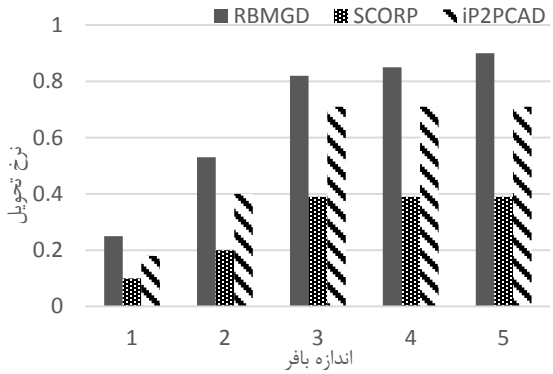
نمودار (۵). نمودار میانگین تأخیر با افزایش زمان زنده‌بودن پیام

طبق نمودار (۵)، در SCORP ارسال پیام به گره‌های دیگر به زمان *بیشتری* نیاز دارد چون آخرین قسمت پیام به‌صورت تصادفی منتقل می‌شود در نتیجه پیام‌ها بدلیل طولانی‌شدن پیام ناقص می‌مانند. در مقایسه RBMGD تأخیر تحویل کمتری دارد چون اکثر پیام‌ها منتقل می‌شود و همکاری در شبکه بدلیل مدل تشویقی افزایش می‌یابد.



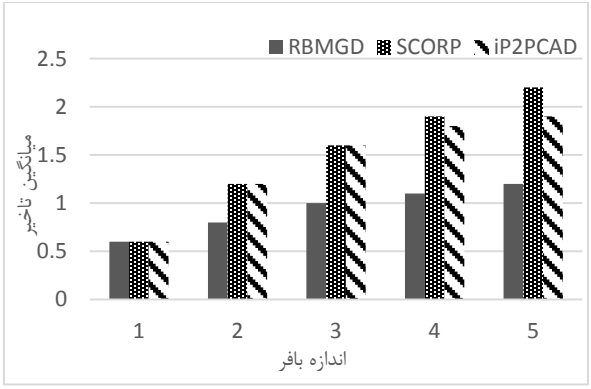
نمودار (۶). نمودار مقایسه میزان سرباری با افزایش زمان زنده‌بودن پیام

همان‌طور که در نمودار (۶) نشان داده شده است نسبت سربار در RBMGD در *مقایسه* با سایر الگوریتم‌ها کمتر است و با افزایش زمان زنده‌بودن پیام نسبت سرباری کمتر هم می‌شود چون تحویل پیام بیشتر صورت می‌گیرد.



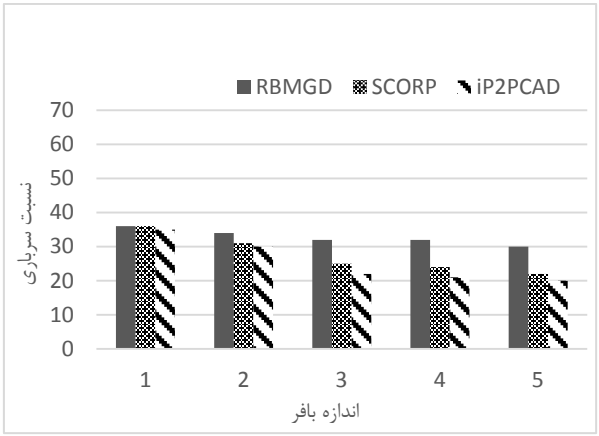
نمودار (۷). نمودار مقایسه نرخ تحویل با تغییر اندازه بافر

نمودار (۷) مقایسه متوسط تأخیر تحویل پیام‌ها را نشان می‌دهد. RBMGD نسبت تحویل بسیار بالایی دارد به این دلیل که تعداد پیام‌های ذخیره‌شده در حافظه بافر بر میزان تحویل تأثیر می‌گذارد. با افزایش اندازه بافر نسبت تحویل بهبود می‌یابد.



نمودار (۸). نمودار مقایسه میانگین تأخیر تغییر اندازه بافر

طبق نمودار (۸) میانگین تأخیر در RBMGD نسبت به بقیه الگوریتم‌ها کمتر است چون توزیع پیام بیشتری صورت می‌گیرد در نتیجه تأخیر کلی کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه بافر تأخیر نیز افزایش می‌یابد زیرا افزایش بافر به این معنی است که پیام‌های بیشتری باید به مقصد منتقل شوند.



نمودار (۹). نمودار مقایسه میزان سرباری با تغییر اندازه بافر

نمودار (۹) نشان‌دهنده تأثیر اندازه بافر بر نسبت سربار است. وقتی اندازه بافر یک مگابایت است همه پروتکل‌ها نسبت سربار نسبتاً بالایی دارند. الگوریتم BRMGD کمترین نسبت سربار را در برابر تمام تغییرات اندازه بافر دارد.

۶. نتیجه‌گیری

موضوع مهمی که در چالش مسیریابی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر وجود دارد و توجه کمتری به آن شده است موضوع مدیریت بافر می‌باشد. یعنی درصورت پربودن بافر تحویل بسته به چه‌صورت انجام خواهد شد، در این مقاله براساس تئوری بازیها، بین گره‌ها روشی ارائه شد که براساس اهمیت بسته تصمیم‌گیری کند که آیا بسته را دریافت کند یا دریافت نکند. اصل قضیه مسیریابی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر براین مبنا استوار است که آیا بسته را تحویل بدهم یا تحویل ندهم. هردو گره دارای بافر بوده و می‌توانند تعداد مشخصی بسته را در خود نگه دارند، گام اول براساس محاسبه «احتمال تحویل» تصمیم‌گیری می‌گردد که آیا بسته تحویل داده شود و یا تحویل داده نشود. در صورت مثبت بودن جواب در گام دوم با فرض پربودن بافر با محاسبه اهمیت بسته تصمیم‌گیری برای تحویل بسته انجام خواهد گرفت، وقتی گرهی بسته‌ای را به گره بعدی پیشنهاد می‌دهد قطعاً گره بعدی در بافر خود دارای تعدادی بسته است، اگر بافر خالی باشد گره بسته را دریافت خواهد کرد و در بافر خود قرار می‌دهد. ولی اگر بافر دارای بسته باشد و خالی نباشد در این شرایط ابتدا اولین بسته کم‌اهمیت در گیرنده شناسایی و با استفاده از تئوری بازی‌ها تصمیم‌گیری برای حذف بسته کم‌اهمیت و دریافت بسته ارسالی انجام شد. ارزیابی عملکرد از طریق شبیه سازی های گسترده، اثربخشی الگوریتم پیشنهادی را نشان داد. این الگوریتم احتمال تحویل را بطور میانگین ۷ درصدافزایش می‌دهد، تاخیرهای تحویل داده را بطور میانگین ۵ درصد کاهش و نسبت سربار را بطور میانگین ۴ درصد کاهش می‌دهد.

۷. مراجع

[1] *Khalid, O., Rais, R.N.B. & Madani, S.A. Benchmarking and Modeling of Routing Protocols for Delay Tolerant Networks. Wireless Pers Commun 94, 859–888 (2017).*

[2] *Kyung Min Baek, Dong Yeong Seo, Yun Won Chung. An Improved Opportunistic Routing Protocol Based on Context Information of Mobile Nodes, Appl. Sci. 2018, 8(8).*

[3] *Haq, Abdul, and Yasir Faheem. "A peer-to-peer communication based content distribution protocol for incentive-aware delay tolerant networks." Wireless Networks 26.1 (2020): 583-601.*

[4] *MAO, Yuxin, et al. A fair credit-based incentive mechanism for routing in DTN-based sensor network with nodes' selfishness. EURASIP*

Journal on Wireless Communications and Networking, 2020, 2020.1: 1-18.

[5] ESFANDIARI, Samira; REZVANI, Mohammad Hossein. An optimized content delivery approach based on demand–supply theory in disruption-tolerant networks. Telecommunication Systems, 2021, 76.2: 265-289.

[6] LIN, Deyu; WANG, Quan. A game theory based energy efficient clustering routing protocol for WSNs. Wireless Networks, 2017, 23.4: 1101-1111.

[7] Benchmarking and Modeling of Routing Protocols for Delay Tolerant Networks Osman Khalid1 • Rao Naveed Bin Rais2 • Sajjad A. Madani1 Published online: 31 August 2016 Springer Science+Business Media New York 2016

[8] Oualhaj, O. A., Kobbane, A., Elmachkour, M., Sabir, E., & Ben-Othman, J. (2015). A coalitional-game-based incentive mechanism for content caching in heterogeneous delay tolerant networks. In 2015 international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC) (pp. 987–992). IEEE.

[9] Yu, S., Zhang, L., Li, L., & Wang, X. (2018). Cost-aware cooperative theory based routing in mobile opportunistic networks. In China conference on wireless sensor networks (pp. 3–11). Springer.

[10] Cong, L., Zhou, X., Li, N., Zhu, H., Fan, Y., & Bu, L. (2022, January). Research on Distributed Energy Trading Strategy Based on Game Theory. In 2022 International Conference on Big Data, Information and Computer Network (BDICN) (pp. 439-446). IEEE.

[11] Jedari, B., Liu, L., Qiu, T., Rahim, A., & Xia, F. (2017). A game-theoretic incentive scheme for social-aware routing in selfish mobile social networks. Future Generation Computer Systems, 70, 178–190.

[12] Wu, B., Zeng, J., Shao, S., Ni, W., & Tang, Y. (2022). New Game-theoretic Approach to Decentralized Path Selection and Sleep Scheduling for Mobile Edge Computing. IEEE Transactions on Wireless Communications. Singh, J., Dhurandher, S. K., & Woungang, I. (2022).

[13] Ghafouri-ghomi, Z., & Rezvani, M. H. (2022). An optimized message routing approach inspired by the landlord-peasants game in disruption-tolerant networks. Ad Hoc Networks, 127, 102781 .

[14] Yu, S., Zhang, L., Li, L., & Wang, X. (2018). Cost-aware cooperative theory based routing in mobile opportunistic networks. In China conference on wireless sensor networks (pp. 3–11). Springer.

[15] Kumar, S., Goswami, A., Gupta, R., Singh, S. P., & Lay-Ekuakille, A. (2022). A Game-Theoretic Approach for Cost-Effective Multicast Routing in the Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal.

[16]. Singh, J., Dhurandher, S. K., & Woungang, I. (2022). Game Theory-Based Energy Efficient Routing in Opportunistic Networks. In International Conference on Advanced Information Networking and Applications (pp. 627-639). Springer, Cham.

[17]. Vimala, V., Pavani, L., & Vinoba, V. (2022). A Study of Repeated Game Theory in Wireless Sensor Networks. Journal of Optoelectronics Laser, 41(3), 289-292. Hadded, M., Minet, P., & Lasgouttes, J. M. (2021).

[18]. Game Theory-Based Energy Efficient Routing in Opportunistic Networks. In International Conference on Advanced Information Networking and Applications (pp. 627-639). Springer, Cham.

[19]. A game theory-based route planning approach for automated vehicle collection. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 33(16), e6246.

[20]. Hao, Z., Hou, J., Dang, J., Dang, X., & Qu, N. (2021). Game algorithm based on link quality: Wireless sensor network routing game algorithm based on link quality. International Journal of Distributed Sensor Networks, 17(2), 1550147721996248.

[21]. Ghaffari, & Mahmoudi. (2021). Energy-aware routing in wireless sensor networks by combining multi-layer perceptron neural network algorithms and simulated annealing. Electronic and Cyber Defense, 9(3), 133-142. In persian.