



ARTEMIA: Community Based and Regular Contact Aware Router in Mobile Social Networks

Saeed Moradi ¹, Jamshid Bagherzadeh ²

Abstract

Hosts in mobile social networks (MSN), in many applications, see each other in repetitive places at relatively specific times. Awareness of such contact regularity and formed communities can help to improve the efficiency of routing protocols in this network. We propose the Artemia router that takes advantage of this knowledge. In order to know the contact regularity, this router divides each day into specific intervals and registers the presence of hosts on a daily, weekly, and monthly basis with relevant bit maps. In addition, it detects and registers communities in each interval with a multi-criteria optimization approach. A modeled utility function is proposed to forward messages in this router. In that model, we present a low-complexity solution that uses Chebyshev's inequality to increase the accuracy of the data to identify community, friend, familiar, and stranger nodes. Artemia improves the network overhead by up to 44% and 35%, and the delivery rate and delivery latency metrics by about 6% and 8%, respectively, compared to two state-of-the-art protocols, Dynamic Routing and TCCB.

Keywords: *Mobile Social Networks, routing protocol, contact regularity awareness, forwarding utility function*

1. Department of Computer Engineering, Maku Branch, Islamic Azad University, Maku, Iran

2. Department of Computer Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Submitted: 2023-04-24

Accepted: 2024-04-30

Corresponding Author: Saeed Moradi

Email: moradi.saeed93@yahoo.com



Encyclopedia of Digital Transformation

DOI: 10.22034/dtj.2026.394335.1086

دانشنامه تحول دیجیتال

دانشگاه مهربالبرز

دوره ۳، شماره ۱

بهار ۱۴۰۱

صص. ۱- ۱۵

آرتمیا: مسیر یاب مبتنی بر انجمن و آگاه به نظم تماس در شبکه اجتماعی متحرک

سعید مرادی^۱، جمشید باقرزاده^۲

چکیده

میزبان‌ها در شبکه اجتماعی متحرک در خیلی از کاربردها در زمان‌های نسبتاً مشخص در مکان‌های مشخص حضور پیدا می‌کنند. آگاهی به این نظم تماس و انجمن‌های شکل گرفته می‌تواند به بهبود کارایی پروتکل مسیریابی در این شبکه کمک کند. در این مقاله مسیریاب، آرتمیا پیشنهاد می‌شود که از این دانش بهره می‌برد. این مسیریاب برای آگاهی از نظم تماس، هر شبانه‌روز را به بازه‌های مشخص تقسیم و با نقشه بیتی اقدام به ثبت حضور میزبان‌ها به صورت روزانه، هفتگی و ماهانه می‌کند. علاوه بر این، در هر بازه با یک رویکرد بهینه‌سازی چندمعیاری اقدام به تشخیص و ثبت انجمن‌ها می‌کند. برای هدایت بسته‌ها در این مسیریاب یک تابع مطلوبیت هدایت بسته با مدل ریاضی مناسب پیشنهاد شده است. در این مدل برای شناسایی گره‌های هم‌انجمن، دوست، آشنا و غریبه یک روش با پیچیدگی پایین پیشنهاد می‌شود که برای افزایش دقت داده‌ها از نابرابری چبیشف بهره می‌برد. آرتمیا معیار سربار شبکه‌ای را در مقایسه با پروتکل‌های دینامیک و TCCB به ترتیب تا حداکثر ۴۴٪ و ۳۵٪، و معیارهای نرخ تحویل و تأخیر تحویل را به ترتیب تا حدود ۶٪ و ۸٪ بهبود می‌دهد.

کلمات کلیدی: شبکه اجتماعی متحرک، پروتکل مسیریابی، آگاهی به نظم تماس، تابع مطلوبیت هدایت

۱. استادیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماکو، ایران

۲. استاد گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱

نویسنده مسئول مقاله: سعید مرادی

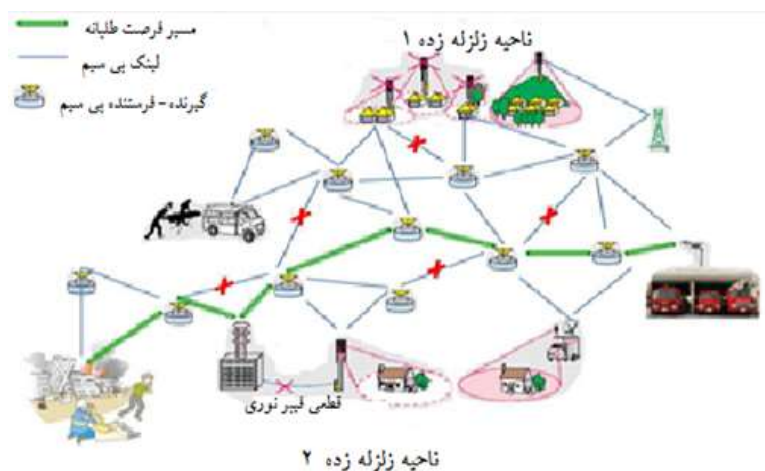
Email: moradi.saeed93@yahoo.com

مقدمه

یکی از اهداف اصلی اینترنت، امکان‌پذیر ساختن ارتباط در "هر جا و هر مکان" است، حتی در حمله‌های اتمی که تمام زیرساخت‌های ارتباطی قطع شده باشند. با بهره‌گیری از وسایل مختلف مخابراتی مثل ماهواره‌ها و وسایل قدرتمند و سبک‌وزن مثل گوشی‌های هوشمند و تبلت‌ها، چشم‌انداز "شبکه‌های همه‌جا حاضر" به واقعیت نزدیک می‌شود (زیا و همکاران، ۲۰۱۵)، (بنامار و همکاران، ۲۰۱۴).

می‌دانیم اینترنت از شبکه‌های گوناگونی تشکیل شده است. در برخی از آن‌ها مثل TCP، پروتکل‌های انتقال بر این فرض استوار هستند که فرستنده و گیرنده در تمام مدت با یک مسیر کاری و فعال به یکدیگر متصل هستند؛ ولی در بعضی از شبکه‌ها اغلب چیزی به عنوان مسیر انتها به انتها وجود ندارد. نمونه بارز آن شبکه فضایی ماهواره‌های مدار پایین است. ایده شبکه تأخیرپذیر که از پارادایم ذخیره حمل ارسال استفاده می‌کند، از همین ارتباطات ماهواره‌ای استنتاج شده است (موتا و همکاران، ۲۰۱۴). شبکه با میزبان‌های مخابراتی متحرک مثل شبکه گوشی‌های همراه و تبلت‌ها که به شبکه اجتماعی متحرک معروف است، شبکه زیردریایی‌ها، خودروها، پهپادها هم در این دسته قرار دارند (زیا و همکاران، ۲۰۱۵)، (رادنکوویچ و گراندی، ۲۰۱۲). کاربرد شبکه تأخیرپذیر در شبکه‌های دیگر مثل شبکه حسگر تحمل‌کننده تأخیر، شبکه موردی متحرک تأخیرپذیر، شبکه اینترنت اشیا، شبکه اطلاعات محور تحمل‌کننده تأخیر، شبکه تحویل محتوا رو به افزایش است (زیا و همکاران، ۲۰۱۵).

شبکه اجتماعی متحرک باید از فرصت‌های اتصال برای برقراری ارتباط و ارسال بسته‌ها به خوبی بهره ببرد. اینگونه اتصال فرصت‌طلب در موارد زیادی مثل شرایطی که در شبکه زیرساخت ثابت وجود ندارد، یا توسط دولت‌ها قطع و یا در اثر عوامل طبیعی مثل سیل و زلزله تخریب شده باشد، بکار می‌رود. این شبکه در شرایطی که استراق سمع یا فیلترینگ وجود دارد نیز کاربرد دارد. شکل ۱ مفهوم اتصال فرصت‌طلب را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۱: عملیات امداد و نجات مبتنی بر اتصال فرصت‌طلب در مناطق زلزله‌زده

قطعی‌های مکرر اتصال‌ها به دلیل تحرک غیرقابل پیش‌بینی میزبان‌ها، لینک‌های نامطمئن، تأخیر زیاد و متغیر، نرخ بیت نامتقارن و تقسیم شدن‌های مکرر، این شبکه را به عنوان شبکه چالش‌دار متمایز کرده‌اند (روی و دیگران، ۲۰۱۷)، (تولو و

1Xia et al

2Benamar et al

3Mota et al

4Radenkovic and Grundy

5Roy et al

دیگران^۱، (۲۰۲۰)، (فال، ۲۰۰۳). این ویژگی‌ها باعث شده‌اند یکی از چالش‌های مهم در این شبکه نحوه مسیریابی و هدایت بسته‌ها باشد (ژائو و همکاران^۲، ۲۰۰۹)، (چیوبانو و همکاران^۳، ۲۰۱۷)، (زوو و همکاران^۴، ۲۰۱۷)، (کومارام و همکاران^۵، ۲۰۲۰). این مسئله مهم تحت عنوان مسیریابی در شبکه اجتماعی متحرک موضوع اصلی این مقاله است؛ لذا هدف اصلی این پژوهش، بهبود شاخص‌های مسیریابی در شبکه‌های مورد بحث می باشد.

در زمینه مسیریابی تاکنون دسته‌بندی‌های مختلفی ارائه شده‌اند (زیا و همکاران، ۲۰۱۵)، (بنامار و همکاران، ۲۰۱۴)، (موتا و همکاران، ۲۰۱۴)، (تولو و همکاران، ۲۰۲۰)، (سوبین و همکاران^۶، ۲۰۱۶)، (چاکچوک^۷، ۲۰۱۶). در یک دسته‌بندی، این روش‌ها بر اساس سطح آگاهی از شبکه به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- بدون اطلاعات زمینه: پروتکل‌های هدایت هیچ دانشی از شبکه ندارند.
- با اطلاعات زمینه نسبی: پروتکل‌ها فقط حالت گره‌های همسایه و تاریخچه تماس‌ها را در هدایت بکار می‌برند.
- تمام زمینه: پروتکل‌ها، علاوه بر اطلاعات قبلی، حالت محیط اطراف و ویژگی‌های استخراج شده از شبکه را هم برای اتخاذ تصمیم بهتر در هدایت پیام‌ها بکار می‌برند.

اطلاعات زمینه می‌تواند به صورت اطلاعات محیط سیستم یا کاربر تعریف شود. این اطلاعات می‌تواند شامل اطلاعات فیزیکی (مکان، زمان، دما و ...)، ویژگی‌های سیستم (منابع قابل دسترس یا سرویس‌ها) و اطلاعات مرتبط با کاربر (مثل تنظیمات، عادت‌ها، تاریخچه تماس‌ها، ویژگی‌های اجتماعی مثل مرکزیت، محبوبیت، شباهت، نزدیکی، انجمن و ...) باشند (زیا و همکاران، ۲۰۱۵)، (موتا و همکاران، ۲۰۱۴)، (سوبین و همکاران، ۲۰۱۶). تاریخچه تماس اطلاعات مختلفی مانند مدت‌های تماس، تعداد تماس، مدت‌های بین تماس و تعداد آن‌ها را در بر دارد. در این مقاله، به عنوان هدف دیگر تحقیق، روشی ارائه می‌شود تا گره‌ها بتوانند اطلاعات خود را در مورد شبکه افزایش دهند؛ ولی سوالی که مطرح می‌شود این است چگونه بدون افزایش قابل توجه سربار شبکه می‌توان اطلاعات گره‌ها از شبکه را افزایش داد. در بخش روش پژوهش راه‌کار مناسبی به عنوان جدول نقشه بیتی در این خصوص ارائه می‌شود. با افزایش دانش گره‌ها به صورت تمام‌زمینه به روشی که ما مطرح کرده‌ایم، آیا امکان طراحی تابع مطلوبیت بهتری وجود دارد که بتواند این دانش را به نحو مطلوب برای انتخاب بهترین گره از بین گره‌های کاندید بکار بگیرد؟ در بخش روش پژوهش با یک روش شبه‌کارنو به این پرسش پاسخ خواهیم داد و نتایج بکارگیری آن را در بخش تجزیه و تحلیل خواهیم دید.

در تقسیم‌بندی از نظر تعداد و طول مدت تماس‌ها که با نظم تماس‌ها همبستگی دارند، گره‌های شبکه به چهار دسته تقسیم می‌شوند (هو و همکاران^۸، ۲۰۰۷):

- ۱- انجمن: درجه بالای تعداد تماس و مدت‌های تماس طولانی
- ۲- آشنا: درجه بالای تعداد تماس و مدت‌های تماس کوتاه
- ۳- غریبه: درجه پایین تعداد تماس و مدت‌های تماس کوتاه
- ۴- دوست: درجه پایین تعداد تماس و مدت‌های تماس طولانی

لازم به ذکر است که در خصوص مسیریابی در شبکه‌های مورد بحث، دو دسته روش مستقل از انجمن و مبتنی بر انجمن ارائه شده‌اند. می‌دانیم شبکه اجتماعی متحرک مورد بحث یک نوع شبکه تأخیرپذیر و چالش‌دار محسوب می‌شود. در این شبکه فرض وجود مسیر انتها به انتها در مسیریابی بسته‌ها برقرار نیست و مسیریابی با پارادایم نگهداری حمل ارسال انجام می‌گیرد؛ لذا احتمال زیادی دارد وقتی گره مبدأ یک یا چند گره را می‌بیند، گره مقصد در بین آن‌ها نباشد و یا اصلاً در دسترس هم

¹Tulu et al
²Gao et al
³Ciobanu et al
⁴Zhou et al
⁵Kumaram et al
⁶Sobin et al
⁷Chakchouk
⁸Hui et al

نباشد؛ ولی در این شرایط نیز بررسی ارسال پیام به آن گره انجام می‌گیرد. به این صورت که اگر آن گره برای حمل پیام مورد نظر مطلوبیت بیشتری داشته باشد، گره مبدأ، پیام و حضانت پیام را به آن گره واگذار می‌کند. روش‌های زیادی برای تعیین مطلوبیت گره‌ها با توابع مطلوبیت مختلف ارائه شده‌اند؛ ولی انجمن‌ها نقش مهمی در این مورد بازی می‌کنند. اگر دو گره هم‌انجمن باشند، احتمال رویت آن‌ها توسط یکدیگر بیشتر از دو گره‌ای است که به یک انجمن تعلق ندارند. حال اگر گره مبدأ با گره مقصد هم‌انجمن نباشد و گره‌ای را ببیند که با گره مقصد پیام هم‌انجمن است، اگر پیام را به آن گره واگذار کند احتمال رسیدن پیام بیشتر است. در صورتیکه دو گره هم‌انجمن باشند رنگینگ درون انجمنی بکار برده می‌شود؛ لذا بر اساس نتایج تحقیقات، استنتاج شده است که اگر پیام‌های گره مقصد به گره‌های هم‌انجمنی آن تحویل داده شوند احتمال رسیدن پیام‌ها و هم احتمال زودتر رسیدن آن‌ها بیشتر است (زیا و همکاران، ۲۰۱۵)، (چیوانو و همکاران، ۲۰۱۷)، (هو و همکاران، ۲۰۰۷)، (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). در بخش نتایج این فرضیه مهم با الگوریتم مبتنی بر انجمن پیشنهادی آزموده خواهد شد.

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی به نام آرتمیآرائه می‌شود که مبتنی بر انجمن و آگاه به نظم تماس‌ها عمل می‌کند. روش پیشنهادی ما در بازه‌های زمانی مشخص اقدام به تشخیص انجمن‌ها و ثبت آن‌ها می‌کند. در زمان هدایت پیام هم بر اساس یک تابع هدایت که به اطلاعات بازه متناظر ثبت شده توجه دارد، عمل می‌کند. فرضیه دیگری که در نظر گرفته شده، این است که در شبکه‌هایی که کاربران در زمان‌های نسبتاً مشخص از مکان‌های مشخص دیدن می‌کنند با ثبت وضعیت حضور کاربران در بازه‌های زمانی مختلف می‌توان به بهبود معیارهای مسیریابی کمک کرد. به طور مثال در شبکه‌های ماهواره‌ای، ماهواره‌ها در مدارهای پایین و متوسط در زمان‌های تقریباً ثابت در معرض دید ایستگاه‌ها و گیرنده‌های زمینی قرار می‌گیرند. این پروتکل در شبکه‌های موردی متحرک و خودرویی تأخیرپذیر هم کاربرد دارد؛ زیرا مثلاً در روزهای کاری، میزبان‌ها (کارمندان، دانشجویان، اساتید، پزشکان و ...) عمدتاً یا در آپارتمان هستند که با ساکنین آن در ارتباط هستند یا بعد از ترک آپارتمان با وسایل خودرویی از مسیرهای نسبتاً ثابت به محل کار یا تحصیل خود می‌روند؛ لذا حضور آن‌ها در این مسیرها قابل پیش‌بینی است. در محل کار هم در گروه‌های مشخصی مثل همکاران، هم‌کلاسی‌ها، هم‌مسجدی‌ها و ... فعالیت می‌کنند. از کاربردهای دیگر می‌توان به ارائه سرویس اینترنت با بالن، خودرو یا پهپاد به روستاها، مناطق دورافتاده یا صعب‌العبور و در شرایط جنگی و بلایای طبیعی که زیرساخت ارتباطی وجود نداشته و یا از بین رفته باشد، اشاره کرد. البته واضح است که در شرایط جنگی ایجاد نظم تماس به راحتی موارد دیگر نیست.

علاوه بر این موارد، این مسیریاب با بررسی احتمال ارسال ناتمام پیام، به کاهش هزینه شبکه هم کمک می‌کند. با توجه به دانسته‌های ما، این ویژگی‌ها در مسیریاب‌های موجود در ادبیات این شبکه دیده نشده است. در مدل پیشنهادی برای این مسیریاب، برای تشخیص چهار نوع ارتباط ذکر شده در (هو و همکاران، ۲۰۰۷) شامل انجمن، دوست، آشنا و غریبه و به دست آوردن تابع بهینه برای هدایت پیام‌ها نیز راه‌حلی ارائه می‌شود.

لازم به ذکر است که شبکه‌های اجتماعی متحرک جزء شبکه‌های تأخیرپذیری هستند که اکثر آن‌ها از تماس منظم نسبی برخوردارند و تماس‌ها در این شبکه‌ها به صورت صد در صد تصادفی نیستند؛ لذا نظم تماس در این شبکه‌ها جزء ماهیت آن‌ها به حساب می‌آید و این نظم یکی از فرض‌های طراحی مسیریاب آرتمیاست. هر چقدر نظم بالاتر باشد، پیش‌بینی حضور یک میزبان در بازه‌های مختلف بیشتر و در نتیجه کارایی پروتکل پیشنهادی، بهتر خواهد بود. در مسیریاب آرتمی این حضور و غیاب‌ها در جداول ویژه ثبت می‌شود. پرواضح است که تخطی یک میزبان از نظم قبلی که در جداول ثبت شده‌اند، باعث تخمین نادرست در مورد حضور آن میزبان و عدم کارایی مطلوب پروتکل در آن مورد خاص خواهد بود که یکی از محدودیت‌های این مسیریاب است.

پیشینه پژوهش

از روش‌های تمام‌زمینه سنتی معروف، می‌توان به پروتکل‌های سیمپت (دالی و هار، ۲۰۰۷) و بابل‌رپ (هو و همکاران، ۲۰۱۱) اشاره کرد. روش سیمپت بر اساس یک تابع مطلوبیت متشکل از مرکزیت مابینی و شباهت عمل می‌کند. در مسیریابی، گره‌ها لیست تماس خود را برای به‌روزرسانی معیارهای فوق‌الذکر تبادل و بر اساس مقادیر مربوط به مقصد، تابع خود را محاسبه و مقایسه می‌کنند. اگر یک گره، مطلوبیت بیشتری نسبت به یک مقصد در مقایسه با گره مبدأ داشته باشد، گره مقصد به بردار درخواست‌های آن اضافه می‌شود. نهایتاً آن‌ها بردار درخواست خود را برای ادامه مسیریابی تبادل می‌کنند.

در پروتکل بابل‌رپ معیار مرکزیت توأم با انجمن به کار گرفته می‌شوند. برای هر گره یک درجه مرکزیت عمومی و یک درجه مرکزیت محلی در نظر گرفته می‌شود. پیام‌ها ابتدا بین انجمن‌ها با استفاده از ساختار سلسله مراتبی درختی بر اساس درجه عمومی هدایت می‌شوند تا به انجمن گره مقصد برسند. در انجمن مقصد، بر اساس درجه محلی گره‌ها تا رسیدن به گره مقصد هدایت می‌شوند.

از روش‌های نسبتاً جدید می‌توان به (روی و همکاران، ۲۰۱۷)، (چیوانو و همکاران، ۲۰۱۷)، (زوو و همکاران، ۲۰۱۷)، (ونگ و همکاران، ۲۰۲۰)، (کومارام و همکاران، ۲۰۲۰) اشاره کرد. مقاله (روی و همکاران، ۲۰۱۷) با یک نوآوری خاص دو مسئله انتخاب گره مناسب برای تک پیام و چند پیام را که در کاربردهای مسیریابی به ویژه در چندپخش، هر دو مسئله NP سخت هستند، تحت محدودیت‌های زمان تحویل، فضای بافر و انرژی باقیمانده گره‌ها به عنوان دو مسئله بهینه‌سازی دو هدفه فرموله می‌کند. معیار اجتماعی بکار رفته مرکزیت است که برابر احتمال تجمعی تماس گره با گره‌های دیگر در نظر گرفته می‌شود که نتایج کارایی روش مذکور را در بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه نشان می‌دهد.

در مقاله (چیوانو و همکاران، ۲۰۱۷) از ترکیبی از معیارهای اجتماعی شامل شباهت، مرکزیت، دوستی، قدرت اجتماعی و اعتماد با ضرایب متغیر در قالب یک تابع مطلوبیت استفاده می‌شود. ادعا شده است که همان طور که بکارگیری عادت حرکت افراد می‌تواند به کاهش متوسط تأخیر ارسال کمک کند، انحراف نامنظم از عادت هم می‌تواند به طور جدی کارایی را تحت تأثیر قرار دهد. در روش (زوو و همکاران، ۲۰۱۷) مقادیر میانگین و انحراف معیار مدت‌های بین تماس در یک بازه زمانی مشخص برای تشکیل معیاری به نام نزدیکی گذرا به عنوان قدم اول در هدایت بکار گرفته می‌شود. در قدم بعدی با استفاده از آن یک معیار دیگر به نام مرکزیت زمانی برای هر گره در کل شبکه استخراج می‌شود. در نهایت پیام‌ها از طریق گره‌های با مقادیر مرکزیت گذرای بالاتر تا مقصد هدایت می‌شوند.

در مقاله (ونگ و همکاران، ۲۰۲۰) تخصیص منابع در یک شبکه سلولی تأخیرپذیر فاقد ایستگاه‌های پایه بررسی شده است. زیرساخت این شبکه را هواپیماهای بدون سرنشین به جای ایستگاه پایه تشکیل می‌دهند. در این روش، یک الگوریتم تخصیص منابع اجتماع آگاه برای ارتباط‌های چند-پخشی پیشنهاد شده است. مقاله (ژنگ و دیگران، ۲۰۱۷) یک روش سلسله مراتبی را برای مسیریابی چندپخشی به کار می‌برد. در این روش با استفاده از تاریخچه تماس گره‌ها، یک گراف وزن‌دار تماس برای شبکه استخراج می‌شود. وزن گره‌ها و یال‌ها، استحکام تماس بین گره‌ها و اهمیت آن‌ها را برای رله پیام‌ها منعکس کرده و یک شبکه اجتماعی را شکل می‌دهند. در این روش یک ستون فقرات متحرک از گره‌ها برای مسیریابی در شبکه استخراج می‌شود. با این روش، سربار و مصرف انرژی شبکه کاهش پیدا می‌کند.

در (کومارام و همکاران، ۲۰۲۰) یک روش مسیریابی هوشمند مبتنی بر الگوریتم قطره آب هوشمند پیشنهاد شده است که از شبکه عصبی برای بهینه‌سازی مسیریابی استفاده می‌کند. ضرایب شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم مذکور با ورودی‌هایی مثل اندازه بافر گره، تعداد تحویل موفق پیام، سطح انرژی و احتمال تحویل بدست می‌آیند.

از روش‌های جدید می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در (آوا و همکاران، ۲۰۲۲) به امنیت پروتکل‌های مسیریابی پرداخته می‌شود. نویسندگان نشان می‌دهند که پروتکل‌های مسیریابی مثل پروتکل ترکیبی ۱ و پروتکل ۲ شبکه اجتماعی متحرک در برابر حمله سرقت با دروغ (تبانی) آسیب‌پذیر هستند. در این حمله، یک مهاجم مخرب مجموعه‌ای از گره‌ها را به خطر می‌اندازد و در مورد زمان‌های بین تماس خود دروغ می‌گوید. آن‌ها سه تکنیک تشخیص مسیر، تکنیک تشخیص پرش و تکنیک تشخیص زودهنگام پرش برای تشخیص حمله پیشنهاد می‌کنند. (مومن و همکاران، ۲۰۲۳) طرح پایداری مسیر احتمالی پیشرفته ۲ را برای رسیدگی به چالش سیریابی در شبکه بی‌سیم بدن پیشنهاد می‌کنند. طرح پیشنهادی یک تابع هزینه به نام هزینه ارزیابی پیوند را معرفی می‌کند که تصمیم می‌گیرد آیا یک مسیر قابلیت اطمینان دارد و آیا کاندید مناسبی برای مسیریابی و برآورده کردن الزامات کیفیت سرویس است یا خیر. این تابع بر اساس دو عامل مهم یعنی ضریب پایداری مسیر و احتمال مورد انتظار پیوند عمل می‌کند و پایدارترین و قابل اطمینان‌ترین مسیرها را با وجود قطعی در این شبکه‌ها انتخاب می‌کند؛ ولی در این کارها تکنیک‌های مقاله حاضر یعنی بکارگیری انجمن‌ها و جداول بیتی برای ثبت حضور گره‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است. پروتکل مسیریابی قفل پیام برای شبکه تأخیرپذیر توسط (ایوب و همکاران، ۲۰۲۳) برای کنترل فرآیند ارسال پیام در این شبکه‌ها با استفاده از قفل رتبه محلی و قفل رتبه جهانی پیشنهاد شده است. قفل رتبه محلی انتقال پیام را در حین تحرک گره در جامعه کنترل می‌کند، در حالی که قفل رتبه جهانی از ارسال پیام در حین تحرک گره در خارج از جامعه خودداری می‌کند. این پروتکل با استفاده از قفل ارسال پیام افت پیام را کنترل می‌کند و با استفاده از قفل تحویل به قفل مقصد نسبت تحویل را افزایش می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی ثابت می‌کند که این روش که از کارایی انجمن‌ها بهره می‌برد، از نظر کاهش انتقال پیام، افت پیام، میانگین تعداد پرش، سربار و افزایش نرخ تحویل بهتر عمل کرده است.

در پژوهش (رشیدی و همکاران، ۲۰۲۰) پروتکل مسیریابی LEACH ارائه شده است که به عنوان یک پروتکل سازماندهی بارها را بر روی شبکه اینترنت اشیا توزیع می‌کند. در این پروتکل از الگوریتم جست‌وجوی فاخته برای بهینه‌سازی آن در کاهش بسته‌های ارسالی و نهایتاً کاهش مصرف انرژی استفاده شده است. گره‌ها خود را در گروه‌های محلی سازماندهی می‌کنند (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۳) و روی شبکه‌های تأخیرپذیر با یک منطقه تحرک بزرگ متمرکز هستند. بیشتر وسایل ارتباطی پیش‌فرض متحرک و جهت حرکت در آن‌ها تصادفی است. در این مقاله، یک الگوریتم مسیریابی احتمالی بهبود یافته مبتنی بر پیش‌بینی جهت حرکت پیشنهاد می‌شود که با به‌روزرسانی احتمال برخورد با توجه به جهت حرکت بین گره‌ها، بهبود پیدا می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نهایی نشان می‌دهد که این الگوریتم می‌تواند عملکرد نرخ تحویل و میانگین تأخیر پیام را در مقایسه با الگوریتم پایه یعنی پروتکل سنتی بهبود بخشد. در این دو روش هر چند از مزیت گروه‌بندی استفاده می‌شود؛ ولی چون این کار با پردازش ساده‌ای انجام می‌گیرد، لذا گروه‌ها کیفیت و کارایی انجمن‌ها را ندارند.

در بخشی از مقدمه و در این بخش تلاش شده است با رعایت اختصار چند روش مسیریابی در ادبیات شبکه اجتماعی متحرک بررسی، تحلیل و ایرادهای آن‌ها یادآوری شود. در این روش‌ها و در ادبیات این بحث چند چالش دیگر هم وجود دارند که ضمن توصیف روش پیشنهادی به آن‌ها خواهیم پرداخت.

1Ava et al

2Hybrid protocol

3Prophet

4CollusiveHijack

5Memon et al

6Enhanced Probabilistic Route Stability

7Wireless body area network

8Huang et al

روش پژوهش

مدل و الگوریتم مسیریاب آرتمیا

طوری که قبلاً اشاره شد این مسیریاب آگاه به نظم تماس و مبتنی بر انجمن عمل می‌کند. جهت آگاهی از تماس، هر گره میانگین و انحراف معیار مدت‌های تماس گره‌ها و همینطور میانگین و انحراف معیار مدت‌های بین تماس آن‌ها را محاسبه و ذخیره می‌کند. ما این بردار را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$CTICT = (\mu_C, \sigma_C, \mu_D, \sigma_D) \quad (1)$$

حرف C متغیر مدت تماس و حرف D متغیر بین‌تماس را نشان می‌دهند. گره‌ها در زمان برخورد با همدیگر، اطلاعات (بردار) مربوط به خود و همه گره‌های شبکه خود را تبادل می‌کنند. ما در دو مقاله قبلی خود (مرادی و دیگران، ۲۰۲۱)، مدت‌های تماس و بین‌تماس را به صورت دو متغیر تصادفی مستقل با توابع توزیع مدل کرده‌ایم. در اینجا به دلیل افزایش پیچیدگی مسیریاب ناشی از آگاهی به نظم تماس، توزیع‌ها را بکار نمی‌بریم. در عوض، برای حفظ دقت مسیریاب، قانون نابرابری چبیشف که برای هر توزیعی کاربرد دارد استفاده شده است. در نابرابری مذکور برای متغیر تصادفی مدت تماس C با امید ریاضی (میانگین) μ_C و واریانس متناهی σ^2 برای هر عدد حقیقی مثبت مثل k داریم:

$$P(|C - \mu_C| \geq k\sigma) \leq 1/k^2 \quad (2)$$

برای متغیر تصادفی D هم رابطه مشابهی برقرار است؛ لذا به طور مثال می‌توان گفت که با اطمینان ۸۹٪، مدت‌های تماس دو گره کمتر از $\mu_C - 3\sigma_C$ هستند. همینطور با اطمینان ۷۵٪، مدت‌های بین تماس بیشتر از مقدار $\mu_D - 2\sigma_D$ نخواهند بود. این تحلیل‌ها در انتخاب گره رله مناسب برای هدایت پیام‌ها در مسیریاب آرتمیا به کار می‌روند. می‌دانیم در خیلی از سناریوها گره‌ها تماس نسبتاً منظمی دارند. به این موضوع در خیلی از مقالاتی که بررسی شدند، اشاره شده است. به طور مثال در مجموعه داده‌های Infocom05 و Infocom06 (پروژه هاگل، ۲۰۱۳) که در محیط کنفرانس جمع‌آوری شده‌اند، شرکت‌کننده‌ها در زمان‌های استراحت یا شب‌ها بر اساس کشور یا دانشگاهی که به آن تعلق دارند در هتل در کنار هم دیده می‌شوند یا در زمان‌های برگزاری کنفرانس بر اساس موضوع مقاله در یک سالن حضور دارند یا مثلاً در مجموعه داده MIT Reality Mining دانشجویان بر اساس دروس مشترکی که اخذ کرده‌اند در یک دانشکده و کلاس حضور پیدا می‌کنند. کارکنان هم عمدتاً با مکان‌ها و افرادی خاصی سروکار دارند. یعنی دوره تناوب و بازه‌های زمانی که میزبان‌ها در کلاس یا اتاق، سلف سرویس و یا نمازخانه حضور پیدا می‌کنند، تقریباً مشخص است. آرتمیا برای آگاهی از نظم تماس از این فرض‌ها بهره می‌برد.

با توجه به دینامیک جوامع مورد بحث، آرتمیا هر روز را به چند بازه (۸ تا ۱۲، ۱۲ تا ۱۴، ۱۴ تا ۱۸، ۱۸ تا ۲۲ و ۲۲ تا ۸) تقسیم و در هر بازه بر اساس تکنیک مقاله اول (مرادی و دیگران، ۲۰۲۱) و الگوریتم ماژولاریتی اقدام به تشخیص انجمن می‌کند. برای هر بازه حضور یا عدم حضور هر گره در یک جدول به نام جدول نقشه بیتی روزانه با ۱ یا ۰ ثبت می‌شود. برای ایام هفته یک جدول نقشه بیتی هفتگی و در دوره‌های تناوب طولانی‌تر مثل ماه یک جدول نقشه بیتی ماهانه بکار می‌رود. زمان تشخیص و ثبت انجمن‌ها به این صورت است که در بازه فعلی هر چند دقیقه یکبار که با یک پارامتر تعیین می‌شود، فرآیند تشخیص انجمن اجرا می‌شود. این پارامتر در برنامه به صورت پیش فرض تنظیم می‌شود. در این مقاله بر اساس مقادیر توصیه شده در ادبیات این شبکه‌ها و همینطور مقایسه نتایج برای مقادیر مختلف آن، مقدار این پارامتر ۱۰ دقیقه فرض می‌شود

تا مصالحه‌ای بین معیار سربار تولید شده و سایر معیارها برقرار شود. در صورتیکه بازه فعلی به انتها برسد برای آخرین بار تشخیص انجمن انجام شده و همراه با نقشه‌های بیتی مربوطه برای آن بازه ثبت می‌شوند.

از بین روش‌های تشخیص انجمن که پیاده‌سازی شدند، نسخه بهبود یافته الگوریتم ماژولاریتی از روش‌های غیرهمپوشان و k دسته از بین روش‌های همپوشان نتایج بهتری را تولید کردند؛ ولی به خاطر پیچیدگی زمانی یعنی کندی زیاد الگوریتم k دسته، در آزمایش‌های نهایی نتایج الگوریتم ماژولاریتی آورده شد. لازم به ذکر است که در الگوریتم پیشنهادی این مقاله، این الگوریتم‌ها نه به صورت اولیه؛ بلکه با تغییرات لازم به صورت بهینه‌سازی شده دومیاری بکار گرفته شده‌اند. معیار اول به صورت بیشینه‌سازی مدت تماس و معیار دوم به صورت کمینه‌سازی مدت بین تماس توأمان بکار گرفته می‌شوند.

در اینجا اشاره می‌شود که دو الگوریتم انتقال محلی هوشمند و لووین به عنوان الگوریتم‌های بهبود یافته ماژولاریتی هر دو پیاده‌سازی شده و قابل استفاده هستند؛ ولی به خاطر اینکه الگوریتم اول بهبود یافته لووین بوده و علاوه بر شبکه‌های بسیار بزرگ، در شبکه‌های کوچک و متوسط هم خوب عمل می‌کند، لذا از الگوریتم اول استفاده شده است.

بعد از تشخیص انجمن به روشی که اشاره شد μ_C و μ_D مربوط به هر انجمن مشخص می‌شوند. در واقع شرط اولیه هم‌انجمن بودن گره i و j در یک انجمن را در بازه t می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$community^t(CTICT_{ij}^t) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\mu_{C_{ij}} \geq \mu_C \text{ and } \mu_{D_{ij}} \leq \mu_L) \quad (۳) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

لازم به ذکر است که طوری که در مقاله اول ما اثبات شده است، تعداد تماس و بین‌تماس از مدت‌های تماس و بین‌تماس قابل محاسبه هستند؛ لذا گره‌ها می‌توانند با استفاده از مقادیر فوق نسبت به شناسایی دوست، فامیل و غریبه مطابق روابط زیر اقدام کنند.

$$family^t(CTICT_{ij}^t) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\mu_{C_{ij}} \geq \mu_C \text{ and } \mu_{D_{ij}} \leq \mu_D) \quad (۴) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

برای دوست (friend) شرط $(\mu_{C_{ij}} \leq \mu_C \text{ and } \mu_{D_{ij}} \geq \mu_D)$ و غریبه (stronger) شرط $(\mu_{C_{ij}} \leq \mu_C \text{ and } \mu_{D_{ij}} \geq \mu_D)$ را می‌توان بکار برد.

در فرآیند هدایت پیام‌ها، آرتمیا به روش زیر عمل می‌کند. فرض کنید گره x حامل پیام m به مقصد گره y ، گره z را به عنوان گره کاندید در بازه فعلی ببیند. اگر y هم در بازه فعلی (P) حضور داشته باشد $P_y^p = 1$ و بر اساس روش هدایت انجمنی عمل می‌شود. حال اگر x و y و z هم‌انجمن باشند یا همه در انجمن‌های مجزا عضو باشند و یا x و z هم‌انجمن و y در انجمن دیگری باشد بر اساس مقدار تابع مطلوبیت گره‌ها که در ادامه این بخش آورده شده، تصمیم‌گیری می‌شود. در این حالت اگر مطلوبیت گره z برای هدایت پیام m بیشتر از گره x باشد، پیام به z ارسال می‌شود و در غیر اینصورت نه. حال اگر x و y هم‌انجمن باشند و z نه، پیام به z ارسال نمی‌شود و اگر y و z هم‌انجمن باشند و x نه، پیام به z ارسال می‌شود. جدول ۲ را ببینید.

جدول ۲: جدول شبه کارنوی تابع ارسال (d: حالت بی‌اهمیت)

$\begin{matrix} xy \\ z \end{matrix}$	۰۰	۰۱	۱۱	۱۰
۰	f_G^P	d	۰	d
۱	d	۱	f_L^P	f_G^P

از این جدول تابع ارسال برای بازه فعلی f_P به صورت زیر با ساده‌سازی به روش کارنو به دست می‌آید:

$$f_P = x'yz + xyzf_L^P + y'f_G^P \quad (5)$$

تابع f_L^P تابع ارسال با رنکینگ محلی در بازه فعلی بوده و مقدار آن زمانی ۱ است که مقدار مطلوبیت گره z بالاتر از x باشد و در غیر اینصورت صفر است. تابع f_G^P تابع ارسال با رنکینگ عمومی در بازه فعلی است. حال اگر گره y در بازه فعلی نباشد ($P_y^P = 0$)، آرمیا بر اساس دوره تناوب اجتماع، بازه متناظر را پیدا و سپس تصمیم‌گیری می‌کند. اگر دوره تناوب روزانه باشد، بازه متناظر در روزهای قبل به صورت عقب‌گرد بررسی می‌شود. یعنی مثلاً اگر در روز سه‌شنبه حضور داشته باشیم، اول روز دوشنبه بعد یکشنبه و به همین ترتیب بقیه ایام باقی مانده را بررسی می‌کنیم. برای این کار ابتدا با استفاده از نقشه بیتی روزها، روز حضور گره کاندید را پیدا و سپس بازه مورد نظر را بررسی می‌کنیم. اگر دوره تناوب هفتگی باشد، بازه متناظر در همان روز از هفته ماقبل به صورت عقب‌گرد هفتگی با استفاده از نقشه بیتی هفتگی بررسی می‌شود. اگر دوره تناوب ماهانه باشد، بازه متناظر از همان روز از همان هفته به صورت عقب‌گرد ماهانه بررسی می‌شود. نهایتاً حضور و یا عدم حضور گره کاندید در یک بازه متناظر معلوم می‌شود. در صورت حضور ($P_y^C = 1$)، با استفاده از روشی که در پاراگراف قبل پیشنهاد دادیم، مقدار تابع ارسال با داده‌های بازه متناظر محاسبه و نسبت به ارسال یا عدم ارسال پیام اقدام می‌شود؛ بنابراین تابع ارسال بازه متناظر به صورت رابطه (۶) قابل بیان است:

$$= x'yz + xyzf_L^C + y'f_G^C f_C \quad (6)$$

تابع f_L^C تابع ارسال با رنکینگ محلی و f_G^C هم تابع ارسال با رنکینگ عمومی در همان بازه هستند. در این تابع برای متغیرهای x ، y و z از اطلاعات بازه متناظر استفاده می‌شود؛ بنابراین تابع ارسال کلی به صورت زیر خواهد بود:

$$f = P_y^P f_P + \bar{P}_y^P P_y^C f_C \quad (7)$$

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه بعضی معیارهای اجتماعی برای گره‌های مختلف خیلی متمایز کننده نبوده و مقادیر آن‌ها نزدیک به هم هستند (چیوانو و همکاران، ۲۰۱۷)، اگر از ترکیب چند معیار اجتماعی استفاده کنیم، تمایز بین گره‌ها دقیق‌تر خواهد بود؛ لذا ما مثل مقاله فوق در این مرحله از معیارهای اجتماعی شباهت، اعتماد، مرکزیت، دوستی و استحکام اجتماعی استفاده می‌کنیم؛ ولی چون امکان دارد زمان باقی‌مانده از تماس فعلی دو گره دلخواه برای ارسال پیام کفایت نکند، لذا در این روش قبل از هرگونه تصمیم‌گیری درخصوص ارسال پیام، یک بررسی روی احتمال ارسال ناموفق پیام انجام می‌شود. در صورت

بالا بودن این احتمال از حد آستانه پارامتر آلفا (α)، بررسی‌های دیگر انجام نمی‌شود. این امر به طور مشخص به کاهش هزینه شبکه از جمله کاهش تعداد پیام با حالت ارسال ناتمام و به تبع آن کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند. بر اساس نتایج آزمایش‌ها ما پارامتر آلفا را ۰.۵ انتخاب کردیم. الگوریتم ۱ شبه کد مسیریاب آرتیمیا را نشان می‌دهد.

الگوریتم ۱: شبه کد فاز هدایت مسیریاب آرتیمیا

```

Begin
r <- MessageSize(m) / NetworkInterfaceSpeed
t <- CurrentContactElapsedTime
// T : contact time random variable
AbortingProb <- P(T - t < r)
if(AbortingProb >  $\alpha$ ) exit
i = presentInterval
if(!Present(y,i))
    if(!findCorrespondingInterval(BitMapTables)) exit
    i=correspondingInterval
if(Community(x,i) == Community(y,i))
    if(Community(z,i)==Community(y,i))
        if(IntraCommunityRank(z,i) > IntraCommunityRank(x,i))
            SendMessageTo(m,z)
    else if(Community(z,i) == Community(y,i)
        or (InterCommunityRank(z,i) > InterCommunityRank(x,i))
            SendMessageTo(m,z)
end.
    
```

لازم به ذکر است که متد intraCommunityRank() تابع مطلوبیت را در داخل انجمن و متد interCommunityRank() در کل شبکه محاسبه می‌کند. وظایف بقیه متدها هم از عنوان آن‌ها قابل تشخیص است. شبه کد فازهای دیگر مثل بروزرسانی CTICT، بروزرسانی گراف شبکه، تشخیص انجمن و موارد دیگر جهت رعایت اختصار آورده نمی‌شوند.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این بخش، پروتکل‌های مقایسه، مجموعه داده‌های استفاده شده، معیارهای ارزیابی و نتایج حاصل ارائه می‌شود.

پروتکل‌های مقایسه

از بین الگوریتم‌های موجود دو پروتکل معروف زیر به کار برده شده است:

۱- TCCB (زو و همکاران، ۲۰۱۷): از پیش‌بینی الگوی تماس گذرای اجتماعی شامل نزدیکی و مرکزیت گذرا استفاده می‌کند.

۲- مسیریابی دینامیک (DR) (چیوانو و همکاران، ۲۰۱۷): یک مسیریاب اجتماع آگاه است که از گروه‌بندی گره‌های شبکه بهره می‌برد. این روش یک تابع مطلوبیت متشکل از پنج ویژگی اجتماعی را با ضرایب پویا به عنوان معیار رتبه‌بندی به کار می‌برد.

مجموعه داده استفاده شده

آزمایش‌ها روی شبکه MIT در شبیه‌ساز ONE انجام داده می‌شود. شبکه MIT یک شبکه واقعی و طولانی در حدود یک سال است که در زمینه MSN کاربرد زیادی دارد. مدت زمان این مجموعه داده برای ارزیابی حرکت گره‌ها در یک دوره طولانی و منظم بسیار مناسب است. در این شبکه، در حدود صد گوشی هوشمند با واسط شبکه بلوتوث توسط دانشجویان و کارکنان دانشگاه MIT بکار برده شده‌اند. شبیه‌ساز بکار رفته هم مبتنی بر جاواست که روی مقوله هدایت بسته‌ها تمرکز دارد. چندین پروتکل مثل اپیدمیک، پروف، پاش و صبرکن در این شبیه‌ساز وجود دارند. پروتکل‌های مورد مقایسه بطور کامل توسط نویسندگان مقاله حاضر پیاده‌سازی شده‌اند.

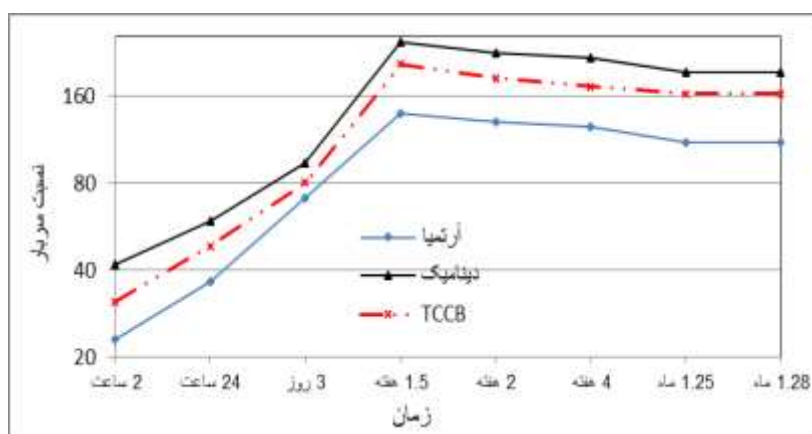
معیارهای ارزیابی

۱- نرخ تحویل: نسبت پیام‌های تحویل داده شده به مقصد نهایی به تعداد کل پیام‌های تولید شده را نشان می‌دهد.

- ۲- نسبت سربار شبکه: نسبت تعداد کل پیام‌های کپی شده در شبکه به تعداد پیام‌های اولیه را نشان می‌دهد.
- ۳- تأخیر تحویل: متوسط زمان سپری شده بین تولید پیام‌ها تا تحویل آن‌ها به مقصد است.

نتایج

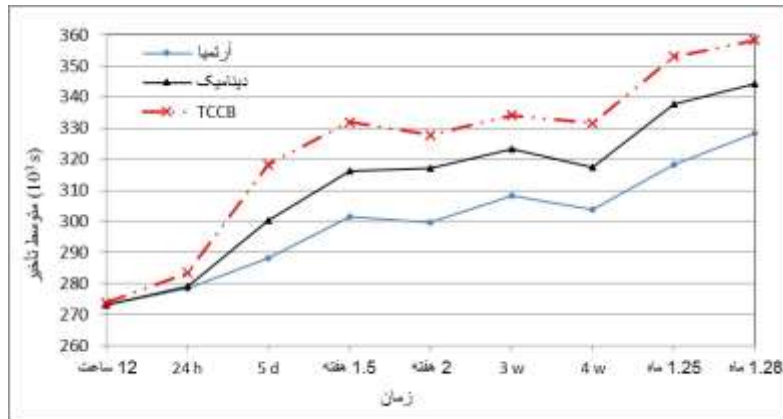
در آزمایش‌ها اطلاعات تماس یک ترم تحصیلی بکار برده شد. از داده‌های تماس یک ترم در حدود یک ماه برای آموزش (گرم کردن) مدل و تنظیم جداول نقشه‌های بی‌تی با همان بازه‌های روزانه و اندازه پارامتر آلفا که قبلاً آورده شدند، استفاده شد. در روش TCCB پارامترهای w و g به ترتیب برابر $0/8$ و $0/5$ تنظیم شده و از روش PWM آن برای پیشگویی استفاده شد. اندازه بافر گر‌ها ۶۰۰ مگابایت، بازه تولید و طول عمر پیام‌ها به ترتیب ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ ثانیه و ۱۰ روز در نظر گرفته شد.



شکل ۲: نسبت سربار شبکه برای پروتکل‌های مورد مقایسه

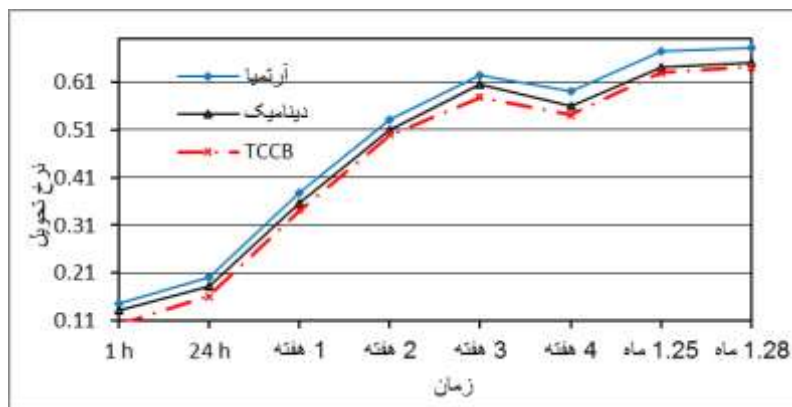
شکل ۲ معیار نسبت سربار یا هزینه شبکه را برای پروتکل‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد. از نمودارها می‌توان دریافت که آرتمیا این معیار را در مقایسه با دینامیک و TCCB به ترتیب در حدود ۴۴٪ و ۳۵٪ بهبود می‌دهد. بیشینه سربار آرتمیا حدود ۱۴۰ است. با توجه به مراحل الگوریتم ۱ که در انتهای بخش روش پژوهش آورده شده است، الگوریتم پیشنهادی ابتدا زمان لازم را برای ارسال یک بسته محاسبه می‌کند. سپس با توجه به زمان سپری شده از تماس فعلی، احتمال اینکه پیام مذکور در باقیمانده زمان تماس فعلی نتواند به صورت کامل ارسال شود محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی، در صورتی که این احتمال بیشتر از مقدار پارامتر آلفا باشد اجازه ارسال پیام داده نمی‌شود. به این طریق تعداد پیام‌های با وضعیت ارسال ناتمام کمتر می‌شود. حال چون سربار شبکه با تعداد پیام‌های ارسال ناتمام نسبت مستقیم دارد؛ لذا با این تکنیک سربار شبکه بطور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. این تکنیک در روش‌های دیگر بکار برده نشده است.

در اشکال ۳ و ۴ هم می‌توان به ترتیب مقادیر مربوط به معیارهای نرخ تحویل و متوسط تأخیر تحویل سه پروتکل مختلف را مقایسه کرد. از شکل ۳ می‌توان دریافت که معیار تأخیر تحویل در آرتمیا بهبود حدوداً ۶ و ۸ درصدی را نسبت به روش‌های دینامیک و TCCB تجربه می‌کند. این بهبود بدین دلیل حاصل شده است که در روش پیشنهادی، حضور گر‌ها در بازه‌های مختلف ثبت و رصد می‌شود؛ لذا در هنگام برخورد با یک گر به عنوان کاندید حمل پیام، مطلوبیت آن گر مثل روش‌های دیگر فقط به صورت کلی سنجیده نمی‌شود؛ بلکه به این موضوع توجه می‌شود که در چه بازه‌ای قرار دادیم و بازه مربوط به حضور گر مقصد در انجمن این گر کاندید چه بازه‌ای از شبانه‌روز، هفته و یا ماه است؛ لذا از تحویل پیام به گر‌های نامطلوب و دست به دست شدن پیام بین آن‌ها جلوگیری می‌شود که نهایتاً به کاهش تأخیر تحویل می‌انجامد.



شکل ۳: متوسط تأخیر تحویل برای پروتکل‌های مورد مقایسه

شکل ۴ نشان می‌دهد که آرتمیا علاوه بر بهبود معیارهای قبلی، معیار نرخ تحویل را با میزان تحویل ۶۸٪ در مقایسه با دو روش دیگر به طور متوسط در حدود ۶٪ و ۵/۵٪ بهبود می‌بخشد. برای مجموعه داده‌های دیگر مثل Infocom06 هم نتایج مشابهی بدست آوردیم که به دلیل محدودیت فضا در اینجا آورده نشدند. بهبود نرخ تحویل در الگوریتم پیشنهادی هم با توجه به قابلیت‌های آن دور از ذهن نیست. با توجه به اینکه این الگوریتم در خصوص حضور یا عدم حضور گره‌ها از اطلاعات بازه‌های مختلف بهره می‌برد؛ لذا از تحویل پیام به گره‌های نامطلوب جلوگیری کرده و هدایت دقیق‌تری را اعمال می‌کند. این نوع هدایت طوری که در شکل ۳ نشان داده شد، باعث کاهش دست به دست شدن‌های غیرضروری و تأخیر تحویل می‌شود. از آنجائی که پیام‌ها دارای طول عمر هستند، کاهش دست به دست شدن زیاد باعث کاهش احتمال انقضای طول عمر پیام و حذف آن می‌شود. نهایتاً حذف کمتر پیام‌ها، احتمال تحویل آن‌ها به مقصد را به عنوان نرخ تحویل بالا می‌برد.



شکل ۴: نرخ تحویل برای پروتکل‌های مورد مقایسه

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مسیر یاب با ویژگی بارز آگاهی به نظم تماس و مبتنی بر انجمن به نام آرتمیا برای شبکه اجتماعی متحرک پیشنهاد داده شد. این مسیر یاب برای آگاهی از نظم تماس، هر روز را به بازه‌های مشخص تقسیم کرده و در هر بازه اقدام به تشخیص و ثبت انجمن می‌کند؛ لذا این مسیر یاب در کاربردهایی که گره‌های شبکه اجتماعی متحرک از تحرک نسبتاً منظمی برخوردارند، کارایی بالایی از خود نشان می‌دهد. به طور مثال در محیط‌های مجتمع مثل آپارتمان‌ها و شهرک‌ها،

دانشگاه‌ها، ادارات و ... که افراد با نظم نسبی حضور و یا عبور و مرور داشته و همینطور در انجمن‌های قبلی مجدداً عضویت پیدا می‌کنند، کارایی بهتری می‌تواند نشان دهد. همینطور در شبکه‌های خودرویی، ماهواره‌ای و هر نوع شبکه تأخیرپذیر دیگر که در آن‌ها میزبان‌های شبکه با نظم نسبی از مسیرهای خاصی عبور می‌کنند نیز مفید خواهد بود. در این مسیریاب برای تشخیص انجمن از بهبود یافته روش مبتنی بر ماژولاریتی به صورت بهینه‌سازی دومعیاری استفاده شد. حضور میزبان‌ها در ایام هفته برای کاربردهای روزانه، در هفته‌های هر ماه برای کاربردهای هفتگی و در ماه‌های مختلف برای کاربردهای طولانی‌تر با نقشه‌های بیتی متناسب ثبت می‌شود. برای تمایز بین گره‌ها در هدایت بسته‌ها در درون یک انجمن و یا بین انجمن‌ها توابع ارسال رنکینگ محلی و رنکینگ عمومی بهینه شده با یک جدول شبه کارنو ارائه و برای تمایز و تشخیص روابط اجتماعی مختلف مثل دوستی، آشنایی و غریبه بودن از نابرابری چبیشف استفاده شد. نتایج حاصل نشان دادند که در مقایسه با روش‌های دینامیک و *TCCB*، آرتمیا معیار سربار شبکه‌ای را به ترتیب تا حداکثر ۴۴٪ و ۳۵٪، و معیارهای نرخ تحویل و تأخیر تحویل را به ترتیب در حدود ۶٪ و ۸٪ بهبود می‌دهد.

منابع

- رشیدی، حسن؛ علیزاده، نادی و مومنی ازدریانی، سهیل. (۱۳۹۹). رویکردی مبتنی بر اینترنت اشیا برای مدیریت هوشمند ساختمان با استفاده از روش فازی. دانشنامه تحول دیجیتال، دوره ۱، شماره ۱، ص ۱۷-۴۴.
- Ayub Q. and Rashid S. (2023). Community trend message locking routing protocol for delay tolerant network. *Peer-to-Peer Networking and Applications*. vol. 16. pp. 1-19.
- Ava A., et al., (2022). On Detecting Route Hijacking Attack in Opportunistic Mobile Networks. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 20, no. 3, pp. 2516-2532.
- Benamar N., et al. (2014). Routing protocols in Vehicular Delay Tolerant Networks: A comprehensive survey. *Computer Communications*, vol. 48, pp. 141-158.
- Chakchouk N., A survey on opportunistic routing in wireless communication networks. (2015). *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, p. 2214-2241.
- Ciobanu R., et al. (2017). A dynamic data routing solution for opportunistic networks. 14th International Conference on Telecommunications (ConTEL), Zagreb, Croatia. p. 83-90.
- Daly E. and Haahr M. (2007). Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETS. *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*. p. 32-40.
- Fall K., (2003), A delay-tolerant network architecture for challenged internets, in *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. ACM: Karlsruhe, Germany. p. 27-34.
- Gao W., et al., (2009), Multicasting in delay tolerant networks: a social network perspective, in *Proceedings of the tenth ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. ACM: New Orleans, LA, USA. p. 299-308.
- Haggle, Haggle project, (2013). <<http://www.haggleproject.org>>.
- Huang M., et al., (2023). An Improved Probabilistic Routing Algorithm Based on Moving Direction Prediction in DTNs. In *Proceedings of the World Conference on Intelligent and 3-D Technologie, Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 323, Springer, Singapore.
- Hui P., et al., (2007). Distributed community detection in delay tolerant networks, in *Proceedings of 2nd ACM/IEEE international workshop on Mobility in the evolving internet architecture*. ACM: Kyoto, Japan. p. 1-8.
- Hui P., Crowcroft J., and Yoneki E., (2011). BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 11, pp. 1576-1589.
- Kumaram S., Srivastava S., and Sharma D.K., (2020). Neural network-based routing protocol for opportunistic networks with intelligent water drop optimization. *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, issue 8, e4368.
- Liu Q., et al. (2013). An interest community routing scheme for opportunistic networks. in *2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*.
- Memon S., et al. (2023). Enhanced Probabilistic Route Stability (EPRS) Protocol for Healthcare Applications of WBAN. *IEEE Access*, vol. 11, pp. 4466-4477.

- Moradi S., Mohasefi JB., Mahdipour E., (2021). MSN-CDF: New community detection framework to improve routing in mobile social networks, *International Journal of Communication Systems*, vol. 34, no. 18, e4989.
- Moradi S., Mohasefi JB., Mahdipour E., (2021), Modeling homogeneous contact distribution of nodes and its application in routing in Mobile Social Networks, *Tabriz Journal of Electronic Engineering*, vol. 51, no. 4.
- Mota V.F.S., et al., (2014). Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. *Computer Communications*, vol. 48, no. 1, pp. 5-19, 2014.
- Radenkovic M. and A. Grundy, (2012). Efficient and adaptive congestion control for heterogeneous delay-tolerant networks. *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, pp. 1322-1345.
- Roy A., et al., (2017). Social-based energy-aware multicasting in delay tolerant networks. *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 87, no. 12, pp. 169-184.
- Sobin CC., et al., (2016). A survey of routing and data dissemination in Delay Tolerant Networks. *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 67, no. 9, pp. 128-146.
- Tulu M.M., et al., (2020). Influential nodes selection to enhance data dissemination in mobile social networks: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 169, no. 2, Article 102768.
- Wang X., et al., (2020). Social-aware resource allocation for multicast device-to-device communications underlying UAV-assisted networks. *Computer Communications*, vol. 153, pp. 367-374.
- Xia F., et al., (2015). Socially aware networking: A survey. *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 3, p. 904-921.
- Zhou H., et al., (2017). Predicting Temporal Social Contact Patterns for Data Forwarding in Opportunistic Mobile Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 11, pp. 10372-10383.
- Zhang D., Ma H., and Zhao D. (2017). Social-Aware Backbone-Based Multicast Routing in Mobile Opportunistic Networks. in *2017 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications(BIGCOM)*.