سیستم‌های فازی و کاربردها
سال پنجم، شماره دوم (پائیز و زمستان ۱۴۰۱)
صص. ۲۹۳ تا ۳۱۴

شاپای چاپی: ۲۷۱۷-۴۴۰۹
شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۹۸۴
DOI:10.22034/JFSA.2023.371226.1155

ارائه پروتکل مسیریابی جدید با هدف بهبود مصرف انرژی و کنترل ازدحام در شبکه های ارتباطی MANET با استفاده از منطق فازی

شایسته طباطبایی* **و حامد شهرکی**

دانشکده مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران
دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت ایرانشهر، ایرانشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

با پیشرفت تکنولوژی ارتباطات بی سیم، شبکه های MANET به دلیل بهبود قابلیت انعطاف پذیری و کاهش هزینه ها توانسته اند توجهات بسیاری را به خود جلب کنند. ایستگاه های سیار در یک شبکه MANET دائما در حال جابجایی هستند، بنابراین نیاز به اجرای یک پروتکل مسیریابی است که در مقابل این تغییرات اجرا شود. طراحي چنین پروتکل هایی بطور معمول، چالش ها و مشکلات خاصي را به همراه دارد. یکي از این چالش ها، احتمال وقوع ازدحام به دلیل بالا بودن نرخ ارسال اطلاعات به سمت گره مقصد و همچنین مصرف بالای انرژی گره ها مي باشد. ازدحام موجب از دست رفتن اطلاعات و هدر رفتن انرژی موجود در گرهها مي شود، بر این اساس در این مقاله، به منظور کنترل ازدحام، روشی جدید بر اساس منطق فازی پیشنهاد شده است. در پروتکل پیشنهادی، منطق فازی با استفاده از سه پارامتر طول بافر صف، سرعت تحرک گره ها و پهنای باند در دسترس به عنوان ورودی، به تشخیص، اعلان و کنترل ازدحام می پردازد. با شبیه سازی روش پیشنهادی و (ادامه دارد)

عبارات و کلمات کلیدی: شبکه های موردی سیار، پروتکل مسیریابی(CBP(Cukoo based protocol ،کنترل ازدحام، منطق فازی

Email(s): shtabatabaey@yahoo.com, h.shahraki@velayat.ac.ir.

Mathematics Subject Classification: 05C72 ; 94D05

مقایسه آن با پروتکلCBP می توان دریافت که پروتکل پیشنهادی عملکرد بسیار بهتری برای کنترل ازدحام نسبت به CBP دارد.

۱ مقدمه

شبکه های MANET [1]مجموعه ای از گره های بی سیم سیار هستند که به صورت پویا و بدون استفاده از مدیریت متمرکز[2] یا زیرساخت های[3] ارتباطی، یک شبکه ارتباطی را تشکیل می دهند. بعلت نبود زیرساخت هاي ارتباطي نظیر نقاط دسترسي[4] و یا ایستگاه هاي پایه[5]، ارتباطات در این نوع شبکه ها وابسته به گره هاي میاني است. در واقع هر گره در این نوع شبکه، نقش یک مسیریاب را براي سایر گره ها ایفا کرده و با ارسال بسته هاي داده به گره هاي همسایه، امکان برقراري ارتباط با گره های دوردست را فراهم می آورد]۱[. مسیریاب های (گره های) موجود در این شبکه ها میتوانند آزادانه و به صورت تصادفی[6] درون شبکه حرکت کرده و خود را سازمان دهی کنند؛ بنابراین، توپولولوژی شبکه ممکن است متناوباً و به صورت پیش بینی نشده تغییر پیدا کند.

در این ساختارها لزوم توجه همزمان به پارامترهایی چون: چند گامی[7]، سیار بودن[8]، ترکیب با سایر دستگاه های غیر همگن[9]، پهنای باند و محدودیت در باتری، طراحی پروتکل های مسیریابی را به یک چالش کلیدی تبدیل کرده است. علاوه بر این، با توجه به ماهیت این شبکه ها، ممکن است هر لحظه گره های جدیدی به شبکه بپیوندند[10] و یا گره هایی شبکه را ترک[11] کنند، در نتیجه، بدلیل نامعتبر شدن لینک بین گره ها و متعاقبا، استفاده از لینک مشترک برای ارسال اطلاعات، گره هایی در شبکه خاموش شوند (مصرف بالای باتری)، که این امر موجبات کاهش کیفیت خدمات لینک را فراهم می آورد، چنین پدیده ای تحت عنوان ازدحام شناخته می شود. تأخیر صف، حذف بسته ها، مسدود شدن ارتباطات جدید و هدر رفتن منابع، از اثرات آشکار وقوع ازدحام هستند، لذا به منظور بهبود عملکرد و بازدهی چنین شبکه ای لازم است قبل از وقوع ازدحام از ایجاد آن پیشگیری نمود. اخیراً تعداد قابل‌توجهی از تلاش های تحقیقاتی در راستای

[1] Mobile Ad hoc networks
[2] Central management
[3] Infrastructure
[4] Access Point
[5] Base Station
[6] Randomly
[7] Multihop
[8] Mobile
[9] Heterogeneous
[10] Join
[11] Leave

حل مسئله ی ازدحام در شبکه های MANET صورت گرفته است و می توان در یک جمع بندی کلی آن‌ها را به چهار دسته ی عمده تقسیم کرد: ۱) پروتکل های کمک صف ۲) پروتکل های آگاه از اولویت ۳) پروتکل های تشکیل توپولوژی ۴) پروتکل های کنترل منابع.
پروتکل های کمک صف، بیشتر روی طول صف و گره ها تمرکز کرده و از یک روش تنظیم نرخ مانند افزایش و کاهش چند جزئی استفاده می کنند. پروتکل های آگاه از اولویت، اولویت های مختلف گره ها را در شرایط ازدحام در نظر گرفته و سعی می کنند که خدمات برابر برای گره ها در همان کلاس اولویت فراهم کنند. پروتکل های تشکیل توپولوژی با توجه به نرخ ورودی ازدحام گره ها، تنظیم می شوند، این روند معمولاً از طریق فعال و یا غیرفعال کردن گره های نزدیک به منطقه ی ازدحام انجام می‌گیرد. با این حال، تغییر توپولوژی شبکه همیشه عملی نیست و ممکن است برای شبکه های پراکنده، دارای کارایی کمتری باشد. پروتکل های کنترل منبع نیز میزان مصرف منابع در گره های نزدیک ناحیه ی ازدحام را کنترل می نمایند. به طورکلی، با توجه به محدودیت منابع در این شبکه ها و تعداد محدود گره های سیار توزیع شده، ازدحام و تراکم اطلاعات در گره های میانی رخ خواهد داد؛ زیرا گره های سیار برای ارسال اطلاعات خود با گره های سیار همسایه برای دسترسی به کانال ارتباطی رقابت می نمایند. ازدحام اطلاعات در شبکه های MANET بی سیم، تأثیر منفی بر روی کارایی این شبکه ها داشته و باعث کاهش گذردهی، افزایش انرژی مصرفی به ازای هر بسته ارسالی، افزایش تأخیر و افزایش تعداد بسته های ازدست رفته می شود. بر این اساس در این مقاله سعی می شود با استفاده از منطق فازی از وقوع ازدحام در شبکه MANET پیشگیری نمود.

۲ کارهاي مرتبط

الگوريتم هاي متعددي براي مسيريابی و کنترل ازدحام در شبکه هاي MANET وجود دارند. کستلانو و همکاران [۲]، یک الگوریتم مسیریابی جدید، مبتنی بر پروتکل AODV، با عنوان AQA-AODV[۱۲] را ارائه کردند. این الگوریتم بر اساس نیازمندی های کیفیت خدمات در یک کاربرد خاص، مسیرها را ایجاد کرده و از یک روش تخمین پهنای باند برای یک مسیر یا یک لینک استفاده می کند. همچنین، به منظور فراهم آوردن بازخوردی از وضعیت فعلی شبکه برای گره منبع، یک الگوی تطبیقی بکار گرفته می شود. نتایج بررسیها نشان داده است که این پروتکل میتواند تعداد لینک های قطعی و تأخیر بسته ها را بهبود بخشد.
سرکار و داتا [۳]، یک پروتکل مسیریابی چند مسیره مطمئن پیشنهاد کرده اند که از نظر انرژی

[12] QoS routing protocol based on AODV

مصرفی، کارایی بالایی داشته و مبتنی بر زنجیره مارکوف[۱۳] می باشد. پروتکل پیشنهادی چندین مسیر را بین مبدأ و مقصد شناسایی کرده و از بین مسیرهای حاوی، گره هایی با بالاترین سطح انرژی، مسیری را به صورت تصادفی برمی گزینند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این پروتکل، با ارسال بسته های داده ازمسیرهای تصادفی، سرقت اطلاعات، ایجاد مزاحمت و ... را بهبود می بخشد. بودیال و منوی [۴]، الگوریتم مسیریابی ANFIS[۱۴] را بمنظور بهبود پهنای باند و تاخیر زمانی در شبکه های MANET پیشنهاد کردند که از یک مجموعه از عوامل[۱۵] ایستا و متحرک استفاده می کند. روش پیشنهادی دارای چهار عامل می باشد: (۱) عامل بهینه سازی در سمت مشتری که توابع عضویت را برای پهنای باند، تأخیر لینک و نرخ از دست رفتن بسته بهینه سازی می کند، (۲) عامل ایجاد مسیر تک پخشی که برای کشف مسیرها از یک مبدأ به تمام گیرندگان مورد استفاده قرار می گیرد، (۳) عامل مدیر تک پخشی که فاکتور کیفیت خدمات را برای هر مسیر پیدا می کند، (۴) عامل ایجاد مسیر تک پخشی برای نگهداری مسیر با کیفیت: در حالت هایی که خطا برای گره یا لینک روی دهد این عامل مورد استفاده قرار می گیرد.

در سال ۲۰۱۵، نسخه بهبود یافته الگوریتم مسیریابی مبدأ پویا(DSR[۱۶]) که مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان[۱۷] است، بوسیله کترجی و دس معرفی شد [۵]. در این پروتکل سطح فرمون یک مسیر (معیاری از کیفیت آن مسیر) بر اساس تعداد گام، ازدحام و قابلیت اطمینان انتها به انتهای[۱۸] آن مسیر مشخص می شود. این الگوریتم هزینه پردازشی پایین، مصرف انرژی کم، نرخ تحویل بسته بالا و تأخیر انتها به انتها[۱۹] پایینی دارد. چتیبی و چیکی [۶]، یک پروتکل مسیریابی AODV مبتنی بر روش فازی، برای کاهش مصرف انرژی در شبکه های MANET متحرک پیشنهاد کردند. این الگوریتم با عنوان DFES-AODV[۲۰] شناخته می شود و در آن هر گره (در فاز کشف مسیر) برای تصمیم گیری در مورد ارسال درخواست مسیر[۲۱] از سیستم منطق فازی ممدانی[۲۲] استفاده می کند. ورودی های سیستم منطق فازی، سطح باتری باقی مانده و میزان از دست رفتن انرژی گره های متحرک می باشند.

در سال ۲۰۱۵، یک پروتکل مسیریابی همه پخشی با عنوان ZCG[۲۳] توسط باسورا و همکاران

---

[13] Markov chain

[14] Adaptive Nero-Fuzzy Inference System

[15] Agents

[16] Dynamic Source Routing

[17] Ant Colony Optimization

[18] End-to-end reliability

[19] End-to-end delay

[20] dynamic fuzzy energy state based AODV

[21] Route requests

[22] Mamdani

[23] Zone based Routing with Parallel Collision Guided Broadcasting Protocol

[۷]، پیشنهاد شد که الگوریتم خوش ،بندی تک گامی را به کار گرفته و می تواند از تصادم بین انتقالهای هم زمان جلوگیری نماید. این الگوریتم می تواند انتقال های همه پخشی افزونه را کاهش داده و فرآیند کشف مسیر را نیز سرعت بخشد. همچنین الگوریتم پیشنهادی قادر است انرژی مصرفی گره ها را در سطح پائینی نگه دارد. کومار و ساتیناریانا، یک پروتکل مسیریابی آگاه از کیفیت خدمات را برای تقسیم بندی ترافیک، در شبکه های MANET پیشنهاد نمودند [۸]. در این پروتکل در ابتدای کار، چند مسیر که می توانند نیازمندی های کیفیت خدمات از قبیل پهنای باند، تاخیر و پایداری مسیر را برآورده کنند، کشف شده و داده از طریق آن ها ارسال می گردد. نتایج شبیه سازی ها نشان دادند که این الگوریتم می تواند تاخیر در شبکه و میزان از دست رفتن بسته ها را کاهش دهد.

رایم و همکاران [۹]، از کدگذاری تصادفی به جهت بهبود کیفیت خدمات داده های ویدیویی، در شبکه های MANET استفاده کردند. بر این اساس، یک الگوی انتقالی مقیاس پذیر ارائه می شود که می تواند میزان از دست رفتن بسته های با اولویت بالاتر را کاهش دهد، این مساله به بهبود و افزایش کیفیت جریان های ویدیویی منجر شده است.

سافا و همکاران [۱۰]، یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی، با بکارگیری گره های همگن به نام PHAODV،[۲۴] را برای مسیریابی در شبکه های MANET پیشنهاد کردند. الگوریتم فوق در هنگام ایجاد جدول مسیریابی، وضعیت باتری گره ها را نیز در نظر میگیرد، بعلاوه هنگامی‌که چندین مسیر بین دو گره در دسترس هستند، مسیر دارای انرژی مصرفی کمتر انتخاب شده و گره های روی آن به جدول مسیریابی اضافه خواهند شد.

تحقیقات اخیر جهت حل مشکل ازدحام شبکه های MANET (مبتنی بر NDN[۲۵]) فقط به دو معیار نرخ بهره وری و روش انتقال مجدد توجه نموده اند. در راستای تکمیل تحقیقات قبلی، مساله حفاظت از انرژی در کنترل ازدحام توسط ماچتر و همکاران در نظر گرفته شد [۱۱]. نتایج نشان داد که حفظ انرژی واقعی در کنترل ازدحام، در شبکه MANET مبتنی برNDN به دلیل تفاوت های اساسی بین طراحی TCP/IP و NDN غیرممکن است و راه حل کنترل ازدحام برای NDN بهینه نشده است.

آنشل و همکاران [۱۲]، به منظور بهبود کیفیت خدمات درMANET ، روشی را برای انتخاب مسیر پیشنهاد کردند که پروتکل AODV و الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) را ترکیب می کرد. بر اساس روش پیشنهادی، بهترین مسیر برای تحویل داده ها با استفاده از مقدار فرمون مسیر انتخاب می شود. در روش فوق، بسته های درخواست مسیر در شبکه پخش می شوند، پس از دریافت بسته درخواست مسیر، گره مقصد، مقدار فرمون یک مسیر را بر اساس

[24] Power aware Heterogeneous AODV

[25] Named Data Networking

معیارهای قابلیت اطمینان (ازدحام، تعداد گام ها و انرژی باقیمانده مسیر) محاسبه می کند و بسته پاسخ مسیر را می فرستد. مسیری که دارای بالاترین مقدار فرمون است برای انتقال بسته داده انتخاب می شود. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که روش پیشنهادی از الگوریتم های مسیریابی ،AODV مسیریابی منبع دینامیک (DSR) و Enhanced-Ant-DSR از لحاظ نرخ گذردهی، تعداد گره های زنده، نرخ تحویل بسته و تأخیر انتها به انتها بهتر عمل می کند.

مسیریابی در شبکه MANET به دلیل حرکت گره ها بسیار چالش برانگیز است. در نتیجه، پیش بینی موقعیت گره و مسیریابی بر اساس موقعیت های پیش بینی شده به ایجاد مسیرهای با طول عمر بالا کمک می کند. فارهین و جین [۱۳]، یک روش پیش بینی مکان گره با استفاده از یک مدل ترکیبی و بر اساس ویژگی های زمانی، مکانی، حرکت نسبی گره و همسایگی آن پیشنهاد کردند. در هسته ی مدل ترکیبی، چهار مدل مختلف، پیش‌بینی شده و روش همجوشی وزنی برای ترکیب نتایج حاصل در نظر گرفته می شود. این پروتکل زمانی بکار می رود که احتمال عدم قطعیت پیش بینی مکان در آنجا زیاد است، لذا سربار بسته در مسیریابی چند مسیره کنترل می شود. شبیه سازی ها نشان می دهد که این مدل دقت پیش بینی بالایی دارد.

درسال ۲۰۲۲، الگوریتمی تحت عنوان (EMBTR[۲۶]) برای انجام فرآیند مسیریابی ایمن، توسط خان و راجالکشمی [۱۴]، پیشنهاد شد. در روش پیشنهادی، از پارامترهای کیفیت خدمات مانند نرخ پایداری، نرخ قابلیت اطمینان و زمان سپری شده برای بهبود عملکرد شبکه در مبارزه با حملات استفاده شده است. در این روش بر اساس معیارهای قابل اعتماد محاسبه شده برای گره های شبکه، می توان با جداسازی گره های مخرب از مسیر ارتباطی، یک مسیر قابل اعتماد را فراهم آورد. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که روش پیشنهادی در قیاس با الگوریتم های مسیریابی موجود مانند TSRM[۲۷] (مدل مسیریابی امن مبتنی بر اعتماد) و TARF[۲۸] (چارچوب مسیریابی آگاه از اعتماد برای WSN) می تواند به طور موثرتری گره های مخرب را شناسایی و حذف کند. این مساله به مسیریابی ایمن و البته با انرژی محدود منتهی می شود.

برای به حداقل رساندن تاخیر مسیریابی، دنیلچنکو و همکاران، از روشی مبتنی بر TDMA[۲۹] استفاده کردند [۱۵]. نویسندگان چالش زمان بندی درخواست و کنترل انرژی باتری در TDMA را در نظر گرفته و برای به حداقل رساندن تاخیر انتها به انتها، از معیار وزن استفاده نمودند. همچنین با الهام از پیشرفت های اخیر در هوش مصنوعی، از سناریو یادگیری عمیق و بکارگیری یک شبکه عصبی چند لایه استفاده نمودند. نتایج شبیه سازی نشان می داد که روش پیشنهادی موجب کاهش تاخیر و بهبود مصرف انرژی در شبکه های MANET می شود.

---

[26] enhanced multi attribute based attack resistance

[27] Trust based secure routing model

[28] Trust-aware routing framework for WSNs

[29] time-division multiple access

پرکینز در سال ۲۰۰۳، به تشریح پروتکل شناخته شده AODV[۳۰] که توسعه ای بر روی پروتکل DSDV است می پردازد [۱۶]. پروتکل AODV تعداد آگهی های ارسالی در یک مسیر را، بوسیله ایجاد مسیرهای مبتنی بر تقاضا (به جای نگهداری یک لیست کامل از مسیرها) کمینه می کند. در این پروتکل، کشف مسیر به صورت مبتنی بر تقاضا صورت پذیرفته، سپس درخواست مسیر بوسیله منبع به گره های همسایه هدایت می شود. این روند تا وقتی که یک گره میانی یک مسیر تازه برای مقصد را کشف کند ادامه می یابد. در AODV، اگر یك گره میانی یک بسته را در گذشته دیده باشد آن را دور انداخته و به آن توجهی نمی کند. بسته درخواست مسیر از شماره ترتیب هایی[۳۱] برای حصول اطمینان از ایجاد نشدن حلقه در مسیر استفاده می کند.

در سال ۲۰۱۸، پروتکل مسیریابی FRRP[۳۲] مبتنی بر بکارگیری گره هاي هوشمند و خودمختار در شبکه های MANET ارائه شد [۱۷]. هدف از ارائه چنین پروتکلي در کنار کاهش سربار مسیریابی، در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی مثل میزان انرژي باتري، میزان تحرک و میزان پهناي باند در دسترس در انتخاب یک مسیر بوده است. در ابتدای راه اندازي شبکه های فوق، به علت دانش غیرقطعی و ناقص گره ها، پروتکل از کارایی قابل قبولی برخوردار نمی باشد، ولی به مرور زمان به وضعیت مطلوب برای کمینه کردن هزینه و منابع مصرفی شبکه همگرا می شود. تحقیق انجام شده، با استفاده از منطق فازی نشان داد که استحکام پروتکل مسیریابیFRRP، نسبت به پروتکل مسیریابیAODV [۱۶] بالاتر است.

طباطبایی و نصرتی [۱۸]، یک روش مسیریابی براساس الگوریتم بهینه سازی فاخته (COA) را جهت یافتن لینک ها با پایداری بالا (CBP) پیشنهاد کردند. الگوریتم بهینه سازی فاخته یک الگوریتم فرا ابتکاری است که با تکرار راه حل ها، سعی دارد به راه حل بهینه سراسری (به مسیر پایدار) دست یابد. این الگوریتم با پروتکل مسیریابیAODV [۱۶] و پروتکل مسیریابی FRRP [۱۷]، با در نظر گرفتن پارامتر ازدحام مقایسه شد[۱۸]. نتایج شبیه سازی ها نشان داد که CBP از نظر نرخ بهره وری نسبت به پروتکل AODV، ۴/۹۷ درصد و نسبت به پروتکل FRRP، ۷ درصد بهبود یافته است، هم چنین CBP، از نظر تاخیر انتها به انتها نسبت به AODV، ۶۳/۵۲ درصد و نسبت به FRRP، ۲۵ درصد، از نظر تعداد گام نسبت به AODV، ۱۴/۱۱ درصد و نسبت به FRRP، ۴ درصد و از نظر زمان کشف مسیر نسبت به AODV، ۲۶/۴۴ درصد و نسبت به FRRP، ۴۰ درصد بهبود داشته است.

[30] AdHoc On-demand Distance Vector Routing

[31] Sequence number

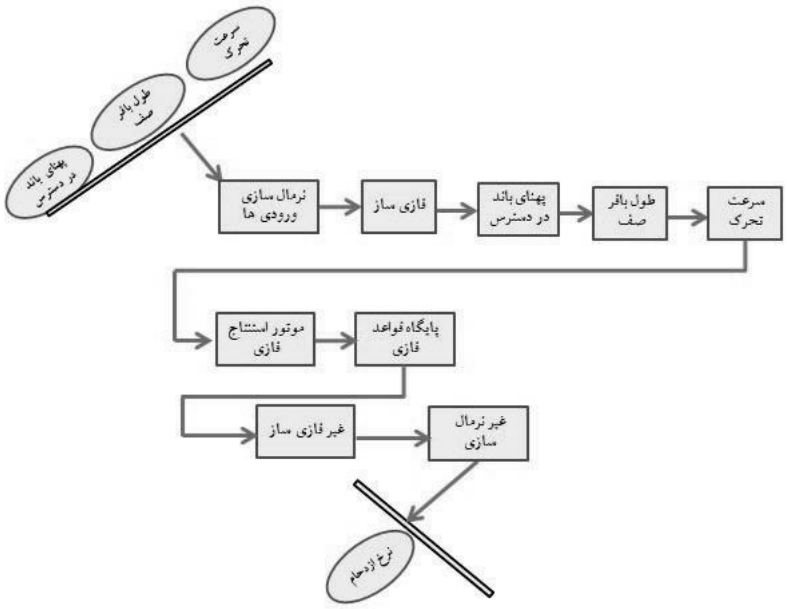
[32] fuzzy logic-based reliable routing protocol

۳ روش پیشنهادی

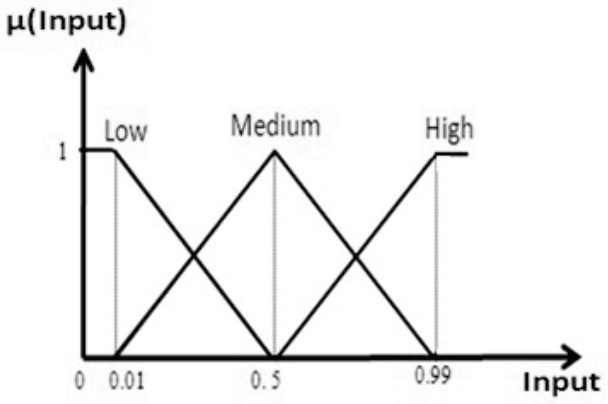
در روش پیشنهادی برای کنترل ازدحام در شبکه MANET از منطق فازی استفاده شده است. همچنین یك پروتکل مسیریابی جدید با عنوان FBP[۳۳] بکار گرفته شده است. پروتکل فوق قادر است، با در نظر گرفتن سه پارامتر طول بافر صف، سرعت تحرک گره ها و پهنای باند در دسترس، مناسب بودن یک لینک خروجی و نرخ ازدحام را تشخیص دهد. در صورتیکه یک لینک، مناسب تشخیص داده شود، گره اطلاعات مسیر استخراج و ذخیره می شود. با این عمل مسیرهای پایدار با کمترین میزان ازدحام برای مسیریابی انتخاب می شوند. در واقع، چون گرهها قادرند بصورت خودمختار و با استفاده از اطلاعات محلي خود تصمیم گیری نمایند، لذا این آگاهانه بودن تعاملات بین گره‌ها باعث پرهیز از شکست لینکها و در نهایت باعث انتخاب مسیر مناسب، با حداقل ازدحام میشود. یکی از معیارهای استفاده شده در FBP تازگی مسیر است. کاربرد معیار تازگی مسیر، جهت کشف مسیرهای جدید بهینه تر و تشخیص مسیرهای قدیمی برای ارسال اطلاعات بوده و موجب بهبود کیفیت لینک های ارتباطی می شود. برای ارزیابی این معیار از یك رشته عددی استفاده شده است. گرههای موجود در شبکه با در نظر گرفتن این معیارها، ازدحام را تشخیص داده و به یك تصمیم گیری بهینه در خصوص به روزرسانی جدول اتصال همسایه گره، برای استفاده از لینك میرسند و در نهایت در گره مقصد با استفاده از سیستم فازي، مسیری مناسب با کمترین میزان ازدحام از بین مسیرهای موجود انتخاب می شود. در FBP نیاز به مدلي از دینامیك محیط نداریم و در شروع کار فرض کردهایم عوامل، هیچ اطلاعي در مورد جزئیات کامل شبکه در اختیار ندارند. همچنین در شروع شبیه سازي مقدار متغیر تعداد گام براي تمامي حالت ها به صفر مقداردهي میشود. به منظور بررسی عملکرد و بازده پروتکل پیشنهادی، دو سناریو در نظر گرفته می شود: در سناریو اول با استفاده از منطق فازي تمامي گرههاي شبکه آموزش می بینند تا بتوانند بر اساس سه معیار عنوان شده، نرخ ازدحام را تشخیص دهند. در سناریو دوم از الگوریتمCBP]۱۸[برای مسیریابی بسته های داده در شبکه MANET استفاده می شود و نهایتا در فاز بررسی عملکرد، پارامترهای مختلف مسیریابی در دو سناریو مقایسه می شوند. در ادامه به تشریح پروتکل پیشنهادي پرداخته می شود. بلوك دیاگرام سیستم کنترل کننده فازی استفاده شده در این پروتکل در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میشود، پروتکل پیشنهادي، سه پارامتر طول بافر صف، سرعت تحرک گره ها و پهنای باند در دسترس را بعنوان ورودي های سیستم فازي در نظر گرفته است. براي هر یك از متغیرهاي ورودي سه مجموعه فازي تعریف شده (H براي حد بالا، M برای حد متوسط و بـLراي حد پایین) که در شکل ۲ نشان داده شده اند. هم چنین، براي خروجي (نرخ ازدحام) پنج مجموعه فازي تعریف شده H) براي حد بالا، VH بسیار بالا، M حد

[33] Fuzzy Based Protocol

میانه، L براي نشان دادن حد پایین و VL براي حد بسیار کم) که در شکل۳ نشان داده شده اند.



شکل ۱: *بلوک دیاگرام سیستم نظارتي فازي*

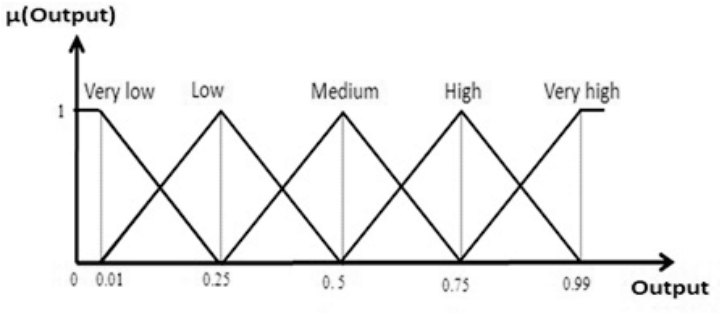


شکل ۲: *توابع عضویت براي متغیرهاي ورودي (طول بافر صف، سرعت تحرک گره ها و پهنای باند در دسترس)*

با توجه به مقدار پارامترهاي در نظر گرفته شده و با استفاده از قواعد فازي[۳۴] و موتوراستنتاج

[34] Fuzzy Rule

فازي مينيمم ممداني، نرخ ازدحام محاسبه می شود. براي هر يك از سه پارامتر ورودي، سه مجموعه فازي تعريف شده است كه ۲۷ قاعده فازي را حاصل خواهد كرد. اين ۲۷ قاعده در جدول ۱ تعريف شده اند.



شكل ۳: *توابع عضويت براي متغير خروجي نرخ ازدحام*

$$\text{Stability Rate} = \frac{\sum_{l=1}^{m} y^{-l} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)}{\sum_{l=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)} \qquad (1)$$

كه در آن: i: انديس مسير، m: تعداد قواعد فازي(در اينجا ۲۷) ، n:تعداد توابع عضويت متغيرهاي ورودي(در اينجا برابر ۳) ، $\mu A_i^l(X_i)$: مقدار فازي توابع عضويت و y^{-l} نيز مراكز خروجي مي باشد.

در روش پیشنهادی گره ها بطور متناوب کل جدول مسیریابی خود را منتشر نمی کنند، بلکه فقط بخش کوچکی از آن را بر حسب تقاضا ارسال می نمایند، این ویژگی باعث صرف جویی در پهنای باند مصرفی و طول عمر باتری گره های متحرک می شود. در FBP مسیر مناسب با نرخ ازدحام پایین زمانی کشف می شود که یک گره در نظر دارد بسته ای را به گره دیگری بفرستد. این فرآیند شامل انجام مراحل زیر است:

اگر گره منبعS ، در جدول مسیریابی خود هیچ درایه ای متناظر با مقصد پیدا نکند، این گره یک بسته درخواست مسیر[۳۵] را با آدرس گره مقصد و پارامترهای خود ایجاد کرده و تعداد گام را به صفر تنظیم می کند. سپس بسته درخواست مسیر به صورت فراگیر پخش شده و به گره هاي مياني مي

[35] Route Request

ردیف	سرعت تحرک گره	پهنای باند در دسترس شبکه	اندازه بافر صف	نرخ ازدحام
۱	Low	Low	Low	Low
۲	Low	Low	Medium	High
۳	Low	Low	High	High
۴	Low	Medium	Low	Low
۵	Low	Medium	Medium	Medium
۶	Low	Medium	High	Medium
۷	Low	High	Low	Very Low
۸	Low	High	Medium	Low
۹	Low	High	High	Low
۱۰	Medium	Low	Low	Low
۱۱	Medium	Low	Medium	High
۱۲	Medium	Low	High	High
۱۳	Medium	Medium	Low	Low
۱۴	Medium	Medium	Medium	Medium
۱۵	Medium	Medium	High	Medium
۱۶	Medium	High	Low	Very Low
۱۷	Medium	High	Medium	Low
۱۸	Medium	High	High	Low
۱۹	High	Low	Low	High
۲۰	High	Low	Medium	Very High
۲۱	High	Low	High	Very High
۲۲	High	Medium	Low	Medium
۲۳	High	Medium	Medium	High
۲۴	High	Medium	High	High
۲۵	High	High	Low	Low
۲۶	High	High	Medium	High
۲۷	High	High	High	High

جدول ۱: پایگاه قواعد فازی

رسد. این بسته همچنین حاوی یک شناسه تقاضا[۳۶] که در واقع یک شمارنده است می باشد؛ هرگاه که یک بسته درخواست مسیر منتشر می شود، یک واحد به این شمارنده اضافه خواهد شد. ترکیب آدرس مبدأ و فیلد شناسه تقاضا، هویت بسته درخواست مسیر را به صورت یکتا تعیین کرده و

[36] Request ID

بدین ترتیب گره ها قادرند بسته هایی که به صورت تکراری دریافت می شوند را حذف کنند. در گره های میانی بسته های درخواست مسیر طبق مراحل زیر پردازش می شود:

ابتدا جفت مشخصه (آدرس مبدأ، شناسه تقاضا) در جدول سوابق جستجو می شود تا در صورت تکراری بودن بسته آن را حذف کند، در صورت تکراری نبودن، این زوج مشخصه در جدول سوابق وارد می شود تا در آینده نیز بسته ای مشابه با این بسته پردازش نشود. اگر در جدول مسیریابی گره میانی، مسیری وجود نداشته باشد، گره منبع یك پروسه کشف مسیر را شروع خواهد کرد، بدین صورت که در ابتدا بسته درخواست مسیر ایجاد و سپس در شبکه پخش می شود. در طول مسیر شبکه، هر گره میانی که بسته درخواست مسیر را دریافت می کند، ابتدا داده های درون بسته را استخراج کرده و سپس با استفاده از جدول قواعد فازي نرخ ازدحام لینکی که بسته از طریق آن دریافت شده را تعیین می کند. اگر نرخ ازدحام در بازه کم و یا خیلی کم باشد، جدول اتصال همسایه در گره میانی بروزآوری می شود. در گره مقصد نیز با استفاده از سیستم فازي نرخ ازدحام تمام مسیرها محاسبه مي شود، بدین صورت که سه پارامتر ورودي از بسته درخواست مسیر استخراج شده و به سیستم کنترل فازي تحویل داده می شود. سیستم کنترل فازي ابتدا هر یك از پارامترها را در بازه [۱،۰] نرمال سازي مي کند. در مرحله بعد، فازي ساز، مقادیر تابع عضویت متغیر ورودی را در مجموعه های فازی نمایش می دهد و این ارزیابی به موتور استنتاج فازی عبور داده می شود. موتور استنتاج فازي، خروجی را با استفاده از قوانین فازی (جدول ۱) و استلزام ممداني تعیین می کند. در ادامه، گره مقصد یك بسته پاسخ مسیر را ایجاد می کند. بسته پاسخ مسیر صرفاً برای گره ای که بسته درخواست مسیر از طریق آن دریافت شده است ارسال می شود تا نهایتاً به منبع برسد. هر گره میانی بسته پاسخ را در راه بازگشت به گره منبع بررسی می کند، اگر هیچ مسیر شناخته شده ای به مقصد نداشته باشد، جدول مسیریابی در هر گره میانی با درج اطلاعاتی در خصوص مسیر رسیدن به مقصد بروز می شود. در این روش تمام گره هایی که بر روی مسیر معکوس قرار دارند از مسیرهای با نرخ ازدحام پایین برای رسیدن به مقصد آگاه می شوند.

۴ نتایج شبیه سازی

۱.۴ محیط شبیه سازی

در این مقاله براي شبيه سازي روش پيشنهادي و مقايسه آن با پروتكل CBP از نرم افزار OpnetModeler[۳۷] استفاده شده است. جدول (۲) پارامترهاي شبيه سازي بكار گرفته شده توسط این شبیه ساز را نشان میدهد. همان گونه که مطرح شد، در یک سناریو گره ها بر اساس پروتکل CBP (یك پروتكل مسيريابی مبتنی بر الگوريتم فاخته در شبکه های (MANET در محیط پراکنده شده اند و در سناریو دوم (پیشنهادی) گره ها بصورت تصادفي در محيط پخش شده و توسط FBP (الگوریتم منطق فازی) به منظور کنترل ازدحام مسیریابی مي شوند. در ادامه به نتایج شبیه سازي پروتكل پيشنهادي بر اساس سناريوها مي پردازيم. لازم بذکر است، در هر دو سناریو توپولوژی شبکه بصورت ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ گره ای در نظر گرفته شده است (مطابق با شکل ۴). ویرایشگر گره مدل شبيه سازي شده در شكل (۵) مشاهده می شود.

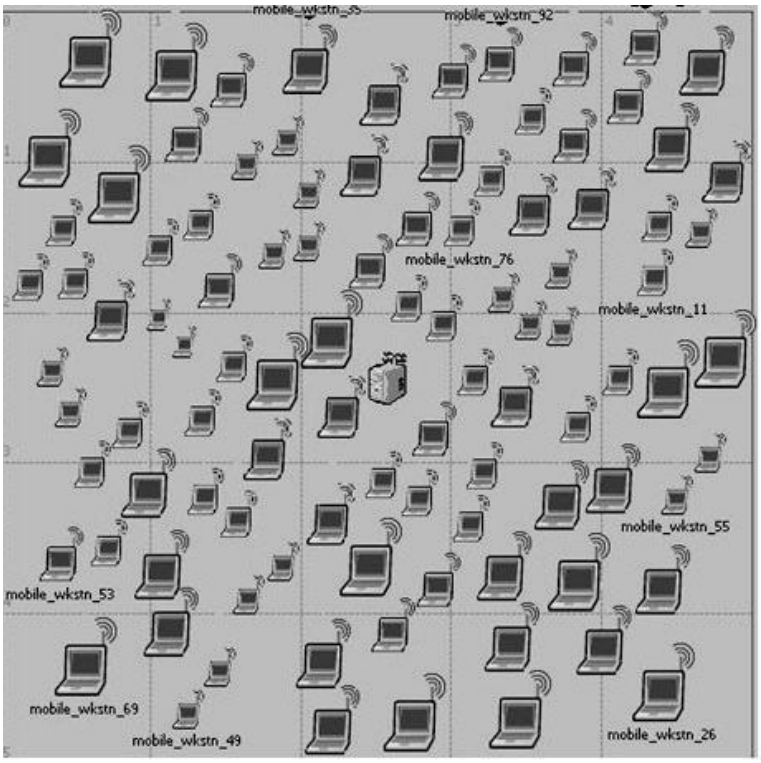
جدول ۲: پارامترهاي شبيه سازي بكار گرفته شده در پروتكل پيشنهادی

مشخصات محيط شبيه سازي	مقادير
تعداد گره های سیار	۵۰ ، ۸۰ ، ۱۰۰
مدت زمان شبيه سازي	۵۰۰ ثانيه
فضاي شبيه سازي شده	۱۰۰۰×۱۰۰۰ مترمربع
شعاع انتقال هر یک از گره ها	۲۵۰ متر
تعداد مکالمات جهت ارسال داده	۲۰ مکالمه
تعداد بسته های داده تولید شده در هر مکالمه	۶۰۰ بسته
اندازه هر بسته داده	۱۰۲۴ بایت
نرخ ارسال بسته در شبکه	۳۰ بسته در هر ثانیه
پهنای باند هر گره	۲ مگا بیت در هر ثانیه
مدل حركتي	راه رفتن تصادفي
مدل ترافيكي	CBR
مدل انتشاري	فضاي آزاد
پروتکل دسترسی به واسط	IEEE۱۱.۸۰۲

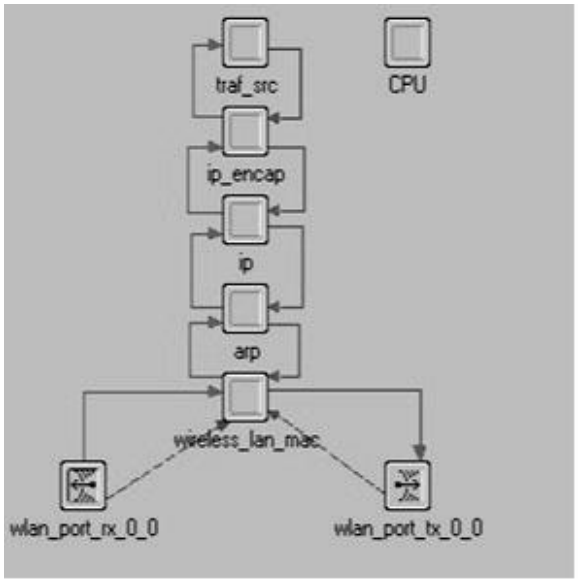
۲.۴ نتایج

به منظور بررسي كارايي روش پيشنهادي از معيارهاي زير استفاده مي شود.

[37] Optimized Network Engineering Tool



شکل ۴: *نمایی از توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره*



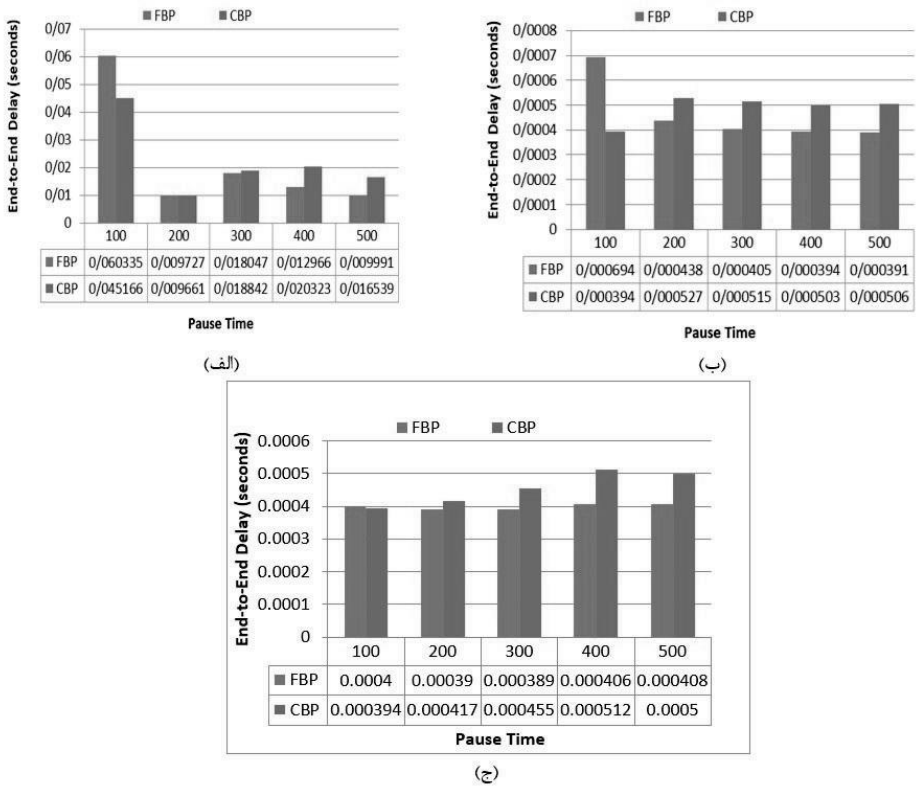
شکل ۵: *نمایي از ویرایشگر گره مدل شبیه سازي شده*

۱.۲.۴ تأخیر انتها به انتها

میانگین زمان تحویل بسته از مبدا به مقصد، میانگین تاخیر انتها به انتها نامیده مي شود. شکل (۶) به مقایسه تأخیر انتها به انتها براي سناریوهاي الگوریتم پیشنهادي و سناریوي پروتکل مCBPي پردازد. محور عمودي تأخیر انتها به انتها و محور افقي زمان شبیه سازي است. همانگونه که مشاهده مي شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ تاخیر انتها به انتها برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۰/۴۸ درصد، برای توپولوژی شبکه با ۸۰ گره به میزان ۵/۰۶ درصد و برای توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره به میزان ۱۲/۴۵ درصد نسبت به سناریوی پروتکل CBP بهبود یافته است. در پروتکل ،CBP بدلیل عدم پایداری لینک (در اثر تحرک گره ها) عمل انتقال اطلاعات تکمیل نشده لذا تاخیر انتها به انتها افزایش می یابد، در حالیکه در پروتکل پیشنهادي بدلیل استفاده از سیستم کنترل فازی مسیرها با پایداری بالاتر (ترجیح مسیرهاي طولانی تر ولي پایدارتر به کوتاه ترین مسیر ناپایدار) و نرخ ازدحام پایین تر در قیاس با پروتکل CBP انتخاب شده که کاهش تأخیر انتها به انتها را در شبکه بهمراه خواهد داشت. لازم به ذکر است که در روش پیشنهادی در زمانهای ابتدایی اجرا، تاخیر انتها به انتها بدلیل سرعت حرکت گره ها و شکسته شدن مسیرها افزایش می یابد، اما پس از یادگیری منطق فازی، بدلیل ایجاد مسیرهای با قابلیت اطمینان بالا، احتمال شکست لینک و در نتیجه، تاخیر انتها به انتها کاهش خواهد یافت.

۲.۲.۴ تاخیر دسترسی به رسانه

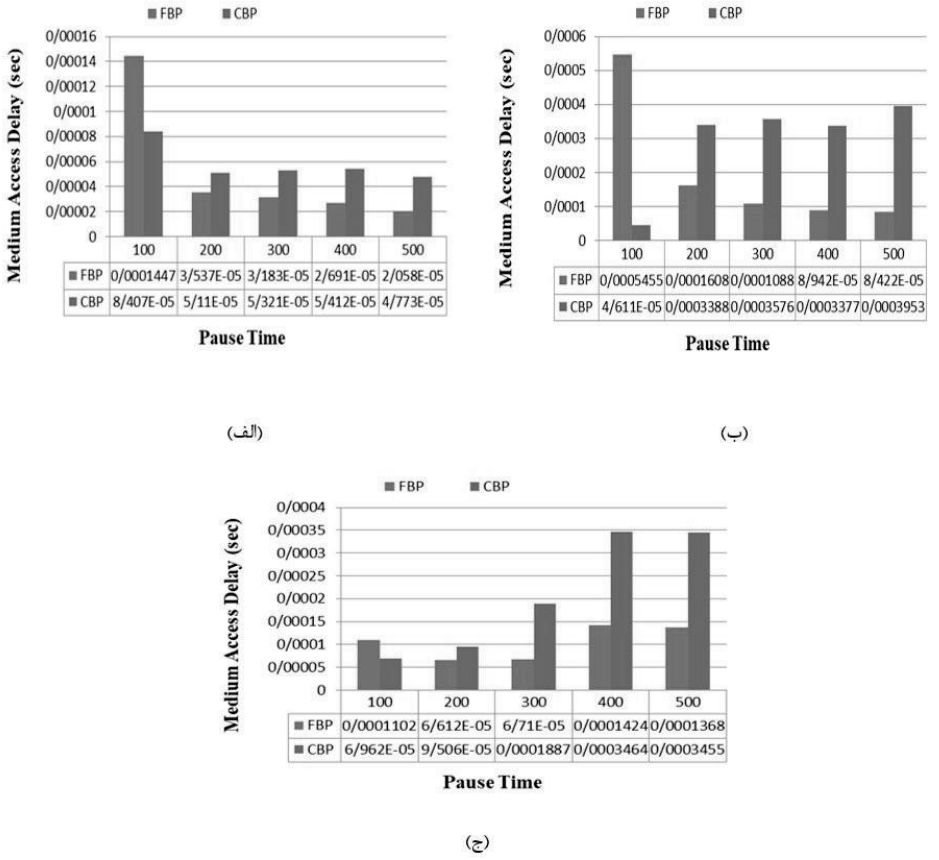
برابر مدت زمان بین دریافت بسته توسط لایهMAC تا زمان بارگیری کامل بسته بر روي رسانه تعریف می شود. شکل (۷) به مقایسه تأخیر دسترسي به رسانه براي سناریوهاي الگوریتم پیشنهادي و سناریوي پروتکل مCBPیپردازد. همانگونه که مشاهده میشود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی نرخ تاخیر دسترسی به رسانه برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۱۰/۶۳ درصد ، برای توپولوژی شبکه با ۸۰ گره به میزان ۳۳ درصد و برای توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره به میزان ۵۰/۰۱ درصد نسبت به سناریو پروتکل CBP بهبود یافته است. این مساله از آنجا نشات می گیرد که در پروتکل سCBPرعت زیاد گره ها باعث ایجاد ازدحام و نامعتبر شدن مسیر انتخابی می شود، لذا مسیریابی مجدد داده ها افزایش تأخیر را به دنبال خواهد داشت، اما در پروتکل پیشنهادي، بکارگیری منطق فازی موجب انتخاب لینک های با پایداری بالا و گره های با سرعت تحرک پایین شده که به کاهش تأخیر منتهی خواهد شد.



شکل ۶: تأخیر انتها به انتها در پروتکل: (الف) ۵۰ گره ای، (ب) ۸۰ گره ای، (ج) ۱۰۰ گره ای

۳.۲.۴ نرخ گذردهي

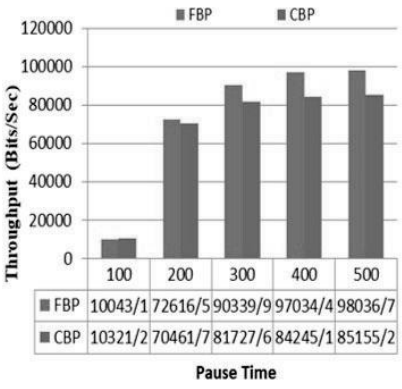
به عنوان کل بسته هاي دريافت شده توسط گيرنده ها، تقسيم بر زمان بين دريافت اولين بسته و آخرين بسته تعريف مي شود. نرخ گذردهي در سناريو های مطرح شده را می توان در شکل(۸) مشاهده کرد. محور افقي زمان شبيه سازي و محور عمودي نرخ گذردهي می باشد. همانگونه که مشاهده مي شود با بکارگیری پروتکل پیشنهادی نرخ گذردهی برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۹/۸۲ درصد ، برای توپولوژی شبکه با ۸۰ گره به میزان ۶/۰۱ درصد و برای توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره به میزان ۸/۶۶ درصد نسبت به سناریو پروتکل CBP بهبود یافته است. این مساله را می توان ناشی از هوشمندتر بودن پروتکل پیشنهادی در انتخاب مسیر دانست، زیرا این پروتکل با بکارگیری منطق فازی لینك هاي مناسب با نرخ ازدحام پایین را تعیین کرده و در صورت پایداری لینک تا انتهای فاز انتقال داده، داده را از آن لینك ها ارسال می کند که موجبات بهبود نرخ گذردهی را فراهم می آورد.



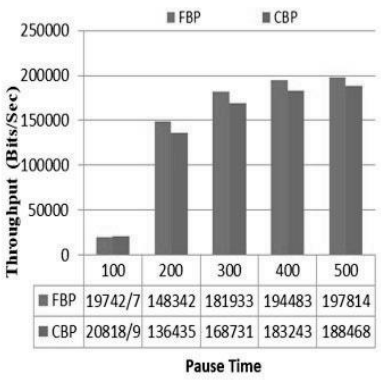
شکل ۷: *تأخیر دسترسي به رسانه برای پروتکل: (الف) ۵۰ گره ای، (ب) ۸۰ گره ای، (ج) ۱۰۰ گره ای*

۴.۲.۴ نرخ از دست دادن بسته هاي داده

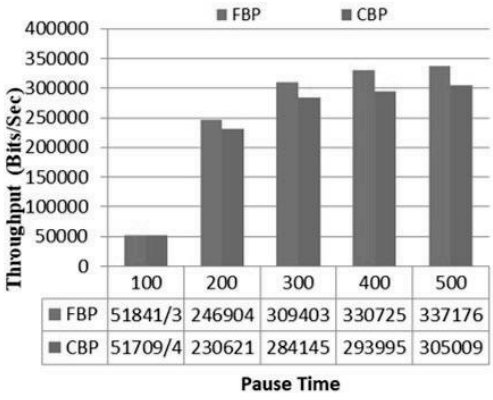
تعداد کل بسته های داده که بدلیل عدم وجود لینک مشخص بین مبدأ و مقصد در اثر حرکت سریع گره یا سایر عوامل از بین رفته اند. شکل(۹) نرخ از دست دادن بسته هاي داده را در سناریو های طرح شده نشان مي دهد. محور افقي زمان شبیه سازي و محور عمودي نرخ از دست دادن بسته هاي داده را معین می کند. همانگونه که مشاهده مي شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی نرخ از دست دادن بسته هاي داده برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۵۰/۷ درصد، برای توپولوژی شبکه با ۸۰ گره به میزان ۶/۲۷ درصد و برای توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره به میزان ۸/۶۶ درصد نسبت به سناریو پروتکل CBP بهبود یافته است. عدم دسترسی به یك مسیر به طرف مقصد یکی از دلایل از دست دادن بسته های داده در شبکه می باشد، لذا روش پیشنهادی سعي دارد با استفاده از منطق فازی و کاهش نرخ ازدحام و با انتخاب مسیرهایی که حداقل تا انتهاي فاز انتقال داده



(الف)



(ب)



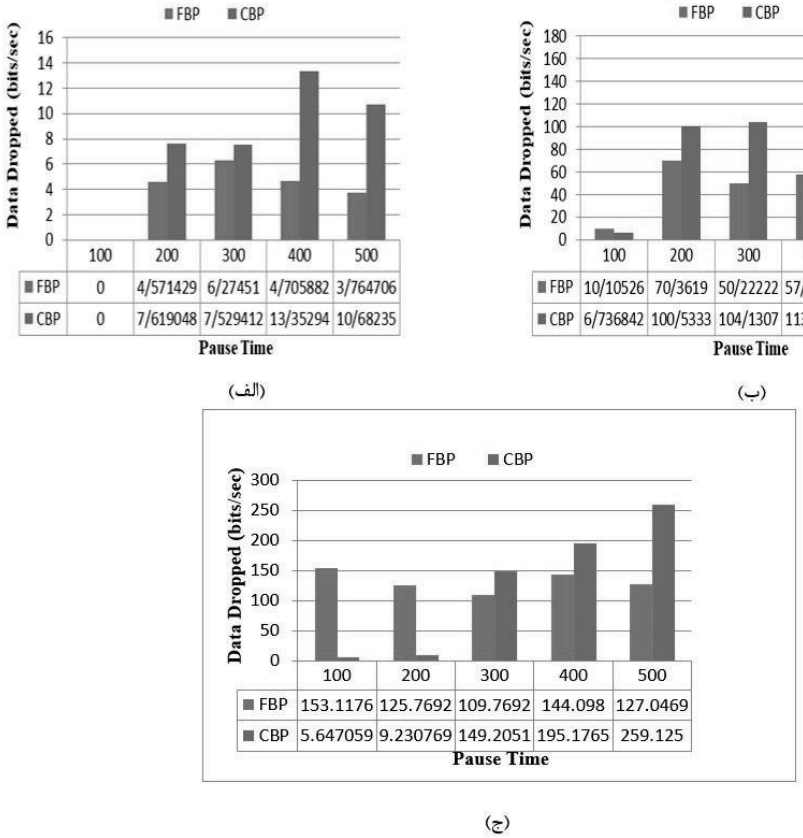
(ج)

شکل ۸: *نرخ گذردهی برای پروتکل: (الف) ۵۰ گره ای، (ب) ۸۰ گره ای، (ج) ۱۰۰ گره ای*

پایدار هستند، تعداد از دست دادن داده ها را کاهش دهد.

۵.۲.۴ نرخ مسیرهای مواجه شده با خطا در حین ارسال

شکل(۱۰) تعداد مسیرهایی که در حین ارسال داده در شبکه با خطا مواجه شده اند را نشان می دهد. با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ مسیرهای مواجه شده با خطا در حین ارسال با ۵۰ گره به میزان ۳/۸۳ درصد ، برای توپولوژی شبکه با ۸۰ گره به میزان ۷۵/۷۰ درصد و برای توپولوژی شبکه با ۱۰۰ گره به میزان ۸۲/۴۳ درصد نسبت به سناریو پروتکل CBP بهبود یافته است. همانگونه که مشاهده می شود، در روش پیشنهادی تعداد مسیرهایی که در حین ارسال داده بدلیل

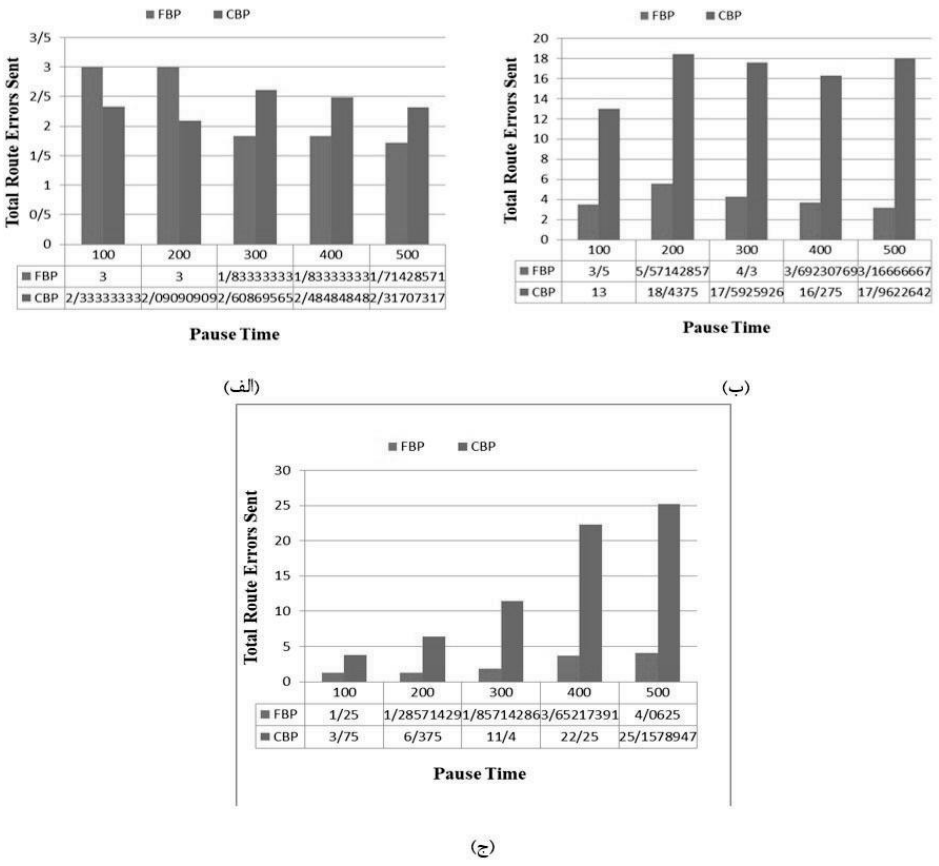


شکل ۹: *نرخ از دست دادن بسته هاي داده برای پروتکل: (الف) ۵۰ گره ای، (ب) ۸۰ گره ای، (ج) ۱۰۰ گره ای*

رخداد ازدحام با خطا مواجه شدهاند نسبت به پروتکلCBP کمتر بوده است. زیرا روش پیشنهادی قادر است پس از یادگیري با منطق فازی مسیرهاي پایدار با ازدحام پایین را کشف کند و حتی در صورتی که احتمال شکست لینک بالا باشد از طریق سیستم فازی اطلاع داده می شود تا مسیری با نرخ ازدحام کم انتخاب گردد. این مساله کاهش احتمال شکست لینک را به دنبال خواهد داشت.

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله، ازدحام به عنوان یکي از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه هاي MANET، مورد مطالعه قرار گرفت. در راستای کنترل نرخ ازدحام، روش تخمین منطق فازی با ورودی های طول بافر صف، سرعت تحرک گره ها و پهنای باند در دسترس پیشنهاد شد. نتایج حاصل از شبیه سازي پروتکل پیشنهادي در OPNET، با پروتکل مسیریابي CBP مقایسه شده



شکل ۱۰: *تعداد مسیرهای خطادار برای پروتکل: (الف) ۵۰ گره ای، (ب) ۸۰ گره ای، (ج) ۱۰۰ گره ای*

است. نمودارهای نتایج شبیه سازی، نظیر تعداد مسیرهای خطادار، تعداد بسته های داده از دست رفته در اثر ازدحام، تأخیر انتها به انتها، تأخیر فایلهای چند رسانه ای و نرخ گذردهی به منظور بررسي چگونگي عملكرد روش پیشنهادی استخراج شدند. به طور كلي مشاهده شد كه پروتكل پیشنهادي، رفتار بهتري نسبت به CBP نشان مي دهد. پروتكل مسیریابي پیشنهادي به دلیل انتخاب مسیرهاي پایدارتر ازدحام را كنترل كرده و كارآيي كلي شبكه را بهبود می بخشد. این مسئله قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش داده و به گسترش پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل CBP منتهی می شود.

مراجع

[1] Camp, T., Boleng, J., Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. Wireless communications and mobile computing, 2(5), 483-502.

[2] Castellanos, W. E., Guerri, J. C., Arce, P. (2016). A QoS-aware routing protocol with adaptive feedback scheme for video streaming for mobile networks. Computer Communications, 77, 10-25.

[3] Sarkar, S., Datta, R. (2016). A secure and energy-efficient stochastic multipath routing for self-organized mobile ad hoc networks. Ad Hoc Networks, 37, 209-227.

[4] Budyal, V. R., Manvi, S. S. (2014). ANFIS and agent based bandwidth and delay aware anycast routing in mobile ad hoc networks. Journal of Network and Computer Applications, 39, 140-151.

[5] Chatterjee, S., Das, S. (2015). Ant colony optimization based enhanced dynamic source routing algorithm for mobile Ad-hoc network. Information Sciences, 295, 67-90.

[6] Chettibi, S., Chikhi, S. (2016). Dynamic fuzzy logic and reinforcement learning for adaptive energy efficient routing in mobile ad-hoc networks. Applied Soft Computing, 38, 321-328.

[7] Basurra, S. S., De Vos, M., Padget, J., Ji, Y., Lewis, T., Armour, S. (2015). Energy efficient zone based routing protocol for MANETs. Ad Hoc Networks, 25, 16-37.

[8] Kumar, C. N., Satyanarayana, N. (2015). Multipath QoS routing for traffic splitting in MANETs. Procedia Computer Science, 48, 414-426.

[9] Rhaiem, O. B., Fourati, L. C., Ajib, W. (2016). Network coding-based approach for efficient video streaming over MANET. Computer Networks, 103, 84-100.

[10] Safa, H., Karam, M., Moussa, B. (2014). PHAODV: Power aware heterogeneous routing protocol for MANETs. Journal of Network and Computer Applications, 46, 60-71.

[11] Muchtar, F., Abdullah, A. H., Al-Adhaileh, M., Zamli, K. Z. (2020). Energy conservation strategies in Named Data Networking based MANET using congestion control: A review. Journal of Network and Computer Applications, 152, 102511

[12] Anshul, S., Kashif, M., Rohit Reddy, P. B., Ashwin, U., Arshad, K. (2020). Erratum regarding missing Declaration of Competing Interest statements in previously published articles. Journal of clinical orthopaedics and trauma, 11(6), 1177.

[13] Farheen, N. S., Jain, A. (2020). Improved routing in MANET with optimized multi path routing fine tuned with hybrid modeling. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences.

[14] Khan, A. F., Rajalakshmi, C. N. (2022). A multi-attribute based trusted routing for embedded devices in MANET-IoT. Microprocessors and Microsystems, 89, 104446.

[15] Danilchenko, K., Azoulay, R., Reches, S., Haddad, Y. (2022). Deep learning method for delay minimization in MANET. ICT Express, 8(1), 7-10.

[16] Perkins, C. E. (2003). Ad hoc ondemand distance vector (AODV) routing. RFC, 3561.

[17] Ghasemnezhad, S., Ghaffari, A. (2018). Fuzzy logic based reliable and real-time routing protocol for mobile ad hoc networks. Wireless Personal Communications, 98(1), 593-611.

[18] Tabatabaei, S., Nosrati Nahook, H. (2020). A new routing protocol in MANET using Cuckoo optimization algorithm. Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI), 9(1), 75-82.