

# پروتکل راهیابی چندمسیره در شبکه‌های اد هاک با استفاده از الگوریتم ژنتیک

آنترا بهاردواج<sup>۱</sup>، هسام ال-اوکلا<sup>۲</sup>

## چکیده

شبکه‌های اد هاک موبایل (MANETs) یک خوشه از گجت‌های موبایل بی‌سیم هستند که یک شبکه موقت بدون نیاز به هیچ زیرساخت یا مدیریت مرکزی ایجاد می‌کنند. مصرف انرژی باید به عنوان یکی از مهمترین محدودیت‌ها در MANETs در نظر گرفته شود زیرا گره‌های موبایل منبع تغذیه ثابتی ندارند و کمبود آن باعث کاهش عمر شبکه خواهد شد. MANETs انرژی را از باتری‌ها دریافت می‌کنند که به دلیل مسائلی مانند حرکت گره، قدرت محاسباتی، انتقال داده‌های مکرر مورد نیاز در ارتباط بی‌سیم و غیره، سریع خالی می‌شوند. ثانیاً، از دست دادن پکت‌های داده به دلایل مختلفی مانند تراکم ترافیک یا از دست دادن تصادفی ناشی از حرکت گره‌ها یا نویز ایجاد می‌شود. این از دست دادن داده، باعث تأخیر در تحویل پکت‌ها و تخریب انتقال داده در برنامه‌های زمان واقعی می‌شود. این مقاله مدیریت برای این ترکیب از مشکلات اصلی در MANETs ارائه می‌دهد. ما یک تابع تناسب جدید (FFn) استفاده شده در الگوریتم ژنتیک (GA) برای به‌دست آوردن مسیر بهینه از آن مسیرهایی که توسط پروتکل مسیره‌دهی Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector (AOMDV) ارائه شده‌اند، ارائه می‌دهیم. بنابراین، ما یک پروتکل مسیره‌یابی به نام AOMDV با FFn (AOMDV-FFn) پیشنهاد می‌دهیم. همچنین ما مکانیزم AOMDV را با الگوریتم ژنتیک (AOMDV-GA) یکپارچه می‌کنیم. این پروتکل‌ها یک فرایند بهینه‌سازی ارائه می‌دهند تا مسیرهای کارآمدی که ارزش تناسب بالاتری دارند با اجرای کوتاهترین مسیر، حداکثر انرژی باقی‌مانده و کمترین ترافیک داده را انتخاب کنند حتی اگر از دست دادن تصادفی پکت‌های داده رخ دهد. در این زمینه، یک مکانیزم معرفی می‌کنیم که TCP Congestion Control Enhancement for Random Loss (TCP CERL) می‌تواند در FFn استفاده شود تا مسیر کارآمد را بهینه کند. عملکرد مکانیزم‌های پیشنهادی با سایر پروتکل‌های ترجیحی که در این حوزه پیشنهاد شده، مقایسه می‌شود.

## کلمات کلیدی

کنترل تراکم، پروتکل انرژی بهینه، فیتنس فانکشن، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های اد هاک موبایل، راهیابی چندگانه، کوتاهترین فاصله

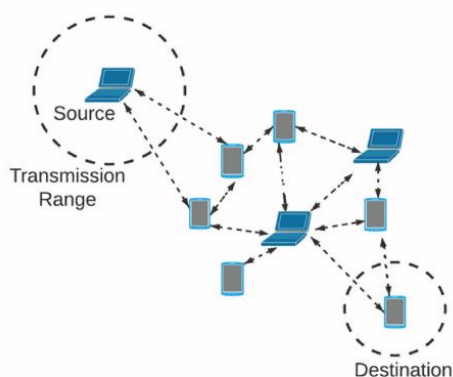
۱. Antra Bhardwaj

۲. Hosam El-Ocla

## مقدمه

می‌کنند. برای بهبود کارایی انرژی در MANET، بسیاری از هزینه‌های مسیریابی و اقدامات انتخاب مسیر مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته‌اند [9].

از سوی دیگر، ترافیک مداوم بالا در شبکه‌های اد هاک تلفن همراه مقدار زیادی انرژی را مصرف می‌کند در حالی که کارایی شبکه را از طریق ایجاد تراکم و احتمالاً از دست دادن داده‌ها کاهش می‌دهد. تحرک تصادفی گره‌ها و ناپایداری وسیله بی‌سیم باعث می‌شود مسیریابی در MANETs حتی دشوارتر شود. بیشتر پروتکل‌های مسیریابی موجود تلاش می‌کنند تا بهترین تلاش را برای یافتن کوتاهترین مسیر برای انتقال از طریق حل این مشکلات به طور جداگانه بدون در نظر گرفتن انواع پارامترهای QoS انجام دهند [10].



شکل ۱. شبکه‌های موبایل اد هاک

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، گره‌ها در MANETs قادر به انجام حرکات تصادفی هستند که منجر به تغییر مداوم و خودکار توپولوژی شبکه می‌شود. یکی از دلایل اصلی از دست دادن پکت در MANETs شکست پیوند است. این اصلی به خاطر ویژگی حرکت گره که معمولاً به طور پویا در طول عمر شبکه تغییر می‌کند [11]. پیاده‌سازی TCP New-Reno در شبکه‌های اد هاک بی‌سیم به دست دادن پکت را به عنوان نشانه از تراکم در صورت سرریز بافر یا قطع اتصال می‌پذیرد. این قابلیت پنجره تراکم را به نصف اندازه فعلی آن کاهش می‌دهد [12].

پروتکل‌های مسیریابی چند مسیره، به گره منبع اجازه می‌دهند تا در طول یک فرآیند کشف مسیر تک مسیری، مسیر مناسبتر را از بین چند مسیر انتخاب کند. این فرآیند در مسیریابی چند مسیره تعداد فرآیندهای کشف مسیر را به حداقل می‌رساند تا زمانی که یک استخر مسیرها در حال حاضر موجود است. مسیرهای اضافی می‌توانند در صورت هر نوع خطا در مسیر استفاده شوند و بنابراین زمان تأخیر سراسری و تلفات انرژی را کاهش

با پیشرفت در فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)، شبکه‌های بی‌سیم اد هاک (MANETs) می‌توانند ظرفیت شبکه بالا و خدمات چندرسانه‌ای مدرن را از جمله ویدئو پرس و جو، خرید آنلاین، سرگرمی و جراحی‌های مجازی و غیره پشتیبانی کنند. دامنه‌ی شبکه‌های بی‌سیم MANETs بر اساس استاندارد IEEE 802.11 به خاطر اهمیتش در کاربردهای غیر سنتی مانند شبکه‌های اد هاک وسایل نقلیه (VANETs)، نظارت بر سلامت، واحدهای نظامی، عملیات نجات از فاجعه و غیره، دارای اعتبار شدند. MANETs محیطی بدون زیرساخت فراهم می‌کنند که دستگاه‌های تلفن همراه به عنوان فرستنده، گیرنده و روتر بی‌سیم عمل کنند. به طور مقابل، شبکه‌های وای فای (Wi-Fi) و یا دیگر شبکه‌های اد هاک برای کارکرد به یک نقطه دسترسی نیاز دارند. مقدار عظیمی از انرژی در MANETs با ترافیکی که از دسترسی کامل و برنامه‌های چندرسانه‌ای با الزامات کیفیت خدمات به وجود می‌آید، مصرف می‌شود. برای پایداری شبکه، مقدار زیادی انرژی در هر گره لازم است. به همین دلیل، انرژی که معمولاً توسط باتری‌های با ظرفیت محدود تأمین می‌شود به عنوان یک دارایی برجسته در دستگاه‌های تلفن همراه در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، پیشرفت در فناوری باتری هنوز هم ادامه دارد و انتظار می‌رود در آینده بهبود یابند [1]. بنابراین، برای استفاده کارآمد از انرژی در گره‌های تلفن همراه و برای استمرار عمر شبکه، کار تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است [2]، [3]. با این حال، این تحقیقات فقط در راه اندازی مجدد یا برداشت انرژی نیاز دارند [4]. برداشت انرژی از منابع مختلف (مانند لرزش، حرارت، رادیو فرکانس، خورشیدی و بر اساس جریان) برای فعالیت پایدار عامل‌های تلفن همراه مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، پیاده‌سازی محدودی در دنیای واقعی دارد به دلیل پیچیدگی‌های قابل پیش‌بینی و زیرساخت بیش از حد مورد نیاز. اگر مورد بررسی قرار دهیم، بیشتر پروتکل‌های مسیریابی سنتی توسط گروه کار مهندسی اینترنت (IETF) پیشنهاد شده‌اند. اکثر این پروتکل‌ها مسیرها را بر اساس کمترین تعداد پرش از منبع تا مقصد، مصرف کمتر انرژی یا چندین پارامتر کیفیت خدمات (QoS) برپا می‌کنند [5]-[7].

پروتکل‌های مسیریابی آگاه از قدرت (PAR) به صورت خاص به کاهش تخلیه قدرت باتری‌های عوامل تلفن همراه پرداخت می‌کنند. ایده اصلی پشت این پروتکل‌ها انتقال ترافیک از طریق گره‌هایی است که بیشترین مقدار انرژی باقی‌مانده را دارند. بنابراین، این مکانیسم عملکرد و عمر شبکه را بهبود می‌بخشد. پروتکل‌های مسیریابی آگاه از انرژی با در نظر گرفتن انرژی باقی‌مانده در هر روتر، بهترین مسیر برای تحویل ترافیک برقرار

بخش VII پیچیدگی پروتکل‌های پیشنهادی را توضیح می‌دهد. بخش VIII نتایج تحقیق را خلاصه می‌کند.

## II. پیشینه تحقیق

AOMDV یک مکانیسم مسیریابی چند مسیره معتبر است و پیشرفتی بر پروتکل استاندارد AODV محسوب می‌شود. AOMDV مسیره‌های چندگانه از منبع تا مقصد را پیدا می‌کند که همه این مسیره‌ها بدون حلقه و بدون تلاقی لینک هستند. بر خلاف AODV، پروتکل AOMDV فاز کشف مسیری را که در صورت شکست لینک‌ها لازم است، اجتناب می‌کند. AOMDV اصولاً از معیار تعداد پرش برای تعیین مسیره‌های بهینه استفاده می‌کند. شکل ۲ ساختار ورودی جدول مسیریابی AOMDV را نشان می‌دهد. به جای استفاده از hop\_count به طور سنتی، از متغیر Advertised\_hopcount استفاده می‌شود. route\_list به عنوان جایگزین next\_hop ایستاد؛ این تغییر به طور قابل توجهی تعیین می‌کند که چندین next\_hop همراه با تعداد پرش مربوطه وجود دارند. هر next\_hop هنوز با همان شماره دنباله مقصد ارجاع شده‌اند. هر بار شماره دنباله تازه می‌شود، advertised\_hopcount مقداردهی اولیه می‌شود. AOMDV مسیره‌های چندگانه را پیدا می‌کند و پکت را با استفاده از مسیره با کمترین hop\_count انتقال می‌دهد بدون اینکه مصرف انرژی یا ترافیک در آن مسیره خاص را در نظر بگیرد، که ممکن است به عنوان نقطه ضعف عمده این پروتکل محسوب شود. به عنوان مثال، در شکل ۳، مسیره‌های متعدد S (منبع) به D (مقصد) می‌توانند S-E-C-F-D و S-A-C-B- و D و غیره با استفاده از پروتکل AOMDV باشند.

### شکل ۳. پروتکل مسیریابی AOMDV

الگوریتم GA به طور کلی دارای فازهای مختلفی مانند مقداردهی اولیه مجموعه مسیره‌ها، محاسبه تناسب همه مسیره‌ها، انتخاب بهترین بر اساس بالاترین مقدار تناسب، انجام متقاطع و جهش در مسیره‌ها، سپس ارزیابی شرایط و تکرار تا پایان پایان است. شرط به دستمی آید [17]، [18].

الگوریتم ژنتیک از انتخاب طبیعی که مناسب ترین افراد یک جمعیت را پشتیبانی می‌کند، در نظر گرفته شده است. این افراد احتمال بیشتری برای تولید مثل دارند، بنابراین در نسل های بعدی جانشینان بیشتری تولید می‌شود. به دلیل هزینه های عملیاتی کمتر، سهولت اجرا و موازی سازی آسان، GA در بسیاری از مسائل بهینه سازی پیاده سازی شده است [19]. چندین رویکرد و اصطلاحات از زیست شناسی به عنوان یک پایه

می‌دهند در حالی که عمر شبکه را افزایش می‌دهند [13]. تحریک شده توسط پیشرفت‌های تکنولوژیک در سیستم‌های بی‌سیم و دستگاه‌های قابل حمل، انتقال چند مسیره همزمان روش موثری در مسیریابی در MANETs است.

این تکنیک مسیریابی می‌تواند در برنامه‌هایی مانند پخش ویدیوهای با کیفیت بالا در محیط دسترسی مختلف مورد استفاده قرار گیرد [14].

در این مقاله، ما یک تابع تناسب جدید (FFn) را به عنوان یک تکنیک بهینه‌سازی معرفی می‌کنیم تا مسیره بهتر از منبع تا مقصد با استفاده از پروتکل مسیریابی Ad hoc On-demand Multiple Distance Vector (AOMDV) بدست آوریم. در ادامه، ما یک پروتکل مسیریابی با نام AOMDV با (AOMDV-FFn) پیشنهاد می‌دهیم. همچنین یک ترکیب از مکانیزم AOMDV با الگوریتم ژنتیک (AOMDV-GA) بر اساس FFn پیشنهاد می‌شود. AOMDV-FFn تنها از تابع تناسب استفاده می‌کند و به هیچ کدام از مراحل GA مانند crossover، mutation، و crossover غیره وارد نمی‌شود. FFn بهترین مسیره را از آن‌هایی که به الگوریتم چند مسیره اختصاص داده شده انتخاب می‌کند. در این کار، سه پارامتر را برای انتخاب مسیره مناسبتر از منبع تا مقصد پیگیری می‌کنیم. مسیره انتخاب شده باید کمترین فاصله تا مقصد نهایی را طی کرده و از گره‌هایی با بیشترین انرژی باقیمانده عبور کند و همچنین جایی که مسیره ترافیک کمتری داشته باشد تا از ترافیک های زیاد جلوگیری شود. در این رابطه، ما اقدام به توسعه افزونه کنترل تراکم TCP برای ازدست‌دادن تصادفی (TCP CERL) در [15] برای استفاده در تابع تناسب می‌نماییم. TCP CERL قابلیت تمایز میان تراکم تصادفی و تراکم در مسیره بهینه انتخاب شده را دارد.

با استناد به نتایج شبیه‌سازی، پروتکل‌های مسیریابی ما بر اساس تابع تناسب پیشنهادی نسبت به مکانیسم‌های مسیریابی دیگر در اصطلاح‌های پهنای باند، نسبت تحویل پکت، مصرف انرژی و تاخیر سراسری عملکرد بهتری دارند. پروتکل‌های ما بهترین عملکرد را در مواقع تراکم بیضه‌ای و شبکه تاختگی ارائه می‌دهند.

بخش باقی مقاله به شرح زیر است: بخش II بررسی ادبیات را پوشش می‌دهد. بخش III مسئله مسیریابی و راه‌حل آن با توضیح تابع تناسب استفاده شده را بحث می‌کند. بخش IV الگوریتم‌های AOMDV-FFn و AOMDV-GA پیشنهاد شده را معرفی می‌کند. بخش V ارزیابی عملکرد را شرح می‌دهد. بخش VI نتایج تجربی را ارائه می‌کند.

نظری در GA استفاده می شود. اصطلاحاتی که در رویکرد ژنتیکی استفاده می شود عبارتند از ژن، کروموزوم، والدین، فرزندان و عملکرد تناسب. ژن به عنوان یک متغیر بهینه سازی تعریف می شود که به شکل کدگذاری شده بیان می شود. کروموزوم تعداد محدودی از ژن ها را نشان می دهد که یک فرد را نشان می دهد. والدین افرادی هستند که با روش انتخاب می گیرند کاندیدای فرآیند تولید مثل شوند. کودکان افراد حاصل از این عملگر هستند و ارزش تابع تناسب فرد، در جهت تناسب افراد خاص را در شرایطی که در آن وجود دارند نشان می دهد [20].

رویه اصلی یک GA در شبکه را می توان در مراحل زیر شرح داد [20]:

- فرآیند را از طریق داشتن مجموعه ای از مسیهای فردی که به عنوان جمعیت نامیده می شود، آغاز کنید.
- نتیجه تناسب هر مسیر را محاسبه کنید،
- مناسب ترین مسیرها را برای مشارکت در ایجاد یک مسیر جدید، یعنی فرآیند تولید مثل، انتخاب کنید. اپراتور متقاطع تغییرماده ژنتیکی مسیرهای انتخاب شده (والدین) را انجام می دهد و مسیرهای جدید (فرزندان) را با احتمال ایجاد می کند  $P_c$ . مسیرهای جدید به احتمال زیاد در معرض جهش قرار می گیرند  $P_m$ .
- زمانی خاتمه می یابد که مسیری با بالاترین امتیاز تناسب دریافت شود که در آن مسیرهای فرزندان بعدی ارزش تناسب بالاتری نسبت به نسل قبلی نداشته باشند.

به عبارت ساده، چندین مسیر به عنوان جمعیت در نظر گرفته می شود و مسیرهایی با ارزش تناسب بالا جفت می شوند، سپس متقاطع و جهش انجام می شود. به عنوان مثال، در بخش "initialize" با چندین مسیر شروع می شود. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مسیرهای متعددی از S تا D وجود دارد. اجازه دهید مسیر A را به عنوان "S-A-C-B-D"، مسیر B را به عنوان "D" بخش "ارزیابی تناسب"، تناسب را برای هر مسیر از S تا "SECFD" و مسیر C را به عنوان "D-SEGHF" در نظر بگیریم. در محاسبه می کند. مسیر A دارای ارزش تناسب ۹٫۶ است. مسیر B دارای ارزش تناسب ۹٫۵ و مسیر C دارای ارزش تناسب ۳٫۴ است. مسیرهایی با ارزش تناسب بد/بتر کنارگذاشته می شوند. در این صورت مسیر C رد خواهد شد. مسیرهایی با بهترین ارزش تناسب در بخش "انتخاب" انتخاب می شوند و آنها در بخش "پایرینگ و متقاطع" جفت می شوند و از هم عبور می کنند. و در نهایت آنها جهش یافته اند. مانند مثال ما، مسیر A و مسیر B با هم جفت می شوند زیرا ارزش تناسب بالایی دارند و سپس از آنها عبور کرده و جهش می یابند. و ما مسیرهای جدیدی را دریافت می کنیم، به عنوان مثال،

SACFD و SECBD. در "انتخاب بازمانده"، بررسی می شود که تناسب مسیر عبور شده و جهش یافته بالاتر یا کمتر از مقدار تناسب محاسبه شده قبلی مسیرهای موجود باشد. اگر بالاتر باشد، مسیر جدید به عنوان یک مسیر کارآمد انتخاب می شود. در غیر این صورت مسیر موجود با بالاترین ارزش تناسب انتخاب می شود. نویسندگان در [21] یک پروتکل مسیریابی بردار فاصله چند hoc Adaptive Ad hoc (TA-AOMDV) (تقاضای اساس مسیره بر Ad را پیشنهاد کردند که بر به حداقل رساندن ترافیک داده با استفاده از QoS تمرکز دارد. محدودیت این پروتکل این است که در طرح بندی هاپیو یا که هم به پایداری مسیر و هم به چگالی گره نیاز دارند، به خوبی کار نمی کند. به طور کلی، این پروتکل درجایی که پروتکل های دیگر در بسیاری از موارد بسیار بهتر عمل می کنند، کمی بهبود عملکرد را ارائه می دهد. پریاسامیو همکاران [۲۲] پروتکلی به نام مسیریابی چند مسیری قابلیت اعتماد لینک (LRMR) پیشنهاد کرد. جفت معیارهای مورد استفاده در این پروتکل طول مسیر و تخمین گر کیفیت مسیر پیوند (LQE-P) است که مسیرهای قابل اعتماد پیوند را ایجاد می کند. همچنین احتمال وقفه های مسیریابی در شبکه های موقت بی سیما به حداقل می رساند. منابع یک گره مانند انرژی باقیمانده و پهنایباند موجود در نظر گرفته نمی شوند، بنابراین معیار QoS تنها تاحدی می تواند مفید باشد. علاوه بر این، پروتکل مسیریابی چند (E2E-LREEMR) End-to-End اعتماد قابل انرژی با مسیریکارآمد برایمقابل با لینک های معیوب و شکستگی مسیر پیشنهاد شد P-Node Energy Estimator. و P-LQE از استفاده این مکانیسم Route را برای یافتن چندین مسیر صرفه جویی در انرژی پیشنهاد کرد [۲۳]. با این حال، LREEMR-E2E کمی عملکرد شبکه را در مقایسه با AOMDV بهبود می بخشد.

چندان بالا نیست در حالی که افزایش طول عمر شبکه کاملاً محدود است. AOMDV کمی را در نظر می گیرد، بنابراین عملکرد آن درمقایسه با QoS پارامترهای AOMDV-FF استفاده می کرد، بنابراین در صورت بروز هرگونه خرابی یا شکست لینک، انتقال از طریق مسیر جایگزین که کوتاه ترین مسیر بعدی در جدول مسیریابی است، انجام می شود. مدل AOMDV در [۲۴] پیشنهاد شد که مفهوم انتخاب مسیر کارآمد را که حداقل مصرف انرژی و کوتاهترین فاصله را داشته باشد، ارائه کرد. این پروتکل از AOMDV-FF نویسندگان [۲۵] حداقل مسیریابی مبتنی بر چندگانه رایج LCMR را برای مسیریابی چند مسیره متعادل بار در MANETs پیشنهاد کردند. مسیرهای متعدد بر اساس حداقل زمان محاسبه شده مسیریابی بین فرستنده و گیرنده انتخاب می شوند. LCMR نتایج بهتری نسبت به پروتکل های مسیریابی متعادل بار چند مسیره موجود مانند موازنه بار چند مسیری فیوچاچی FMLB

ADOV چندگانه MAODV دارد زیرا توزیع پکت ها را در مسیرهای مختلف در نظر می گیرد. مصرف انرژی اصلی ترین عنصریاست که شبکه را به حرکت در می آورد، اما در این پروتکل به آن توجه نشده است. در [۲۶] برای انتخاب مسیر استفاده شد، هر چند متریک فاصله و تراکم را بهینه کرد. این الگوریتم مسیری را انتخاب می کند که در صورت ترافیک پر بار احتمال تراکم کمتری داشته باشد. با این حال، وضعیت مصرف انرژی در نظر گرفته نمی شود. از این رو در صورت سرازیر شدن بار زیاد شبکه، طول عمر شبکه کاهش می یابد GA. نویسندگان [۲۷] یک الگوریتم مسیریابی را پیشنهاد کردند که کیفیت شبکه را با استفاده از GA افزایش می دهد. این کار سناریوهای مختلفی از جمله سرعت تحرک و خرابی گره ها را در نظر گرفته است. عملکرد شبکه در مقایسه با سایر پروتکل ها بهبود یافته است. با این حال، موضوع مصرف انرژی در نظر گرفته نشد.

الگوریتم کنترل تراکم انرژی کارآمد گیرنده در [۲۸] پیشنهاد شد که براساس پروتکل کنترل انتقال چند مسیره (EEMPTCP) است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این الگوریتم بهتر از MPTCP عمل می کند زیرا انرژی کمتری مصرف می کند و توان عملیاتی بهبود می یابد. با این حال، پروتکل پیشنهادی از دست دادن تصادفی که اغلب در پیوندهای بی سیم در شبکه های با اتلاف اتفاق می افتد را در نظر نگرفت. بنابراین، هر گونه از دست دادن پکت ها در نتیجه فرض می شود از دست دادن تراکم و این باعث کوچک شدن پنجره تراکم و کاهش توان عملیاتی داده می شود.

نویسندگان در [۲۹]، یک الگوریتم مسیریابی را پیشنهاد کردند که کارایی انرژی و برخی از پارامترهای مسیریابی QoS را در [۳۰] در نظر می گیرد. این الگوریتم بر پخش اطلاعات توپولوژیکی به کل شبکه برای به روز رسانی گره ها در وضعیت QoS شبکه متکی است. این سیل اطلاعات باعث افزایش سربار ترافیک، به ویژه در شبکه های مقیاس بزرگ می شود.

در [۳۱]، پروتکلی به نام پروتکل مسیریابی بردار فاصله بر اساس تقاضای موقت انرژی (AODV-DE) پیشنهاد شد. هدف اصلی به حداقل رساندن تاخیر در انتقال پکت، کاهش مصرف انرژی و در نتیجه به حداکثر رساندن طول عمر شبکه است. مسیری را با کمترین فاصله انتخاب می کند و همچنین گره های میانی با انرژی باقیمانده و اقتدار بالا در شبکه را انتخاب می کند. این پروتکل انرژی خارجی را برای گره ها در صورت شکست غیرمنتظره لینک یا گره های کم انرژی در حین انتقال پکت ها فراهم می کند. بنابراین باعث اطمینان بیشتر مسیر و افزایش طول عمر می شود. این تامین انرژی خارجی نیز می تواند به عنوان یک محدودیت از نظر افزایش هزینه شبکه محسوب شود.

نویسندگان [۳۲] پروتکل جدیدی به نام خوشه بندی و مسیریابی آگاه از تراکم CCR برای حذف تراکم و خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم WSN پیشنهاد کردند. کنترل تراکم سمت فرستنده و تخمین پهنای باند مبتنی بر مدل برای ترافیک TCP بر روی MANETs مبتنی بر تقسیم زمانی بدون مناقشه TDMA در [33] پیشنهاد شد. هر دو پروتکل راه حل های خوبی برای مسیریابی مبتنی بر اجتناب از تراکم ارائه می دهند، با این حال، آنها اتلاف تصادفی را که باعث کاهش غیرضروری پنجره تراکم می شود، در نظر نمی گیرند. مشکل از دست دادن تصادفی پکت ها یک مشکل عمده در MANETs پویا به دلیل تحرک مکرر است. این مشکل در پروتکل های مسیریابی در [۳۴] در نظر گرفته شد، اما جنبه های دیگر مانند انرژی گره ها لمس نشد. حتی ضرر تصادفی با نرخ های پایین در نظر گرفته شد. از طرف دیگر و برای تمایز بین تلفات تصادفی و تراکم، چندین پروتکل مانند Jersey New TCP+Westwood TCP و mVeno TCP پیشنهاد شد. در [15]، الگوریتم CERL TCP با انتقال دو طرفه و اتصالات بار نسبتاً سنگین برای تطبیق چندین برنامه بلادرنگ آزمایش شد CERL. به طور موثر برای بهبود عملکرد شبکه حتی زمانی که از دست دادن تصادفی رخ می دهد کار می کند.

کاستی های اصلی مکانیسم های توضیح داده شده در بالا این است که چندین پروتکل فقط بر صرفه جویی در مقدار بیش از حد انرژی مصرف شده تمرکز می کنند در حالی که پروتکل های دیگر فقط کنترل تراکم را برای یافتن بهترین مسیر برای انتقال داده در نظر می گیرند. با این وجود، این پروتکل ها تأثیر پیوندهای احتقانی بر مصرف انرژی را نادیده می گیرند و از نظر داشتن مقدار بیش از حد ارسال مجدد داده ها که به نوبه خود انرژی بیشتری مصرف می کند، چشم پوشی می کنند. علاوه بر این، تحرک گره ها که احتمالاً منجر به از دست دادن تصادفی داده ها می شود، همراه با بازده انرژی و کنترل تراکم در هیچ پروتکل مسیریابی در نظر گرفته نمی شود.

دانش ما این ما را برانگیخت تا مکانیزمی را پیشنهاد کنیم که راه حل هایی را برای همه این چالش ها ترکیب کند. راه حل ما بر یافتن مسیری متمرکز است که کمترین ترافیک، کوتاه ترین مسافت را داشته باشد و انرژی کمتری مصرف کند و در عین حال از تحرک گره ها و پیامد آن ناشی از شکست لینک ها و در نتیجه از دست دادن داده ها پشتیبانی کند.

### III. پروتکل پیشنهادی

الف. بیان مشکل

بهینه سازی نیرو یکی از مسائل مهم در طیف گسترده ای از دستگاه های موقت بی سیم است. در این راستا، اکثریت قریب به اتفاق فعالیت های تحقیقاتی پیشنهادی به طور کلی در مورد عملکرد و عملکرد شبکه موردی در طول زمان عملیاتی آن ها نگران بودند. به حداقل رساندن انرژی یکی از معیارهای اولیه طراحی MANETs است زیرا گره ها با باتری کار می کنند. مصرف توان گره ظرفیت مسیریابی گره را کاهش می دهد، عملکرد را کاهش می دهد و به شدت به طول عمر شبکه ضربه می زند. همچنین، پیشرفت ها در ارتباطات از راه دور باتری ها در مقایسه با رشد فن آوری نیمه هادی سرعت آهسته دارند. از این رو، کاهش تخلیه انرژی گره ها برای بهبود طول عمر شبکه در طول انتقال داده ضروری است. برای کاهش مصرف انرژی، باید کوتاه ترین مسیر کارآمد و بهینه را انتخاب کنیم که انرژی کمتری مصرف می کند و همچنین ترافیک داده کمتری را عبور می دهد. مسیری که ترافیک کمتری دارد، پکت ها را به سرعت با کمترین تأخیر در صف انتقال می دهد و از این رو توان عملیاتی و طول عمر شبکه را افزایش می دهد. از این پس، یک پروتکل مسیریابی که یک الگوریتم بهینه از انتخاب مسیر را برای فرآیند ارتباط در نظر می گیرد، مورد نظر است.

ب. راه حل پیشنهادی

در پروتکل مسیریابی AOMDV، فرستنده یک درخواست مسیر (RREQ) را برای یافتن مسیر به گره گیرنده پخش می کند و می تواند بیش از یک مسیر بین جفت فرستنده و گیرنده موجود باشد. از بین تمام مسیرها، AOMDV مسیری را با حداقل تعداد پرش انتخاب می کند بدون اینکه حتی کیفیت آن مسیر انتخابی را در نظر بگیرد. در این راستا، نسخه جدیدی از تابع تناسب (FFn) را برای استفاده در الگوریتم ژنتیک (GA) معرفی می کنیم. بر این اساس، ما یک پروتکل مسیریابی چند مسیری به نام FFn-AOMDV براساس پروتکل AOMDV پیشنهاد می کنیم. در مرحله بعد، پروتکل مسیریابی دیگری را پیشنهاد می کنیم که از الگوریتم ژنتیک (GA) به نام GA-AOMDV استفاده می کند. در الگوریتم پیشنهادی، زمانی که یک RREQ پخش می شود و مسیرهای متعدد دریافت می شود، گره فرستنده باید مسیر خاصی را انتخاب کند تا کوتاه ترین و بهینه ترین مسیر را با حداقل مصرف انرژی و ترافیک کمتر با در نظر گرفتن احتمال خرابی لینک ها پیدا کند. که منجر به از دست دادن تصادفی پکت های داده می شود. به عبارت دیگر، FFn موارد زیر را در نظر می گیرد:

- انرژی باقی مانده هر گره در مسیر،
- فاصله هر مسیر ممکن،
- تراکم در هر مسیر،

- تمایز از دست دادن تصادفی با از دست دادن تراکم.

انتخاب مسیر برای انتقال بر اساس بالاترین ارزش تناسب مسیر خواهد بود. معیارهای اصلی که برای مسیر بهینه دنبال می شوند: (الف) که کمترین مسافت را دارد. (ب) که دارای بالاترین سطح انرژی باقیمانده است و (ج) دارای ترافیک کمتر و پهنای باند بالاتر است. سپس گره منبع پکت های داده را از طریق کوتاه ترین مسیر با بالاترین سطح انرژی و گره های مترادف کمتر ارسال می کند. در معماری سیستم پیشنهادی، گره های متحرک به صورت تصادفی برای تشکیل یک MANET قرار می گیرند. مفروضات شبکه به شرح زیر است:

- شبکه متشکل از گره های متحرک است و هر گره با یک شماره شناسایی منحصر به فرد مشخص می شود.
- محیط MANET نمایش همگنی است که در آن تمام گره های متحرک با مقدار مساوی انرژی مقداری اولیه می شوند.
- گره ها دارای ویژگی های تحرک هستند و بنابراین فاصله بین گره ها مدام در حال تغییر است.
- تحرک گره ها ممکن است منجر به شکست پیوندها شود.

ج. تابع تناسب

در اینجا، ما یک تابع تناسب جدید ایجاد می کنیم که به سه جزء بستگی دارد. اولین مورد در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره است و می توان آن را با استفاده از [38] به صورت زیر محاسبه کرد:

$$F_e = E_{en}/E_{an}$$

جایی که  $F_e$  تابع تناسب براساس انرژی است.  $E_{en}$  انرژی باقی مانده در هر گره و  $E_{an}$  انرژی باقی مانده همه گره ها است.

مولفه دوم در نظر گرفتن کوتاه ترین فاصله محاسبه شده با استفاده از معادله [38]:

$$F_d = D_{n,n}/D_{sd}$$

جایی که  $F_d$  تابع تناسب یک گره بر اساس فاصله درونی بین گره ها است.  $D_{n,n}$  فاصله بین از گره  $n$  تا گره  $n$  در مسیر است، و  $D_{sd}$  فاصله کل از منبع تا مقصد است.

سومین مؤلفه، در نظر گرفتن پیوندهای احتمالی است که می توان آن را از مورد از دست دادن تصادفی پکت های داده متمایز کرد. تراکم در مسیر با استفاده از مکانیسم Loss (CERL TCP) می محاسبه TCP

Congestion Enhancement for Random [۱۵]. با توجه به زمان رفت و برگشت (RTT) و پهنای باند (BW)، طول صف گلوگاه (L) را می توان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد:

$$L = (RTT - T)BW,$$

جایی که  $T$  کوچکترین RTT مشاهده شده توسط فرستنده TCP است و  $L$  هر بار که یک مقدار RTT جدید دریافت می شود، با آخرین اندازه-گیری RTT به روز می شود. در CERL، طول صف  $L$  اندازه گیری شده در معادله (۳) برای تخمین وضعیت تراکم پیوند استفاده می شود. به ویژه، CERL یک آستانه طول صف پویا را تعیین کردن به شرح زیر است:

$$N = A * L_{max},$$

جایی که  $L_{max}$  بزرگترین قدر  $L$  شناسایی شده توسط فرستنده، و  $A$  بین ۰ و ۱ ثابت است.

مقایسه ای از  $LCERL$  و  $N$  برای تصمیم گیری در مورد وضعیت احتمالی شبکه اگر  $L > N$ ، نشان می دهد که یک مسیر خاص ممکن است پکت هایی داشته باشد که در نتیجه تراکم ترافیک پیش بینی شده در یکی از گره های چنین مسیری حذف شوند. در این صورت باید از این مسیر اجتناب کرد و از مسیرهای بهینه حذف شد. اگر  $N$  بزرگتر مساوی  $L$  باشد، نشان می دهد که مسیر در نظر گرفته شده را می توان برای پیوستن به مجموعه بهترین مسیرها با توجه به مقادیر سایر اجزای تابع تناسب انتخاب کرد. حتی اگر برخی از پکت ها در چنین مسیری رها شوند، به عنوان یک نتیجه از دست دادن تصادفی در نظر گرفته می شود و بر عملکرد تناسب و پنجره تراکم تأثیر نمی گذارد و بنابراین، توان عملیاتی تأثیر منفی نخواهد داشت. از آنجا که  $L$  و  $N$  هر دو شامل مضربی از  $BW$  ثابت هستند، می توانیم هر دو طرف نابرابری های ذکر شده را تقسیم بر  $BW$  کنیم، و نابرابری حاصل همچنان درست خواهد بود. بنابراین، برآورد  $BW$  اجباری نیست و می توان آن را در اجرای CERL روی یک تنظیم کرد. به طور خلاصه، به طور کلی به تجزیه و تحلیل  $RTT$  شناسایی شده فعلی با حداقل  $RTT$  شناسایی شده مربوط می شود.

#### IV. روش پژوهش

ما فرض می کنیم که انرژی اولیه متساوی به همه یال های متحرک در یک شبکه بی سیم اختصاص داده شود. جریان الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴ نشان داده شده است که در آن از پروتکل AOMDV برای پیدا کردن مسیرهای چندگانه از منبع  $S$  به مقصد  $D$  استفاده می شود. سپس وضعیت تراکم هر مسیر با استفاده از  $L$  و  $N$  بر اساس معادلات

(۳) و (۴) محاسبه می شود. در مرحله بعد، ژنتیک الگوریتم از مراحل پنج گانه زیر شامل مرحله شروع، تابع سلامت، انتخاب، تلاقی و جهش استفاده می کند.

مرحله شروع شامل تعیین پارامترهای ژنتیک الگوریتم، تشکیل نشانه برای شبیه سازی است که بر اساس الگوریتم ۱ می باشد. در این مرحله، شش پارامتر تعیین می شوند:

- «ژن ها»، تعداد گره های فردی در یک مسیر می باشد،
- «PopSize»، تعداد کل مسیرها از مجموعه منبع تا مقصد می باشد،
- $Pc$  احتمال تلاقی زوج مسیرها می باشد،
- $Pm$  احتمال اینکه یک گره در یک مسیر تغییر ژنتیکی دهد،
- «SurvivorSel» دستوری است که بررسی می کند مسیر با بالاترین امتیاز (مسیر با بیشترین تناسب) که به عنوان پاسخ جستجو برگردد،
- «GensNoChange» اندازه پایانی را نشان می دهد، به این معنی که تعداد نسل هایی که ممکن است بگذرد بدون تغییر در مسیر برتر قبل از آنکه این مسیر برتر به عنوان پاسخ جستجو برگردد. مسیر برتر مسیر با بیشترین تناسب می باشد.

**تناسب** هر مسیر تولید می شود که با استفاده از الگوریتم ۲ محاسبه می شود. در اینجا، ارزش تابع هدف برای هر مسیر محاسبه می شود. مقدار تابع هدف به عنوان تناسب توصیف می شود. این با محاسبه تناسب هر مسیر، که از مجموع ارزش های سلامت فاصله، انرژی و مکانیزم تراکم مشتق می شود، به دست می آید. سپس، میانگین ارزش کلی برای هر مسیر محاسبه می شود. در مرحله بعد، تمام ارزش های سلامت از طریق فرآیند ارزیابی ارزیابی می شوند، و مسیر برتر نسل تعیین می شود. در پروتکل پیشنهادی ما، تابع سلامت با استفاده از معادله (۶) اندازه گیری می شود.

گام **انتخاب** مسیرهایی با تناسب پایین را حذف خواهد کرد و سایرین را نگه می دارد. استراتژی Eliteism در پروتکل پیشنهادی ما استفاده می شود و نیمی از مسیرهایی با تناسب بالا را نگهداشته خواهد کرد. انتخاب Eliteism یک رویکرد است که تعداد محدودی از مسیرهایی با بیشترین ارزش ها برای حرکت به مرحله بعد، انتخاب می شود، تا از انجام قدم های اضافی تلاقی و جهش جلوگیری شود. مسیرهای بدتر حذف خواهند شد و مسیر جدیدی در مراحل بعدی با استفاده از الگوریتم ۱ ایجاد خواهد شد.

#### V. ارزیابی عملکرد

۱. Antra Bhardwaj

۲. Hosam El-Ocla



در این معادله،  $G$  ظرفیت پذیرش،  $B_r$  تعداد بایت‌های نهایی دریافت شده و  $T$  زمان شبیه‌سازی شده است.

### ۳. تاخیر سراسری

این مدت زمانی است که پکت‌های داده با موفقیت به گره مقصد تحویل داده می‌شوند، زیرا از گره فرستنده منتقل شده‌اند. به آن تحویل یک طرفه (OWD) نیز می‌گویند. این شامل تمام انواع تاخیرها می‌شود. وقتی گره منبع پکت‌های داده‌ای برای ارسال دارد، به جدول مسیری خود مشاوره می‌کند تا بررسی کند آیا مسیری به مقصد نهایی وجود دارد یا خیر. اگر مسیری وجود نداشته باشد، به مرحله کشف مسیر می‌رود جایی که گره منبع پیام‌های RREQ را به گره‌های همسایه‌اش ارسال می‌کند. اگر یکی از این گره‌های همسایه مسیری به مقصد نهایی داشته باشد، پیام RREP را به گره منبع برمی‌گرداند؛ در غیر اینصورت، این گره‌ها پیام‌های RREQ را به گره‌های دیگر ارسال می‌کنند. این فرآیند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که حداقل یکی از گره‌ها با ارسال حداقل یکی پیام RREP به فرستنده طبق پروتکل AOMDV جوابگو باشد. گره منبع مسیر بهینه را بر اساس تابع تلفیق در معادله (۶) محاسبه می‌کند و بنابراین پکت‌ها از طریق این بهترین مسیر به گره مقصد انتقال داده می‌شوند. گره مسیر بهینه را در طول فرآیند ارتباطی حفظ می‌کند. پروتکل‌های پیشنهادی ما مسیرهای جایگزین را در صورت شکست پیوندها به عنوان الگوریتم‌های چندمسیره ارائه می‌دهد. اگر برای مدت طولانی ارتباطی وجود نداشته باشد، مسیر از جدول مسیری حذف خواهد شد. طول انتظار پکت‌های داده در صف‌های بافرهای گره‌های میانی به عهده دارد. زمان انتظار واپکت به چندین پارامتر است از جمله میزان بار ترافیک، پهنای باند لینک‌ها و اندازه بافرها. زمان پردازش شامل تمام تاخیرهای لایه‌های جداگانه و همچنین زمان‌های ارتباطی بین لایه‌ها است. تاخیر کشف مسیر یکی از اجزای اصلی زمان پردازش است. بنابراین، اجزای تاخیر نقطه به نقطه شامل تاخیر انتقال پکت‌های پیپی، تاخیر انتشار در طول لینک‌های مختلف از منبع تا مقصد، تاخیر پردازش و تاخیر صف‌گذاری می‌شود. زمانی که برای شناسایی شکست ارتباط، از طریق دریافت سه اظهارنامه تکراری یا تایم‌اوت صرف می‌شود و بنابراین برای اعاده انتقال پکت‌های داده آن یکی دیگر از اجزای تاخیر نقطه به نقطه است. مجموع تاخیر نقطه به نقطه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E2E = \frac{\sum_{i=0}^n R_i - S_i}{n}$$

در این معادله،  $n$  تعداد پکت‌های با موفقیت دریافت شده را نشان می‌دهد،  $R_i$  نشان دهنده زمانی است که گره مقصد  $i$ مین پکت را دریافت کرد،  $S_i$  نشان دهنده زمانی است که گره منبع پکت  $i$ مین را ارسال کرده است [۴۵].

پارامترهای مختلف برای بررسی عملکرد پروتکل‌های پیشنهادی ما بر اساس تابع تناسب مانند تعداد گره‌ها، زمان شبیه‌سازی، درصد گره‌های خراب/ناکارآمد و سرعت حرکت گره‌ها استفاده می‌شود. در شبیه‌سازی ما و بر اساس جدول ۱، ۱۰۰ گره متحرک به طور تصادفی در منطقه شبکه ۵۰۰ متر \* ۵۰۰ متر با ۱۰۰ ثانیه به عنوان زمان شبیه‌سازی توزیع شدند. برای مدیریت تأثیر حرکت گره‌ها که در نتیجه تغییر توپولوژی ایجاد می‌کند، ما در نظر داریم که گره‌ها سرعت حرکت ثابت ۱۰ متر در ثانیه داشته باشند. به هر گره مقدار اولیه ۱۰۰ ژول انرژی داده شده، و نوع منبع ترافیک به عنوان نرخ بیت ثابت CBR در شبکه همگانی متنقل IEEE 802.11 گرفته می‌شود. احتمالات تلاقی  $P_c$  و جهش  $P_m$  به ترتیب ۰.۵ و ۰.۱ هستند. به اعتبار [۱۵]، مقدار  $A$  در معادله (۴) به عنوان ۰.۵۵ فرض شده است.

### ب. معیارهای عملکرد

معیارهای عملکرد مورد استفاده در آزمایش‌های شبیه‌سازی به شرح زیر است [41, 24, 21]:

#### ۱. نسبت تحویل پکت PDR

این نسبت تعداد پکت‌های داده تحویل داده شده در گره مقصد به تعداد پکت‌های داده ارسال شده از گره منبع است. PDR نشان می‌دهد چقدر یک پروتکل در ارسال پکت‌ها در سراسر شبکه عمل می‌کند. PDR به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PDR = \frac{\sum P_d}{\sum P_s} \times 100.$$

در این معادله،  $P_d$  نشان دهنده تعداد پکت‌های تحویل شده و  $P_s$  تعداد پکت‌های ارسالی را نشان می‌دهد.

#### ۲. ظرفیت پذیرش

این مجموعه تعداد بایت‌هایی است که با موفقیت به مقصد در سراسر شبکه تحویل داده شده‌اند که بر اساس مگابایت در ثانیه (مگابایت بر ثانیه) بیان می‌شود. این یک نشانگر کیفیت و عملکرد است. ظرفیت پذیرش بالا به این معنی است که کمترین تعداد پکت در طول انتقال داده از منبع به مقصد رها شده است. که به صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$G = \frac{\sum B_r \times 8}{T} \times 10^6 \text{ (Mbps)}.$$

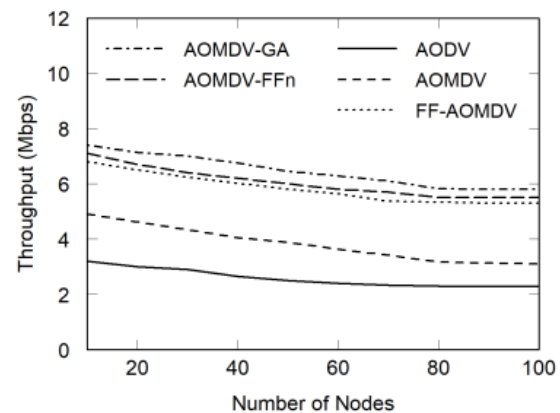


$S_i$  و  $R_i$  زمان‌ها به ترتیب در لایه‌های کاربردی فرستنده و گیرنده شمارش می‌شوند.

## VI. نتایج تجربی

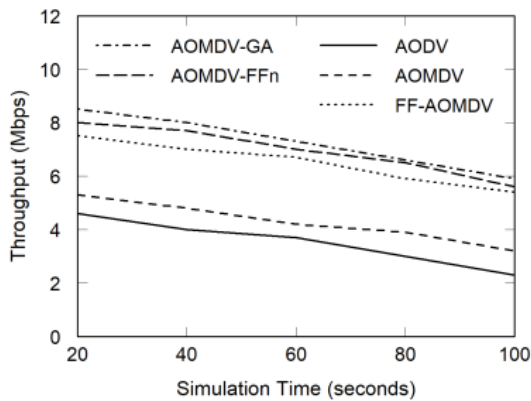
الف. ظرفیت پذیرش

در شکل ۵، تجزیه و تحلیل عملکرد توان مورد نیاز برای AODV، AOMDV، FF-AOMDV، AOMDV-FFn و AOMDV-GA در نظر گرفته شده است که ۱۰۰ گره مدنظر است. پروتکل پیشنهادی ما یعنی AOMDV-GA بهتر از سایر پروتکل‌ها عمل می‌کند زیرا AOMDV-GA از یک مکانیسم کنترل شلوغی استفاده می‌کند تا انتقال از طریق مسیرهای با ترافیک شبکه بیش از حد را جلوگیری کند. همچنین، پکت‌های داده را از طریق مسیری ارسال می‌کند که بالاترین سطح انرژی باقی‌مانده و کوتاه‌ترین فاصله را دارد. AOMDV-GA یک توسعه ۱۳۳٪، ۸۷٪ و ۸۸٪ در توان نسبت به AODV، AOMDV و FF-AOMDV به دست می‌آورد. با این حال، AOMDV-FFn یک توسعه ۱۱۵٪، ۷۷٪، ۴٪ نسبت به AODV، AOMDV و FF-AOMDV به دست می‌آورد. همانطور که می‌بینیم، AOMDV-GA از AOMDV-FFn با ۴،۴٪ افزایش توان برتری دارد زیرا AOMDV-GA برای ارزیابی سلامت مسیرهای جدید پس از انجام عمل جهش و تلاقی برای دستیابی به بالاترین ارزش سلامت استفاده می‌کند. در مقابل، AOMDV-FFn وارد این اجزا نمی‌شود.



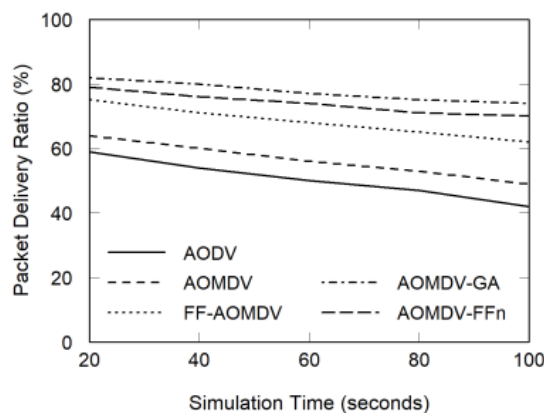
از سوی دیگر، شکل ۶ تأثیر زمان شبیه‌سازی متغیر بر توان را نشان می‌دهد. با افزایش زمان شبیه‌سازی، همانطور که ترافیک داده در شبکه افزایش می‌یابد. بنابراین، احتمال از دست دادن پکت‌ها افزایش می‌یابد که در نتیجه توان را برای همه پروتکل‌ها کاهش می‌دهد به دلیل شلوغی. با این حال، هر دوی AOMDV-GA و AOMDV-FFn نسبت به

مکانیزم‌های دیگر عملکرد بهتری دارند زیرا مکانیزم کنترل شلوغی در نظر گرفته شده است. AOMDV-GA 15.25٪ عملکرد بهتری نسبت به FF-AOMDV دارد. این به این دلیل است که برخی از مسیرهایی که ارزش‌های سلامت بالایی دارند در FF-AOMDV استفاده نمی‌شوند که در آن فرآیندهای تلاقی و جهش در نظر گرفته نمی‌شوند.



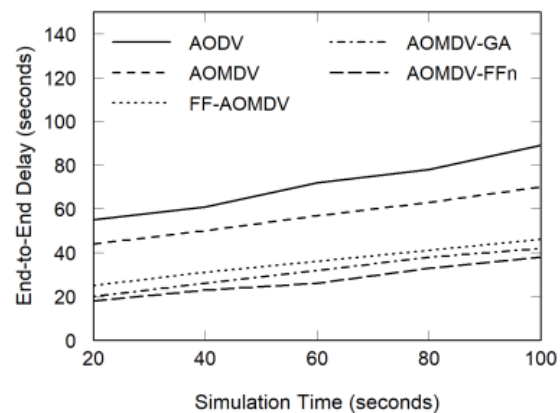
ب. نسبت ارسال پکت

تأثیر PDR در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است که سرعت حرکت ۱۰ متر بر ثانیه است. افزایش تعداد گره‌ها یا مدت زمان شبیه‌سازی، میزان ترافیک در شبکه را افزایش می‌دهد و بنابراین احتمال شلوغی ترافیک را بزرگ‌تر می‌کند. این منجر به ریزش بیشتر بسته‌های داده می‌شود که در نتیجه باعث کاهش PDR می‌شود. زیرا پروتکل‌های ما مشکل شلوغی را در تابع سلامت در نظر گرفته‌اند، بنابراین تضعیف PDR با افزایش تعداد گره‌ها نسبت به پروتکل‌های دیگر کمتر خواهد بود. PDR برای AOMDV-GA به مکانیزم AOMDV-FFn بسیار نزدیک است.



ج. تأخیر سراسری

تجزیه و تحلیل عملکرد در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به مقایسه‌ی پروتکل‌ها از نظر تأخیر سراسری می‌پردازد. همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد، FF-AOMDV از معیارهای فاصله و انرژی برای محاسبه بهترین مسیر استفاده می‌کند و به همین دلیل زمان پردازش آن باید بیشتر از پروتکل‌های ابتدایی از جمله AODV و AOMDV باشد که هر دو فقط از معیار تعداد هاب‌ها استفاده می‌کنند. با این حال، تأخیر سراسری FF-AOMDV کوتاه‌تر از سایر پروتکل‌ها است و این به دلیل انتخاب مسیر بهینه توسط FF-AOMDV است که عملکرد شبکه را بهبود می‌بخشد. به طور مشابه و طبق معادله (۶)، زمان پردازش پروتکل‌های ما بیشتر از طرح‌های دیگر است، با این حال تأخیر سراسری کوتاه‌تر از طرح‌های دیگر است و همانطور که در زیر توضیح داده می‌شود. با سرعت حرکت ۱۰ متر بر ثانیه، شبکه اغلب پیوندهای معیوب دارد که منجر به وقفه‌های ارتباطی داده و/یا از دست رفتن تصادفی داده می‌شود. در این حالت، AODV باید یک مسیر جدید پیدا کند و این منجر به افزایش تأخیر E2E خواهد شد. حتی در پروتکل‌هایی که مسیرهای چندگانه در دسترس هستند از جمله AOMDV و FF-AOMDV، اغلب نیاز به انتقال دوباره بسته‌ها وجود خواهد داشت به دلیل حرکت گره‌ها و/یا شلوغی ترافیک. این نیاز به تأخیر زمانی بیشتری نسبت به مکانیزم ما دارد که مسیرهای کارآمد آن شامل بهترین و مسیرهای جایگزین از شلوغی خودداری می‌کنند. در اینجا، AOMDV-FFn عملکرد AOMDV-GA را برتری می‌دهد زیرا AOMDV-FFn زمان تأخیر را در انجام فرآیندهای تلافی و جهش کاهش نمی‌دهد. بنابراین، فرآیند انتخاب بازمانده تعداد کمتری از مسیرهای موجود را خواهد داشت، بنابراین زمان پردازش کمتر خواهد بود.



د. مصرف انرژی

نتایج مصرف انرژی در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. هدف اصلی پروتکل‌های مسیریابی ما انرژی‌محور بودن است. AOMDV-

GA در اصلاح انرژی نسبت به سایر پروتکل‌ها بهتر عمل می‌کند. انرژی در گره‌های MANET اصلی‌ترین بخش آن در ارسال، پردازش یا انتقال بسته‌ها (داده یا مسیریابی) به همسایگان گره موجود یا مقصد نهایی تلف می‌شود. کاهش مقدار بسته‌های داده یا هزینه مسیریابی باعث حفظ سطح انرژی باقی‌مانده خواهد شد. پروتکل‌های ما واکنش‌گر هستند که گره‌ها تنها درخواست بسته‌ها را به مقصد از طریق همسایگان خود ارسال می‌کنند و این باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. الگوریتم‌های پیشنهادی ما سطح انرژی را در معادله (۱) هر گره در یک مسیر خاص محاسبه می‌کنند قبل از شروع انتقال داده برای به‌دست آوردن مسیری که انرژی باقی‌مانده بیشتری دارد. از سوی دیگر، دلیل اصلی استفاده از کنترل شلوغی و کوتاه‌ترین فاصله، حفظ انرژی تا جای ممکن است تا عملکرد بهبود یابد و عمر شبکه بتواند گسترش یابد. الگوریتم‌های ما مسیرهای کارآمدی فراهم می‌کنند که پیوندهای شلوغ را می‌توان اجتناب کرد و بنابراین، ترافیک در شبکه را کاهش می‌دهند. این باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود که ممکن است در انتقال‌های بسته‌های اضافی دوباره اگر شلوغی گره‌ها در نظر گرفته نشود، تلف شود. همچنین، این باعث سرعت بخشیدن به ارتباط داده و بهبود ظرفیت می‌شود زیرا انتقال‌های بسته‌ها به طور مکرر نیاز نیست. به عکس دیگر، پروتکل‌های دیگر مشکل شلوغی را در نظر نمی‌گیرند. AOMDV-GA به نسبت AOMDV-FFn به دلیل عدم وجود روش بهینه‌سازی در مراحل تلافی و جهش کمی عملکرد بهتری دارد.

چ.

مقدار بسته‌های مسیریابی بستگی به پارامترهای مختلفی از جمله پایداری شبکه، الگوریتم مسیریابی، اندازه شبکه و توپولوژی شبکه دارد. الگوریتم AODV تنها یک مسیر بهتر را پیدا می‌کند در حالی که AOMDV چندین مسیر را کشف می‌کند و این نیازمند بیشتر بسته‌های مسیریابی می‌شود. به عنوان نتیجه، AODV کمترین هزینه هدر را نسبت به AOMDV دارد همانطور که در شکل‌ها ۱۸ و ۱۹ نشان داده شده است و این با [۴۶]، [۴۷] مطابقت دارد. زیرا این الگوریتم نیاز به اطلاعات بیشتری در مورد شبکه دارد مانند در FF-AOMDV و الگوریتم‌های ما که از تابع تناسب استفاده می‌کنند، بسته‌های هدر مسیریابی افزایش خواهد یافت. با این حال، AOMDV-GA نیازمند هزینه هدر بیشتری نسبت به AOMDV-FFn دارد زیرا الگوریتم اول از اجزای مختلف الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند در حالی که در جستجوی مسیرهای بهینه که نیازمند بیشتر بسته‌های هدر مسیریابی است. می‌توانیم ببینیم که پروتکل پیشنهادی ما AOMDV-GA در مورد نسبت تحویل بسته، مصرف انرژی و پهنای باند بهتر عمل می‌کند در صورت مقایسه با

AODV، AOMDV و FF-AOMDV و اگرچه AOMDV-FFn کمی کمتر از AOMDV-GA در تمامی این معیارها عملکرد دارد. در مقابل، AOMDV-GA عملکرد ضعیفی در مورد نسبت هدر مسیریابی دارد. پروتکل پیشنهادی AOMDV-FFn در مورد هدر مسیریابی و تاخیر نقطه به نقطه عملکرد بهتری نسبت به هر دو AOMDV-GA و FF-AOMDV دارد.

## VII. پیچیدگی پروتکل

برای اجرای پروتکل‌های مسیریابی واکنشی مانند AODV، سه روش وجود دارد شامل قرقره، تغییرات هسته و Netfilter الگوریتم پیشنهادی ما با مکانیزم AOMDV یکپارچه شده است که نسخه چند مسیری از پروتکل AODV است. بنابراین، پروتکل AOMDV-GA فضای مسیریابی مشابه به مقداری که توسط AOMDV نیاز است، خواهد داشت. پروتکل‌های دیگر مشابه هستند مانند FF-AOMDV و DE-AODV.

ارتباط داده ممکن است به دلیل دلایل مختلفی مانند کمبود انرژی در گره‌ها و حرکت گره‌ها با شکست مواجه تضعیف عملکرد شبکه به معنای PDR و توان خروجی شود. همچنین، تاخیر نقطه به نقطه به اندازه افزایش نرخ انتقال داده‌ها به دلیل مشکلات ترافیکی مانند بروز انباشت شبکه افزایش می‌یابد. پروتکل ما بر اساس تابع تناسب، زمان بیشتری برای محاسبه بهترین مسیر نسبت به پروتکل‌های دیگر نیاز خواهد داشت؛ با این حال، مسیر بهینه حاصل از الگوریتم GA زمان را به کمک کاهش نرخ انتقال داده‌ها صرفه‌جویی می‌کند. این توسط طرح‌های ما ثابت می‌شود که برای اجتناب از مسیرهای شلوغ و همچنین مسیریابی که گره‌های کم انرژی باقی‌مانده دارند طراحی شده‌اند.

در برخی مواقع، ممکن است مسیر بهینه طولانی‌تر از مسیری باشد که توسط پروتکل‌های دیگر تولید شده است. این به این دلیل است که مکانیزم ما سایر معیارها را اعمال می‌کند از جمله مسیری با گره‌های کم شلوغ و انرژی باقی‌مانده بالاتر به اضافه به کوتاهترین فاصله. در این حالت، مکانیزم‌های ما عملکرد بهتری نسبت به پروتکل‌های دیگر ارائه خواهند داد حتی اگر مسیر کمی طولانی‌تر باشد.

## IX. نتیجه گیری

در این مقاله، یک الگوریتم بهینه‌سازی برای مسیریابی کارآمد در IEEE 802.11 MANETs مورد بررسی قرار گرفته است. حرکت گره‌ها در MANETs منجر به شکست لینک‌ها و به تبع آن از دست دادن تصادفی پکت‌های داده می‌شود. این باعث افزایش تعداد ارسال‌های مجدد

داده می‌شود که در نتیجه انرژی بیشتری مصرف می‌کند. در اینجا، مفهوم تابع تناسب که فاصله بین گره منبع و گره مقصد، کنترل شلوغی و مصرف انرژی را در نظر می‌گیرد، معرفی شده است. TCP CERL یک مکانیزم کنترل شلوغی است که برای استفاده در تابع تناسب توسعه داده شده است تا از مسیرهای شلوغ جلوگیری کند. این مکانیزم قادر است بین از دست دادن شلوغی و از دست دادن تصادفی تمایز قائل شود. از طریق استفاده از الگوریتم AOMDV، تابع تناسب جدید خود (FFn) را ترکیب کرده و بهترین مسیرهایی که بیشترین تناسب را دارند را انتخاب می‌کنیم و AOMDV-FFn را پیشنهاد می‌دهیم. مسیر با بیشترین تناسب به معنای کوتاه‌ترین مسیر، بیشترین انرژی باقی‌مانده و کمترین ترافیک داده، حتی اگر از دست دادن تصادفی پکت‌های داده رخ دهد. همچنین پروتکل AOMDV-GA ما را معرفی کرد که از یک الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده می‌کند. از طریق آزمایش‌های شبیه‌سازی ما، هر دو پروتکل نسبت به مکانیزم‌های مسیریابی دیگر بهبود چشمگیری داشته‌اند. در ۲٪ از دست دادن تصادفی پکت‌های داده، AOMDV-GA توان خروجی بالاتری با ۱۰۰۰٪، ۶۸۰٪، ۱۳۲٪ و ۹٪ دارد.

## IX. منابع

- [1] D. Feng, C. Jiang, G. Lim, L. J. Cimini, G. Feng, and G. Ye Li, "A survey of energy-efficient wireless communications," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 15, no. 1, pp. 167–178, 1st Quart., 2013.
- [2] J. Li, X. Li, Y. Gao, Y. Gao, and R. Zhang, "Dynamic cloudlet-assisted energy-saving routing mechanism for mobile ad hoc networks," IEEE Access, vol. 5, pp. 20908–20920, 2017.
- [3] S. Hao, H. Zhang, and M. Song, "A stable and energy-efficient routing algorithm based on learning automata theory for MANET," J. Commun. Inf. Netw., vol. 3, no. 2, pp. 52–66, Jun. 2018.
- [4] T. Sanislav, S. Zeadally, G. D. Mois, and S. C. Folea, "Wireless energy harvesting: Empirical results and practical considerations for Internet of Things," J. Netw. Comput. Appl., vol. 121, pp. 149–158, Nov. 201.
- [5] Z. Li and H. Shen, "A QoS-oriented distributed routing protocol for hybrid wireless

- [15] T. Saedi and H. El-Ocla, “*Improving throughput in lossy Wired/Wireless networks*,” *Wireless Pers. Commun.*, May 2020.
- [16] M. K. Marina and S. R. Das, “*On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks*,” in *Proc. 9th Int. Conf. Netw. Protocols (ICNP)*, 2001, pp. 14–23.
- [17] M. Ye, Y. Wang, C. Dai, and X. Wang, “*A hybrid genetic algorithm for the minimum exposure path problem of wireless sensor networks based on a numerical functional extreme model*,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 10, pp. 8644–8657, Oct. 2016.
- [18] H. Darji and H. B. Shah, “*Genetic algorithm for energy harvesting wireless sensor networks*,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron., Inf. Commun. Technol. (RTEICT)*, May 2016, pp. 1398–1402.
- [19] V. D. P. Souto, R. D. Souza, B. F. Uchoa-Filho, and Y. Li, “*A novel efficient initial access method for 5G millimeter wave communications using genetic algorithm*,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 10, pp. 9908–9919, Oct. 2019.
- [20] S. N. Sivanandam and S. N. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*, vol. 1. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [21] Z. Chen, W. Zhou, S. Wu, and L. Cheng, “*An adaptive on-demand multipath routing protocol with QoS support for high-speed MANET*,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 44760–44773, 2020.
- [22] P. Periyasamy and E. Karthikeyan, “*Link reliable multipath routing protocol for mobile ad hoc networks*,” in *Proc. Int. Conf. Circuits, Power Comput. Technol. (ICCPCT)*, Nagercoil, India, Mar. 2015, pp. 1–7.
- [23] P. Periyasamy and E. Karthikeyan, “*End-to-end link reliable energy efficient multipath routing for mobile ad hoc networks*,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 92, no. 3, pp. 825–841, Feb. 2017.
- [6] A. M. E. Ejmaa, S. Subramaniam, Z. A. Zukarnain, and Z. M. Hanapi, “*Neighbor-based dynamic connectivity factor routing protocol for mobile ad hoc network*,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 8053–8064, 2016.
- [7] M. Er-rouidi, H. Moudni, H. Mouncif, and A. Merbouha, “*A balanced energy consumption in mobile ad hoc network*,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 151, pp. 1182–1187, Jan. 2019.
- [8] A. M. Akhtar, M. R. Nakhai, and A. H. Aghvami, “*Power aware cooper-ative routing in wireless mesh networks*,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 5, pp. 670–673, May 2012.
- [9] S. Chen, Z. Yuan, and G.-M. Muntean, “*An energy-aware routing algorithm for quality-oriented wireless video delivery*,” *IEEE Trans. Broad-cast.*, vol. 62, no. 1, pp. 55–68, Mar. 2016.
- [10] P. Sra and S. Chand, “*QoS in mobile ad-hoc networks*,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 105, pp. 1599–1616, Apr. 2019.
- [11] P. Pal, S. Tripathi, and C. Kumar, “*Bandwidth estimation in high mobility scenarios of IEEE 802.11 infrastructure-less mobile ad hoc networks*,” *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 32, no. 15, p. e4080, Oct. 2019.
- [12] M. Selvi and B. Ramakrishnan, “*Lion optimization algorithm (LOA)- based reliable emergency message broadcasting system in VANET*,” *Soft Comput.*, vol. 24, no. 14, pp. 10415–10432, Jul. 2020.
- [13] M. K. Marina and S. R. Das, “*Ad hoc on-demand multipath distance vector routing*,” *Wireless Commun. Mobile Comput.*, vol. 6, no. 7, pp. 969–988, 2006.
- [14] J. Wu, R. Tan, and M. Wang, “*Energy-efficient multipath TCP for qualityguaranteed video over heterogeneous wireless networks*,” *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 21, no. 6, pp. 1593–1608, Jun. 2019.

*mitigating congestion in WSN*,” IEEE Access, vol. 7, pp. 105402–105419, 2019.

[33] P. Pal, S. Tripathi, and C. Kumar, “Bandwidth estimation in high mobility scenarios of IEEE 802.11 infrastructure-less mobile ad hoc networks,” Int. J. Commun. Syst., vol. 32, no. 15, p. e4080, Oct. 2019.

[34] J. Chen, Y.-Z. Lee, H. Zhou, M. Gerla, and Y. Shu, “Robust ad hoc routing for lossy wireless environment,” in Proc. MILCOM, Oct. 2006, pp. 1–7.

[35] K. Ong, S. Zander, D. Murray, and T. McGill, “Experimental evaluation of less-than-best-effort TCP congestion control mechanisms,” in Proc. IEEE 42nd Conf. Local Comput. Netw. (LCN), Singapore, Oct. 2017, pp. 252–260.

[36] S. Sathya Priya and K. Murugan, “Enhancing TCP fairness in wireless networks using dual queue approach with optimal queue selection,” Wireless Pers. Commun., vol. 83, no. 2, pp. 1359–1372, Jul. 2015.

[37] P. Dong, J. Wang, J. Huang, H. Wang, and G. Min, “Performance enhancement of multipath TCP for wireless communications with multiple radio interfaces,” IEEE Trans. Commun., vol. 64, no. 8, p. 3456–3466, Aug. 2016.

[38] V. B. Trivedi and P. Nayak, “Modified AODV using genetic algorithm to minimize energy consumption in MANET,” Int. J. Innov. Technol. Exploring Eng., vol. 8, no. 7S2, pp. 525–530, May 2019.

[39] H. Du, Z. Wang, W. Zhan, and J. Guo, “Elitism and distance strategy for selection of evolutionary algorithms,” IEEE Access, vol. 6, pp. 44531–44541, 2018.

[40] A. Hassanat, K. Almohammadi, E. Alkafaween, E. Abunawas, A. Hammouri, and V. B. S. Prasath, “Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms—A review with a new dynamic approach,” Information, vol. 10, no. 12, p. 390, Dec. 2019.

[24] A. Taha, R. Alsaqour, M. Uddin, M. Abdelhaq, and T. Saba, “Energy efficient multipath routing protocol for mobile ad-hoc network using the fitness function,” IEEE Access, vol. 5, pp. 10369–10381, 2017.

[25] A. Bhattacharya and K. Sinha, “An efficient protocol for load-balanced multipath routing in mobile ad hoc networks,” Ad Hoc Netw., vol. 63, pp. 104–114, Aug. 2017.

[26] K. K. Sharma and I. Kaur, “Implementation of genetic algorithm for optimization of network route,” in Proc. 2nd Int. Conf. Comput. Commun. Technol., Adv. Intell. Syst. Comput., vol. 381, S. Sataroutey, K. Raju, J. Mandal, and V. Bhateja, Eds. New Delhi, India: Springer, 2016.

[27] N. Muruganantham and H. El-Ocla, “Routing using genetic algorithm in a wireless sensor network,” Wireless Pers. Commun., vol. 111, no. 4, pp. 2703–2732, Apr. 2020.

[28] W. Wang, X. Wang, and D. Wang, “Energy efficient congestion control for multipath TCP in heterogeneous networks,” IEEE Access, vol. 6, pp. 2889–2898, 2018.

[29] W. Jabbar, W. Saad, and M. Ismail, “MEQSA-OLSRv2: A multicriteria-based hybrid multipath protocol for energy-efficient and QoS-aware data routing in MANET-WSN convergence scenarios of IoT,” IEEE Access, vol. 6, pp. 76546–76572, 2018.

[30] T. K. Saini and S. C. Sharma, “Prominent unicast routing protocols for mobile ad hoc networks: Criterion, classification, and key attributes,” Ad Hoc Netw., vol. 89, pp. 58–77, Jun. 2019.

[31] J. Deepa and J. Sutha, “A new energy based power aware routing method for MANETs,” Cluster Comput., vol. 22, no. S6, pp. 13317–13324, Nov. 2019.

[32] M. Farsi, M. Badawy, M. Moustafa, H. A. Arafat, and Y. Abdulazeem, “A congestion-aware clustering and routing (CCR) protocol for

١. Antra Bhardwaj
٢. Hosam El-Ocla