

# ارائه یک الگوریتم مسیریابی چندمسیری مجزای ناحیه‌ای برای شبکه‌های سیار موردی

نستوه طاهری جوان<sup>\*</sup>، مهدی دهقان<sup>†</sup>

## چکیده

الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری برای رسیدن به مزیت‌هایی از قبیل تحمل‌پذیری در برابر خطا و کاهش تاخیر انتها به انتها در طول فرآیند کشف مسیر، چندین مسیر را از مبدا تا مقصد کشف می‌کنند. در برخی از الگوریتم‌های چندمسیری، جهت کاهش تاخیر انتها به انتها و حتی متعادل کردن بار، همزمان از چندین مسیر کشف شده برای ارسال اطلاعات استفاده می‌شود. در این حالت برای افزایش تحمل‌پذیری خطا انتخاب مسیرهای مجزای گره‌ای یکی از بهترین گزینه‌ها می‌باشد. اما روشن است که در شبکه‌های بی‌سیم ارسال اطلاعات از طریق مسیرهای کاملاً مجزا نیز از هم مستقل نیستند و می‌توان حالت‌ها و سناریوهای متعددی را در نظر گرفت که بخاطر مسائل ذاتی شبکه‌های بی‌سیم و مکانیزم‌های دسترسی به کانال مانند ارسال RTS و CTS، استفاده از دو مسیر کاملاً مجزا نیز به یکدیگر وابسته است و در بخش‌های زیادی از زمان، برخی از گره‌های میانی باید ارسال خود را متوقف کنند. برای حل این مشکل می‌توان از مسیرهای مجزای ناحیه‌ای به جای مسیرهای مجزای گره‌ای استفاده کرد. یک راه برای کشف مسیرهای مجزای ناحیه‌ای استفاده از آنتن‌های جهت‌دار می‌باشد، اما در بسیاری از تجهیزات موجود، این‌گونه آنتن‌ها در دسترس نیستند. در این مقاله روش جدیدی پیشنهاد می‌شود که مجزا بودن ناحیه‌ای گره‌های مجهز به آنتن‌های معمولی و همه‌جهته را تشخیص می‌دهد و برای انتخاب مسیرها، از گره‌های مجزای ناحیه‌ای استفاده می‌کند. این ایده در همه الگوریتم‌های مسیریابی برحسب تقاضا قابل پیاده‌سازی خواهد بود. کارآیی روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف ارزیابی شده و بهبود قابل توجهی در درصد ارسال موفق بسته‌ها و کاهش تاخیر انتها به انتها نسبت به روش‌های موجود ارائه داده است.

## کلمات کلیدی

شبکه‌های سیار موردی، مسیریابی چند مسیری، الگوریتم‌های برحسب تقاضا، مسیرهای مجزای ناحیه‌ای، آنتن‌های همه‌جهته.

## A New Zone Disjoint Multipath Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

Nastooch Teheri Javan, Mehdi Dehghan

### Abstract

Using multipath routing can provide fault tolerance, load balancing, reducing end-to-end delay and higher aggregate bandwidth. Some of multipath routing algorithms use multiple paths simultaneously. These algorithms can attempt to find node-disjoint to achieve higher fault tolerance. By using node-disjoint paths, it is expected that the end to end delay in each case should be independent of each other. However because of natural properties and medium access mechanisms in ad hoc networks, such as sending RTS and CTS, the end to end delay between any source and destination depends on the pattern of communication in the neighborhood region and some of intermediate nodes should be silent to reverence they neighbors. To avoid this problem, multipath routing algorithms can use zone-disjoint paths instead node-disjoint paths. Some of multipath routing algorithms use directional antenna to select zone-disjoint paths. In this paper we propose a new multipath routing algorithm that selects zone-disjoint paths, using omnidirectional antenna. Our approach can be used in all On-demand algorithms. We evaluate our algorithm in several different scenarios.

### Keywords

Mobile Ad hoc Networks, Multipath Routing, on-Demand Algorithms, Zone disjoint Paths, Omni-Directional Antenna.

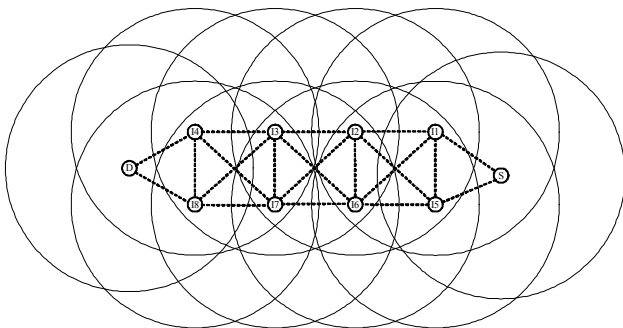
<sup>\*</sup> دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، [Nastooch@ce.aut.ac.ir](mailto:Nastooch@ce.aut.ac.ir)

<sup>†</sup> عضو هیأت علمی و استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، [Dehghan@ce.aut.ac.ir](mailto:Dehghan@ce.aut.ac.ir)

۱- مقدمه

ای بین مبدا و مقصد می‌باشد. با این کار تحمل پذیری خطا به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که اگر مسیرهایی که برای ارسال انتخاب می‌شوند، هیچ گره مشترکی با هم نداشته باشند، خراب شدن و از بین رفتن یک گره یا یک اتصال نهایتاً به شکستن یک مسیر می‌انجامد و تاثیری بر روی بیش از یک مسیر ندارد.

به این ترتیب شاید به نظر برسد به بالاترین حد کارایی و پایین ترین حد تاخیر انتها به انتها رسیده‌ایم، اما همانطور که می‌دانیم در شبکه‌های موردی مشکلات ایستگاه آشکار<sup>۴</sup> و ایستگاه پنهان<sup>۵</sup> وجود دارد که برای برطرف کردن آن‌ها پروتکل CSMA/CA<sup>۶</sup> پیشنهاد شده‌است. در استاندارد 802.11 از این پروتکل برای دستیابی به کانال استفاده می‌شود. در این پروتکل به خاطر تبادل پیامهای RTS<sup>۷</sup> و CTS<sup>۸</sup> بین گره‌ها، برخی از گره‌ها مجبور به سکوت و عدم ارسال اطلاعات می‌شوند که این مسأله تاخیر انتها به انتها را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال شکل (۱) را در نظر بگیرید. این شکل یک شبکه فرضی را نشان می‌دهد که در آن فقط ده گره نمایش داده شده‌است. در این شکل بُرد رادیویی هر گره مشخص شده‌است و خطوط نقطه چین وجود ارتباط مستقیم بین دو گره را نشان می‌دهند، به عبارت دیگر وجود نقطه چین بین دو گره خاص به این معناست که دو گره در بُرد رادیویی یکدیگر قرار دارند.



شکل (۱): مسیره‌های مجزای گره‌ای.

حال در این شبکه بین دو گره S و D، دو مسیر مجزای گره‌ای S-I1-I2-I3-I4-D و S-I5-I6-I7-I8-D وجود دارند که ارتباط و ارسال داده از یک مسیر، کاملاً مستقل از مسیر دیگر نیست. در این حالت تاخیر انتها به انتهای هر یک از مسیرها به ترافیک مسیر دیگر نیز وابسته است که این امر به خاطر تبادل پیامهای RTS و CTS بین گره‌های شبکه برای اجتناب از تصادم و رفع مشکلات ایستگاه پنهان و ایستگاه آشکار می‌باشد. در نتیجه برخی از ایستگاه‌های یک مسیر، مثلاً به خاطر دریافت CTS از یک گره در مسیرمقابل، باید فعلاً ارسال خود را به تعویق بیندازند.

برای برطرف کردن این مشکل روش‌هایی پیشنهاد شده‌اند که در آن‌ها از آنتن‌های جهت دار استفاده می‌شود [7,8]. ما در این مقاله سعی داریم با اصلاح الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری در رده برحسب تقاضا و با استفاده از آنتن‌های همه جهته این مشکل را تا حدی برطرف کنیم.

یک شبکه سیار موردی شبکه‌ای است که در آن هیچ زیر ساخت، مسیریاب و ایستگاه ثابتی وجود ندارد [2]. در این شبکه‌ها، کلیه اعمال شبکه از قبیل مسیریابی توسط خود گره‌ها و با همکاری یکدیگر انجام می‌شود. خصوصیتی از قبیل قابلیت تحرک بسیار بالای گره‌ها و در نتیجه توپولوژی پویای شبکه، پهنای باند کم و حتی توان و انرژی محدود موجب پیچیدگی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های موردی می‌شود. همه این خصوصیات باعث می‌شود تا بسیاری از ایده‌های موجود در الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های دیگر، برای شبکه‌های موردی کارایی و کاربردی نداشته باشند. با این حال الگوریتم‌های مسیریابی زیادی برای شبکه‌های موردی پیشنهاد شده‌اند [1] و برخی از آنها عمومیت و استقبال فراوانی پیدا کرده‌اند، که از این بین می‌توان به الگوریتم‌های مسیریابی DSR<sup>1</sup> و AODV<sup>2</sup> اشاره کرد. هر دوی این الگوریتم‌ها از رده برحسب تقاضا<sup>۳</sup> هستند، به این معنی که فرآیند کشف مسیر تنها هنگامی اجرا می‌شود که یک مبدا به یک مسیر تا مقصدی خاص نیاز داشته باشد.

در بین الگوریتم‌های مسیریابی شبکه‌های موردی، برخی از الگوریتم‌ها عمل مسیریابی را به صورت چند مسیری انجام می‌دهند. به این ترتیب که طی فرآیند کشف مسیر، همزمان چندین مسیر را کشف و ثبت می‌کنند. با این کار تعداد دفعات اجرای فرآیند زمانگیر کشف مسیر به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد که این مسئله اولین مزیت مسیریابی چندمسیری می‌باشد. از طرف دیگر با استفاده از مسیریابی چندمسیری تحمل پذیری در برابر خطا به طور موثری افزایش می‌یابد. اکثر الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری، پس از آنکه در فرآیند کشف مسیر چندین مسیر را از مبدا تا مقصد پیدا کردند، یکی از این مسیرها را به عنوان مسیر اصلی انتخاب کرده و ارسال اطلاعات را از طریق همین مسیر آغاز می‌کنند و سایر مسیرها را به عنوان جایگزین نگهداری کرده و در صورت خرابی مسیر اصلی، یکی از مسیرهای جایگزین را برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند.

با کمی تامل در الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری می‌توان دریافت پس از اینکه در فرآیند کشف مسیر، چندین مسیر بین مبدا و مقصد پیدا شد، می‌توان ارسال اطلاعات به سمت مقصد را به طور همروند و از طریق چندین مسیر آغاز کرد. با استفاده از این مکانیزم‌ها می‌توان با تقسیم بار اطلاعات بین چندین مسیر، ترافیک را در شبکه متعادل کرد که این امر در مبحث کنترل ترافیک و ازدحام مورد توجه واقع می‌شود. در نهایت تقسیم و ارسال اطلاعات بین چندین مسیر مختلف، می‌تواند منجر به افزایش پهنای باند انتها به انتها و در نتیجه کاهش قابل توجه تاخیر شود.

در این حالت یکی از مهمترین مسائل، انتخاب مسیرهای مناسب برای ارسال همروند اطلاعات به سمت مقصد می‌باشد. یکی از ایده‌هایی که برای این کار از آن استفاده می‌شود، انتخاب مسیرهای مجزای گره-

اصلی انتخاب می‌کند، زیرا این درخواست احتمالاً از کوتاه‌ترین مسیر رسیده است. سپس بعد از رسیدن درخواست‌های مسیریابی، از بین آن‌ها مسیرهای مجزا را انتخاب کرده و پاسخ مسیر را از طریق آن‌ها ارسال می‌کند. مبدا نیز تمام پاسخ‌های مسیر رسیده را نگهداری کرده و از طریق مسیر اصلی شروع به ارسال داده می‌کند. در این حالت اگر مسیر اصلی با خرابی مواجه شود، کوتاه‌ترین مسیر جایگزین می‌شود. در صورت خراب شدن این مسیر هم یک مسیر دیگر جایگزین می‌شود. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که مسیری وجود داشته باشد. هنگامی که دیگر مسیری موجود نبود، دوباره عمل کشف مسیر انجام می‌شود.

همچنین در [5] یک الگوریتم با عنوان MP-AOMDV بیان شده است که باز هم برگرفته از الگوریتم AODV می‌باشد.

اما در راستای مسیریابی چندمسیری با استفاده از مفهوم مسیرهای مجزای ناحیه‌ای، با استفاده از آنتن‌های جهت‌دار یک روش در [7] پیشنهاد شده است. در این روش هر گره باید به‌طور متناوب اطلاعات مربوط به همسایه‌های خود را در یک جدول موسوم به AST درج کند. این اطلاعات باید شامل قدرت سیگنال رادیویی یک گره تا یک همسایه و در زاویه‌ای خاص باشد. دقت کنید برای این کار حتماً به آنتن‌های رادیویی جهت‌دار نیاز داریم. پس از این مرحله، هنگامی که مبدا به یک مسیر تا مقصد نیاز داشت، ابتدا سعی می‌کند تمام مسیرهای مجزای گره‌ای تا مقصد را شناسایی کند، سپس از بین این مسیرها، مسیرهای مجزای ناحیه‌ای را انتخاب می‌کند. در این حالت مبدا می‌تواند محاسبات مربوط به شناسایی مسیرهای مجزای ناحیه‌ای را به‌طور متناوب تکرار کرده و تصمیم مسیریابی خود را به‌روز کند. لازم به ذکر است در [8] نیز درباره مزایا و معایب الگوریتم‌های چندمسیری با استفاده از آنتن‌های جهت‌دار بحث شده است.

### ۳- جزئیات الگوریتم پیشنهادی

اولین نکته‌ای که ذکر آن ضروری به نظر می‌رسد این است که این ایده را می‌توان در همه الگوریتم‌های مسیریابی برحسب تقاضا استفاده کرد. در الگوریتم‌های برحسب تقاضا، هنگامی که مبدا برای مقصدی خاص داده برای ارسال داشت، اما مسیری تا مقصد در اختیار نداشت، فرآیند کشف مسیر را اجرا می‌کند. در این حالت مبدا یک بسته درخواست مسیر (RREQ) را برای همه همسایه‌های خود به‌طور سیل‌آسا (Flooding) ارسال می‌کند. هر بسته گره‌هایی را که طی می‌کند، در سرآیند خود ذخیره می‌کند. از آنجا که مبدا این بسته‌ها را به‌طور فراگیر پخش کرده است، این احتمال وجود دارد که مقصد چندین بسته درخواست مسیر را از مسیرهای مختلف دریافت کند. در این حالت مقصد می‌تواند چندین بسته پاسخ مسیر (RREP) را از طریق چند مسیر برای مبدا ارسال کند. البته برای انتخاب این مسیرها از بین RREQ های رسیده، چندین راه کار وجود دارد. یک ایده این است که مقصد با انجام محاسباتی مسیرهای مجزای اتصال را انتخاب کرده و از طریق آنها RREP را ارسال کند. اما برای اینکه مبدا بتواند به‌طور

ادامه این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش دوم به مروری بر کارهایی که پیش از این پیرامون این زمینه انجام شده است، می‌پردازیم. در بخش ۳ جزئیات الگوریتم پیشنهادی را بررسی می‌کنیم و در بخش ۴ به بیان نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی می‌پردازیم. در نهایت در بخش ۵ یک نتیجه اجمالی از کار صورت گرفته می‌گیریم.

### ۲- کارهای مرتبط

در راستای مسیریابی چند مسیری در شبکه‌های موردی کارها و تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. در اکثر این کارها سعی بر این بوده که الگوریتم‌های تک مسیری موجود در شبکه‌های موردی را -که کارایی مناسبی داشته‌اند- با ایجاد تغییراتی به الگوریتم‌های چندمسیری تبدیل کنند. در [6] الگوریتمی تحت عنوان SMR<sup>9</sup> پیشنهاد شده که در حقیقت بر اساس الگوریتم مسیریابی DSR بنا نهاده شده است. این الگوریتم سعی دارد در فرآیند کشف مسیر، مسیرهایی را پیدا کند که حداقل اشتراک را با هم دارند. برای این منظور مبدا یک بسته درخواست مسیر را برای همه همسایه‌های خود به صورت فراگیر ارسال می‌کند. در SMR بر خلاف DSR، گره‌های میانی همه بسته‌های درخواست مسیر تکراری را حذف نمی‌کنند، بلکه اگر یک بسته درخواست مسیر به‌طور تکراری ولی از یک اتصال دیگر به این گره رسیده باشد و همچنین تعداد گام آن از تعداد گام اولین بسته درخواست مسیر دریافت شده بزرگتر نباشد، این بسته را دوباره پخش می‌کنند. به این ترتیب بسته‌های درخواست مسیر بیشتری به مقصد می‌رسد. در این حالت مقصد در جواب اولین درخواست مسیری که دریافت کرد، یک بسته پاسخ مسیر به سوی مبدا بر می‌گرداند، زیرا این بسته قاعداً از طریق کوتاه‌ترین مسیر رسیده است. بعد از این مرحله، مقصد پس از دریافت بسته‌های درخواست مسیر دیگر، از بین آنها مسیرهای مجزای گره‌ای را انتخاب کرده و بسته پاسخ مسیر را از طریق آن‌ها به سمت مبدا روانه می‌کند.

به عنوان یک مثال دیگر از الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری، در [3] روشی تحت عنوان AOMDV<sup>10</sup> براساس الگوریتم مسیریابی AODV طراحی شده است. در الگوریتم AOMDV، طی فرآیند کشف مسیر، چندین مسیر مجزای اتصال کشف می‌شوند. در این الگوریتم، هر گره به ازای هر مقصد، دو گام بعدی را نگهداری می‌کند. اگر در طول برقراری ارتباط، یکی از اتصال‌ها از بین رفت، گره میانی از گام بعدی جایگزین استفاده می‌کند. نقطه ضعف این الگوریتم این است که در حین ارتباط، اتصال با گام بعدی جایگزین نیز ممکن است از بین رود و هنگامی که به این گام بعدی نیاز است، اتصال با آن نیز از بین رفته باشد.

در [9] یک روش با نام MSR که در واقع بسط یافته الگوریتم DSR می‌باشد، پیشنهاد شده است. در الگوریتم MSR، مقصد پس از آنکه اولین درخواست مسیری را دریافت کرد، آن را به عنوان مسیر

سرایند بسته موجود نبود، به این معناست که این درخواست مسیر را قبلاً از طریق مسیرهای دیگر دیده است و تصمیم می‌گیرد که این RREQ را دوباره پخش کند و البته باید باز هم قبل از ارسال این RREQ از همسایه‌ها درباره آن پرس و جو کند تا آمار جدید همسایه‌ها را به دست آورد.

در این حالت وقتی مقصد RREQ های مختلف را دریافت کرد، علاوه بر محاسباتی که قبلاً برای انتخاب مسیرهای مجزای گره‌ای انجام می‌داد، اکنون باید محتوای فیلد *ActiveNeighborCount* را نیز بررسی کند و مسیرهایی را انتخاب کند که محتوای فیلد *ActiveNeighborCount* در آنها کمترین باشد. به این ترتیب مقصد با انتخاب مسیرهایی که محتوای این فیلد در آنها کمتر از بقیه است، مسیرهای مجزای ناحیه‌ای را انتخاب می‌کند و بسته پاسخ مسیر را از طریق مسیرهای انتخاب شده، به سمت مبدا ارسال می‌کند.

برای درک عملکرد گره‌ها در این الگوریتم، شبه‌کد عملکرد گره مبدا در شکل (۲)، شبه‌کد گره مقصد در شکل (۳) و شبه‌کد عملکرد گره‌های میانی در شکل (۴) ارائه شده است.

همزمان و با کمترین تاخیر انتها به انتها، داده‌ها را از طریق چندین مسیر برای مقصد ارسال کند، یک راهکار مناسب این است که مقصد مسیرهای مجزای گره‌ای را برای ارسال RREP انتخاب کند.

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، برای ارسال همزمان بخش‌های داده، از طریق مسیرهای مجزای گره‌ای نیز به حداکثر کارایی نمی‌رسیم. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود ارسال همروند اطلاعات از طریق مسیرهای مجزای ناحیه‌ای انجام شود. در الگوریتم پیشنهادی، برای کشف مسیرهای مجزای ناحیه‌ای بین مبدا و مقصد، یک فیلد جدید با عنوان *ActiveNeighborCount* و با مقدار اولیه صفر در سرآیند بسته‌های RREQ ایجاد می‌شود. این فیلد در واقع تعداد همسایه‌های فعال برای گره‌های موجود در یک مسیر را نشان می‌دهد. در اینجا منظور از همسایه‌های فعال گره‌هایی هستند که قبلاً همین RREQ را دریافت کرده‌اند و این احتمال وجود دارد که مبدا و مقصد برای تبادل اطلاعات بین خود مسیری دیگر را که از آن گره می‌گذرد، نیز انتخاب کرده باشند که در این صورت ارسال اطلاعات از طریق این دو مسیر، به هم وابسته است. به علاوه برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، همه گره‌ها باید یک جدول با عنوان *RREQ Seen* نگهداری کنند، که در این جدول مشخصات RREQ های دریافت شده توسط هر گره ثبت می‌شود. در این حالت هنگامی که گره میانی یک RREQ را دریافت کرد، مشخصات آن را در جدول *RREQ Seen* خود درج می‌کند.

در این ایده، گره مبدا براساس اصول الگوریتم‌های برحسب تقاضا، یک بسته درخواست مسیر را به منظور کشف مسیر، تولید و پخش می‌کند. همان‌طور که ذکر شد، مقدار اولیه فیلد *ActiveNeighborCount* در این بسته، صفر می‌باشد. در این حالت هر یک از گره‌های میانی که یک RREQ را دریافت کرد، ابتدا مشخصات آن را در جدول *RREQ Seen* خود درج می‌کند، اما قبل از ارسال این بسته فقط از همسایه‌های خود پرس و جو می‌کند که آیا شما قبلاً این RREQ را با این مشخصات دیده‌اید؟ و برای این منظور، یک بسته با عنوان *RREQ Query* برای همسایه‌های خود ارسال می‌کند و مدت زمان مشخصی را با تنظیم کردن یک تایمر، منتظر بازگشت پاسخ همسایه‌ها می‌ماند. در این حالت همسایه‌ها پس از دریافت این پرسش، موظف هستند با جستجو در جدول *RREQ Seen* پاسخ این سوال را برگردانند. پس از منقضی شدن زمان تایمر، این گره به تعداد همسایه‌هایی که پاسخ مثبت می‌دهند، محتوای فیلد *ActiveNeighborCount* را در بسته RREQ افزایش می‌دهد و آنگاه طبق روال الگوریتم مسیریابی، آن را برای همه ارسال می‌کند. از این به بعد اگر دوباره از طریق یک مسیر دیگر همین RREQ را دریافت کرد، ابتدا چک می‌کند که آیا نام وی در مسیر موجود در سرآیند بسته وجود دارد یا خیر؟ اگر وجود داشت، به این معناست که همین بسته را قبلاً پخش کرده‌است و برای رهایی از حلقه‌های بی‌نهایت این بسته را حذف می‌کند. اما اگر نام وی در مسیر موجود در

۱. هنگام نیاز به مسیر تا مقصدی خاص، بسته درخواست مسیر را برای همه پخش کن.
۲. منتظر بازگشت بسته‌های پاسخ مسیر از جانب مقصد بمان.
۳. در صورت بازگشت اولین بسته پاسخ مسیر از جانب مقصد، ارسال اطلاعات را به سمت مقصد از طریق مسیر دریافتی آغاز کن.
۴. با دریافت بسته‌های پاسخ مسیر بعدی، طبق قرارداد مورد نظر در زمینه متعادل کردن بار، ارسال اطلاعات به سمت مقصد را به طور همروند، از طریق این مسیرهای جدید نیز آغاز کن.

شکل (۲): شبه‌کد عملکرد گره مبدا.

۱. منتظر بسته‌های درخواست مسیر بمان.
۲. پس از دریافت بسته‌های درخواست مسیر، بر اساس الگوریتم مسیریابی خود، مسیرهای مجزای گره‌ای را از بین آنها انتخاب کن.
۳. مسیرهای انتخاب شده در مرحله ۲ را بر اساس فیلد *ActiveNeighborCount* و به صورت صعودی، مرتب کن.
۴. بر اساس قرارداد با مبدا، از ابتدای لیست، چند مسیر را انتخاب کن.
۵. بسته پاسخ مسیر را برای مسیرهای انتخاب شده در مرحله ۴ به سمت مبدا ارسال کن.

شکل (۳): شبه‌کد عملکرد گره مقصد.

ارسال کند. به عنوان مثال اگر مبدأ دو مسیر S-A-D و S-B-D را انتخاب کند، به خاطر تبادل RTS و CTS بین گره‌های A و B، می‌توان گفت در آن واحد فقط یکی از این دو گره فعال می‌باشد و در این صورت با اینکه ما از دو مسیر داده ارسال می‌کنیم، اما در واقع به کارایی و تاخیری در حد ارسال اطلاعات از یک مسیر خواهیم رسید. حال فرض کنید از الگوریتم پیشنهادی استفاده شود. در گام اول، مبدأ RREQ را برای همسایه‌های خود یعنی گره‌های A، B و C ارسال می‌کند. اما این گره‌ها قبل از ارسال این بسته برای همسایه‌های خود، باید ابتدا از همسایه‌های خود در مورد این RREQ پرس و جو کنند. بعد از انجام پرس‌وجو، گره‌های A و C متوجه می‌شوند فقط یکی از همسایه‌های آنها این RREQ را قبلاً دیده است، در نتیجه هر یک از گره‌های C و A یک واحد به فیلد *ActiveNeighborCount* اضافه می‌کنند، اما گره B پس از پرس و جو متوجه می‌شود که دو همسایه وی قبلاً این RREQ را دیده‌اند و باید دو واحد به فیلد *ActiveNeighborCount* اضافه کند. سپس این گره‌ها نیز RREQ را برای همسایه‌های خود ارسال می‌کنند.

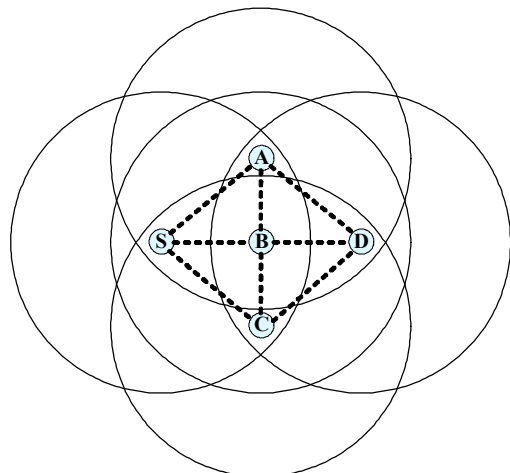
در نهایت مقصد تعدادی RREQ را دریافت می‌کند که متوجه می‌شود از بین آنها، سه مسیر S-A-D، S-B-D و S-C-D مجزای گره‌ای هستند (دقت کنید مقصد ممکن است RREQ‌هایی از مسیرهای دیگر مانند مسیر S-A-B-D یا S-B-C-D نیز دریافت کند). در نهایت مقصد با بررسی فیلد *ActiveNeighborCount* در این RREQ‌ها، دو مسیر S-A-D و S-C-D را به عنوان بهترین گزینه‌ها انتخاب کرده و بسته RREP را از طریق این دو مسیر به سمت مبدأ ارسال می‌کند. با دقت در الگوریتم‌های پیشین که فقط مجزای گره‌ای بودن مسیرها را بررسی می‌کردند، متوجه می‌شویم مشکل آنها از آنجا ناشی می‌شود که در آنها وضعیت همسایه‌های گره‌های موجود در یک مسیر مورد توجه واقع نمی‌شود. اما با این ایده وضعیت همسایه‌ها نیز در انتخاب مسیرها مد نظر قرار می‌گیرد، تا به این ترتیب به تاخیر انتها به انتهای کمتری برسیم.

قابل ذکر است با این ایده فقط کافی است فاز کشف مسیر را در الگوریتم‌های برحسب تقاضا تغییر دهیم و سایر عملکرد الگوریتم‌ها از جمله کشف خرابی و برطرف کردن خرابی تغییری نمی‌کند. به عنوان نمونه ما این ایده را در الگوریتم مسیریابی DSR پیاده‌سازی کرده‌ایم که نتایج به دست آمده در بخش بعدی ارائه شده است. نکته قابل تامل در ایده پیشنهادی این است که در آن سعی می‌شود با استفاده از آنتن‌های همه‌جهته، تا حد امکان مسیرهایی برای ارسال همزمان انتخاب شوند که از هم مستقل باشند و در این راه هزینه‌ای که پرداخت می‌شود، تاخیر و محاسبات لازم برای فاز کشف مسیر است که در بخش نتایج شبیه‌سازی به آن اشاره خواهد شد.

۱. اگر یک بسته درخواست مسیریابی دریافت کردی و این بسته، یک بسته جدید و مورد قبول است، مراحل a تا f را انجام بده، در غیر این صورت از این بسته صرف نظر کن.
  - (a) مشخصات این بسته درخواست مسیر را در جدول RREQ\_Seen درج کن.
  - (b) بسته RREQ\_Query را تهیه و مقدار دهی کن. در این بسته باید به طور ضمنی این پرسش وجود داشته باشد: "آیا چنین بسته درخواست مسیریابی را قبلاً دیده‌اید؟"
  - (c) بسته RREQ\_Query را برای همسایه‌های خود ارسال کن.
  - (d) مدت زمان مشخصی را برای بازگشت پاسخ همسایه‌ها منتظر بمان.
  - (e) فیلد *Active\_Neighbor\_Count* را در بسته درخواست مسیر، به تعداد پاسخ‌های مثبت همسایه‌ها افزایش بده.
  - (f) بسته درخواست مسیر را ارسال کن.
۲. هنگامی که یک بسته RREQ\_Query را دریافت کردی، با توجه به جدول RREQ\_Seen، اگر این بسته درخواست مسیر را قبلاً دریافت و ارسال کرده‌ای، یک پاسخ مثبت برای پرسش کننده ارسال کن.

شکل (۴): شبه‌کد عملکرد گره‌های میانی.

برای روشن‌تر شدن راهکار الگوریتم پیشنهادی، شبکه فرضی شکل ۵ را در نظر بگیرد.



شکل (۵): مسیرهای مجزای ناحیه‌ای.

فرض کنید در شکل شماره ۵ گره S قصد ارسال داده برای گره D را دارد. با دقت در شکل متوجه می‌شویم بین گره‌های S و D، سه مسیر مجزای گره‌های S-A-D، S-B-D و S-C-D وجود دارد. در این مثال گره S می‌خواهد از طریق دو مسیر و به‌طور همزمان برای D داده



#### ۴- نتایج شبیه سازی

ما برای شبیه سازی از شبیه ساز<sup>11</sup> GloMoSim استفاده کرده ایم [10]. برای این منظور دو الگوریتم مسیریابی را با هم مقایسه کرده ایم که هر دو از الگوریتم مسیریابی DSR استنتاج شده اند. در اولین الگوریتم مبدا سعی دارد با استفاده از مسیرهای مجزای گره‌ای به طور همزمان و از طریق سه مسیر اطلاعات را برای مقصد ارسال کند. در دومین الگوریتم نیز مبدا سعی می کند با استفاده از مسیرهای مجزای ناحیه‌ای به طور همزمان و از طریق سه مسیر اطلاعات را برای مقصد ارسال کند. در هر دو الگوریتم فقط برای شناسایی مسیرهای مجزای گره‌ای از ایده الگوریتم SMR [6] استفاده می کنیم. البته باید دقت کرد در الگوریتم SMR مبدا اطلاعات را فقط از طریق یک مسیر برای مقصد ارسال می کند.

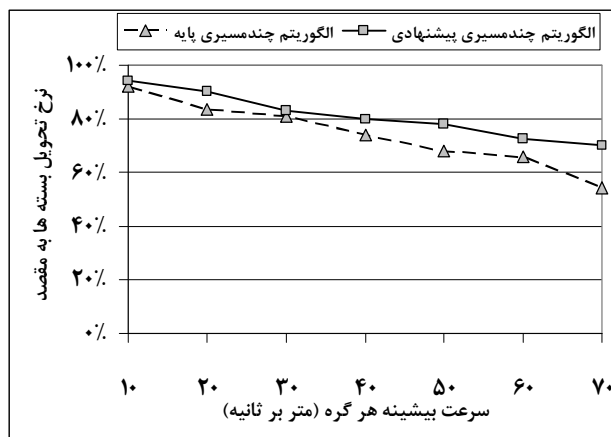
در الگوریتم اول که از این پس ما آن را **الگوریتم چند مسیری پایه** می نامیم، مقصد پس از آن که بسته‌های RREQ را دریافت کرد، از بین آنها سه مسیر را که *Hop-Count* آنها از همه کمتر می باشد، انتخاب می کند و ارسال اطلاعات را به طور همزمان از طریق این سه مسیر به سمت مقصد آغاز می کند. اما در الگوریتم دوم که ما از این پس آن را **الگوریتم چند مسیری پیشنهادی** می نامیم، مقصد بر اساس ایده پیشنهادی از بین RREQ های دریافتی، سه مسیری را انتخاب می کند که *ActiveNeighborCount* آنها از همه کمتر باشد و سپس ارسال اطلاعات را از طریق این سه مسیر به سمت مقصد آغاز می کند.

ما برای شبیه سازی از ۱۰۰ گره با بُرد رادیویی ۲۵۰ متر استفاده کرده ایم که به طور تصادفی در یک محدوده ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متری قرار داده شده اند و به طور تصادفی حرکت می کنند. همچنین ما به طور تصادفی ترافیک‌هایی از نوع CBR و FTP را بر شبکه اعمال کرده ایم. در این شبیه سازی گره‌ها از پروتکل 802.11 در لایه MAC استفاده می کنند و برای ارسال و دریافت اطلاعات، از مدل رادیویی استاندارد RADIO-ACCNOISE استفاده شده است. به علاوه در تمام اجراها مدل Random Waypoint را برای تحرک گره‌های شبکه انتخاب کرده ایم. لازم به ذکر است در این مدل، هر گره به طور تصادفی یک نقطه را به عنوان مقصد انتخاب می کند، سپس با یک سرعت، مابین سرعت کمینه و بیشینه، به سمت مقصد حرکت می کند. پس از اینکه به مقصد رسید، برای مدت زمانی که با عنوان *pause time* مشخص شده است، در همان نقطه می ماند و دوباره همین عمل را تکرار می کند. در تمام شبیه سازی‌ها ما *pause time* را برابر یک ثانیه در نظر گرفته ایم.

زمان هر یک از شبیه سازی‌ها برابر ۳۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است و هر یک از نتایج ثبت شده، میانگین بیست و پنج بار اجرای شبیه سازی می باشد.

#### ۴-۱- نرخ تحویل بسته ها به مقصد

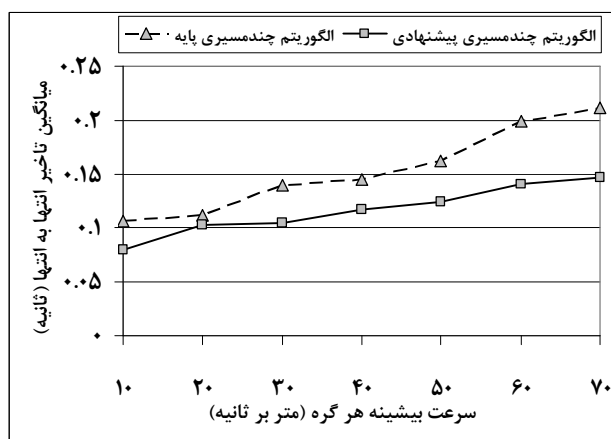
در شکل شماره ۶ با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی، این دو الگوریتم از نظر نرخ تحویل بسته‌ها به مقصد با هم مقایسه شده اند. در هر دو الگوریتم با افزایش سرعت بیشینه گره‌ها، نرخ تحویل بسته‌ها به مقصد کاهش می یابد که این کاهش به خاطر پویایی توپولوژی و افزایش نرخ از بین رفتن اتصال‌ها در شبکه می باشد.



شکل (۶): مقایسه نرخ تحویل بسته ها به مقصد در دو الگوریتم چند مسیری پایه و پیشنهادی

#### ۴-۲- میانگین تاخیر انتها به انتها

در شکل شماره ۷ این دو الگوریتم از نظر میانگین تاخیر انتها به انتها با هم مقایسه شده اند. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش سرعت بیشینه گره‌ها، میانگین تاخیر انتها به انتها برای بسته‌ها افزایش می یابد.



شکل (۷): مقایسه میانگین تاخیر انتها به انتها در دو الگوریتم چند مسیری پایه و پیشنهادی

با دقت در شکل ۷، مشاهده می شود الگوریتم چند مسیری پیشنهادی به تاخیر انتها به انتها کمی نسبت به الگوریتم چند مسیری پایه می رسد. همانطور که تشریح شد، فاز کشف مسیر در الگوریتم چند مسیری پیشنهادی با تاخیر بیشتری اجرا می شود، اما در

- Communication (ICC), pp. 3201-3205, Helsinki, Finland, 2001.
- [7] S. Roy, D. Saha, S. Bandyopadhyay, Tetsuro Ueda, S. Tanaka, "Improving End-to-End Delay through Load Balancing with Multipath Routing in Ad Hoc Wireless Networks using Directional Antenna," in proceedings of IWDC 2003: 5<sup>th</sup> International Workshop, LNCS, pp. 225-234, 2003.
- [8] S. Bandyopadhyay, S. Roy, T. Ueda, k. hasuike, "Multipath Routing in Ad hoc Wireless Networks with Directional Antenna," Personal Wireless Communication, vol. 234, pp. 45-52, 2002.
- [9] L. Wang, Y. Shu, M. Dong, L. Zhang, O. W.W. Yang, "Adaptive Multipath Source Routing in Ad hoc Networks," in proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 867-871, Helsinki, Finland, 2001.
- [10] L. Bajaj, M. takai, R. Ahuja, R. Bagrodia, M. Gerla, "GLOmosim: a Scalable Network Simulation Environment," Technical Report 990027, Computer Science Department, UCLA, 1999.

### زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Dynamic Source Routing.
- <sup>2</sup> Ah hoc On-demand Distance Vector.
- <sup>3</sup> On-Demand.
- <sup>4</sup> Exposed Terminal Problem.
- <sup>5</sup> Hidden Terminal Problem.
- <sup>6</sup> Carrie Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
- <sup>7</sup> Request To Send.
- <sup>8</sup> Clear To Send.
- <sup>9</sup> Split Multipath Routing.
- <sup>10</sup> Ad hoc on demand Multipath Distance Vector.
- <sup>11</sup> GLObal MOBILE SIMulation.

عوض این الگوریتم حین ارسال داده این تاخیر را جبران می‌کند که در نهایت میانگین تاخیر انتها به انتها برای الگوریتم چندمسیری پیشنهادی کمتر از الگوریتم چندمسیری پایه است.

### ۵- نتیجه

برخی الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیری در شبکه‌های موردی برای کاهش تاخیر انتها به انتها، در مبدا داده را تقسیم‌بندی کرده و قسمت‌های مختلف را به‌طور همزمان از طریق چندین مسیر به سمت مقصد ارسال می‌کنند. در این راه استفاده از مسیرهای مجزای گره‌ای گزینه مطلوبی به حساب می‌آید، اما حتی ارسال اطلاعات از طریق مسیرهای مجزای گره‌ای نیز مستقل از یکدیگر نیستند و به خاطر مسائل ذاتی موجود در شبکه‌های موردی و پروتکل CSMA/CA، ارسال اطلاعات از یک مسیر بر روی مسیر دیگر تأثیر می‌گذارد. برای بهبود کارایی و کاهش تاخیر در این گونه الگوریتم‌ها، می‌توان از آنتن‌های جهتدار استفاده کرد که مشکلات خاص خود را در بردارد و در گره‌هایی که این آنتن‌ها را در اختیار ندارند، نمی‌توان از این الگوریتم‌ها استفاده کرد. در این مقاله ما یک ایده برای مسیریابی چند مسیری در ردهٔ برحسب تقاضا پیشنهاد دادیم که در آن با استفاده از آنتن‌های معمولی و همه‌جهته، تا حدود بسیار زیادی می‌توان مسیرهای مجزای ناحیه‌ای بین دو گره را تشخیص داد و برای ارسال همروند اطلاعات، از این مسیرها استفاده کرد. در نهایت جهت ارزیابی ایده پیشنهادی خود، آن را در گونه‌ای از الگوریتم چندمسیری بر پایه DSR پیاده‌سازی کرده‌ایم و به نتایج قابل قبولی در زمینه کاهش تاخیر انتها به انتها و افزایش نرخ تحویل بسته‌ها به مقصد رسیده‌ایم.

### سپاسگزاری

این پروژه تحت حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده‌است.

### مراجع

- [1] E. Royer, C. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communication Magazine, pp. 46-55, 1999.
- [2] S. Sesay, Z. Yang, J. He. "A Survey on Mobile Ad Hoc Wireless Network," Information Technology Journal, vol. 2, pp. 168-175, 2004.
- [3] M. k. marina, s. r. das, "On Demand Multipath Distance Vector Routing in Ad hoc Networks," in proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), pp. 14-23, California, USA, 2001.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz. "Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, vol.353, pp. 153-81, 1996.
- [5] P. Sambasivam, A. Murthy, E. M. Belding-Royer, "Dynamically Adaptive Multiparh Routing based on AODV," IEEE Communications Magazine, vol. 1, pp. 205-217, August 2002.
- [6] S. j. lee, M. gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks," in proceedings of IEEE International Conference on