مطالعات علوم کاربردی در مهندسی
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳
صفحات ۲۰۶-۱۹۲

Online ISSN: ۲۴۷۶-۴۵۰۷
Print ISSN: ۲۵۳۸-۲۰۵۵
www.irijournals.com

ارائه پروتکلی جهت تشخیص مسیر بهینه در شبکه‌های Ad hoc با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

مرضیه سقندل اصل
کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات - مخابرات امن دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

چکیده

امروزه شبکه‌های کامپیوتری به‌عنوان یکی از پایه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، در تمامی زمینه‌ها مانند تجارت، زندگی روزمره، سیاست، اقتصاد و غیره به‌طور گسترده مورداستفاده واقع می‌شوند. همان‌طور که می‌دانیم یکی از اهداف ایجاد شبکه، تسهیل ارتباطات هست. یکی از شبکه‌هایی که در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه قرارگرفته است، شبکه‌های Ad-hoc می‌باشد. شبکه Ad hoc یک شبکه بدون زیرساخت بوده که در آن هیچ نقطه دسترسی ((AP[1] یا ایستگاه کاری ((BS[2] وجود ندارد. این نوع شبکه‌ها، به دلیل برخی ویژگی‌های خاص مانند عدم وابستگی به زیرساخت‌های ارتباطی و استقلال نودها (گره‌ها) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. به دلیل پویا بودن، متحرک و مستقل بودن گره‌های موجود در آن، این نوع شبکه‌ها دارای محدودیت‌ها و چالش‌های بسیاری می‌باشند. یکی از این چالش‌ها بحث مسیریابی در این نوع شبکه‌ها می‌باشد. تمام تلاش دانشمندان در این است که در این نوع شبکه‌ها از روش‌هایی جهت مسیریابی استفاده کنند که شکسته شدن لینک‌ها و به دنبال آن هزینه ارسال داده‌ها را به حداقل برسانند چون ممکن است در بعضی از کاربردها مانند کاربرهای نظامی و مالتی مدیا، شکسته شدن لینک‌ها غیرقابل‌تحمل بوده یا هزینه هنگفتی را به دنبال داشته باشد به‌این‌علت تلاش‌های زیادی برای طراحی پروتکل‌هایی باقابلیت اطمینان بالا انجام‌شده است. در این مقاله با استفاده نمودن از الگوریتم رقابت استعماری که جزء الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد، اقدام به ارائه روشی مطمئن جهت کشف مسیر بهینه در شبکه‌های Ad hoc نموده‌ایم.

کلمات کلیدی: شبکه‌های Ad hoc، مسیریابی، الگوریتم رقابت استعماری

[1] Access Point
[2] Base Station

مقدمه

شبکه‌های بی‌سیم ادهاک شامل مجموعه‌ای از گره‌های توزیع‌شده هستند که به‌صورت بی‌سیم با همدیگر در ارتباط می‌باشند. در این نوع شبکه‌ها، نودها می‌توانند کامپیوتر میزبان و یا مسیریاب باشند که به‌طور مستقیم و بدون هیچ‌گونه نقطه دسترسی با همدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. امروزه کاربرد انواع شبکه‌های کامپیوتری و مخابراتی نقش بسیار اساسی را در زندگی ما ایفا می‌کنند. همان‌طور که می‌دانیم یکی از اهداف ایجاد شبکه، تسهیل ارتباطات می‌باشد. ازاین‌رو یکی از شبکه‌هایی که در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه قرارگرفته است، شبکه‌های Ad-hoc می‌باشد. شبکه Ad hoc یک شبکه بدون زیرساخت بوده که در آن هیچ نقطه دسترسی ((AP[3] یا ایستگاه کاری ((BS[4] وجود ندارد؛ بنابراین گره‌ها خودمختار بوده و می‌توانند نقش مسیریاب یا میزبان را ایفا نمایند. این شبکه‌ها برای محیط‌هایی که امکان ایجاد زیرساخت‌های ارتباطی مشکل و یا هزینه‌بر باشد، مناسب می‌باشند.

ادبیات نظری

تعریف شبکه

به‌طور ساده می‌توان گفت که یک شبکه عبارت است از دو کامپیوتر که به‌وسیله یک خط انتقال به همدیگر متصل شده‌اند. اتصال کامپیوترها باید به‌گونه‌ای باشد که بتوانند از داده‌های همدیگر به‌طور مشترک (share) استفاده نمایند. همین شبکه ساده شروع تمام شبکه‌ها صرف‌نظر از بزرگی و پیچیدگی آن‌ها می‌باشد. به‌طورکلی شبکه‌های کامپیوتری مجموعه‌ای از کامپیوترهای مستقل متصل به یکدیگرند که با یکدیگر ارتباط داشته و تبادل داده می‌کنند. متصل بودن کامپیوترها یعنی از طریق یک رسانه فیزیکی مانند کابل، فیبر نوری، ماهواره‌ها و ... انجام می‌گیرد.

شبکه‌های MANET

یک MANET مجموعه مستقلی از کاربران متحرک است که از طریق پیوندهای بی‌سیم با پهنای باند محدود و بدون ساختار از پیش تعیین‌شده و نظارت مرکزی می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. این سیستم، هم می‌تواند به‌صورت مستقل عمل کند و هم واسطی به شبکه ثابت داشته باشد. ازآنجایی‌که گره‌ها متحرک هستند، توپولوژی شبکه به‌سرعت تغییر کرده و شبکه حالت غیرمتمرکز دارد یعنی کلیه عملیات مکان‌یابی و تحویل پیام‌ها، به‌عبارت‌دیگر مسیریابی باید توسط خود گره‌ها انجام شود.)۱۲)

مسیریابی

در شبکه‌های موردی سیار، متحرک بودن گره‌ها ممکن است باعث تغییر مسیر بین دو گره شود. همین امر است که باعث تمایز بین‌بین شبکه‌ها با سایر شبکه‌ها شده است. باوجوداین مشکلات به دلیل کاربردهای فراوان شبکه موردی سیار، نیاز به یک سری پروتکل‌های مسیریابی سازگار با این شرایط می‌باشد. مسیریابی در شبکه‌های موردی سیار به عهده خود گره‌ها می‌باشد. به این معنا که از هیچ زیرساخت کمکی مانند مسیریاب و سوئیچ استفاده نمی‌شود.)۱۵)

رویکردهای مبتنی بر مکانیسم‌های ایجاد مسیر، نگهداری و به‌روزرسانی

این پروتکل‌ها روش‌هایی هستند که در آن‌ها مسیر ایجاد می‌شود، به‌روزرسانی می‌شود و نگهداری می‌شود و اطلاعات مسیر به هر گره داده می‌شود و اطلاعات بین گره‌ها ردوبدل می‌شود. با توجه به این ویژگی‌ها، پروتکل‌های مسیریابی را می‌توان به‌صورت گسترده به سه قسمت تقسیم کرد.

[3] Access Point
[4] Base Station

روش‌های مسیریابی کنشی یا مبتنی بر جدول[5]

در پروتکل‌های مسیریابی فعال یا بلادرنگ یا مبتنی بر جدول، هر گره به‌طور مداوم برای شناسایی مقاصد، اطلاعات به‌روزرسانی شده را نگهداری می‌کند. این نوع از پروتکل‌ها اطلاعات مسیر را در یک یا چند جدول نگهداری می‌کند و مسیر را که به‌صورت دوره‌ای در طول شبکه به علت تغییر توپولوژی عوض می‌شوند را نگه می‌دارد. این نوع از پروتکل‌ها اطلاعات مسیر را در یک یا چند جدول نگهداری می‌کند و مسیر را در جداول مسیریابی ((RTs[6] به‌طور دوره‌ای در طول کل شبکه تا زمانی که توپولوژی تغییر می‌کند، نگهداری می‌کند؛ یعنی زمانی که توپولوژی شبکه تغییر یافت، اطلاعات جداول مسیریابی تغییر می‌کند. هر گره اطلاعات تمام‌مسیرها را نگه می‌دارد، بدون در نظر گرفتن این‌که این مسیرها موردنیاز است یا خیر؛ بنابراین سربار کنترل در این پروتکل‌ها به‌طور قابل‌توجهی زیاد است. به‌ویژه در شبکه‌های بزرگ یا شبکه‌هایی که در آن گره‌ها تحرک بسیار دارند.

بااین‌حال مزیت اصلی این پروتکل‌ها این است که مسیرها به‌آسانی هر زمان که موردنیاز باشند در دسترس خواهند بود و تأخیر انتها به انتها[7] در طی انتقال داده‌ها کاهش می‌یابد. این روش در مقایسه با روشی که در آن مسیر به‌طور واکنشی[8] که در زمان تقاضا ایجاد می‌شود و منجر به تأخیر برای کشف یک مسیر به مقصد می‌شود بهتر است.)۱۶)

- **روش‌های مسیریابی کنشی (مبتنی بر تقاضا)[9]**

در روش‌های مسیریابی واکنشی، مسیرها زمانی کشف می‌شوند که واقعاً موردنیاز باشند. این پروتکل‌ها شامل فرآیند کشف مسیر و نگهداری مسیر می‌باشند. فرآیند کشف مسیر زمانی آغاز می‌شود که یک گره می‌خواهد دیتا را به مقصد خاصی بفرستد. کشف مسیر معمولاً به‌وسیله روش سیل‌آسا[10] درخواست مسیر ((RREQ[11] در شبکه رخ می‌دهد؛ یعنی زمانی که بسته درخواست مسیر در شبکه پخش شد، آن موقع فرآیند کشف مسیر شروع می‌شود. زمانی که یک گره مقصد یا یک گره حاوی یک مسیر منتهی به مقصد یافت شود، آن زمان یک (R.R[12]) یا پاسخ مسیر به گره مبدأ به‌وسیله اطلاعات مسیر گره‌های میانی فرستاده می‌شود. هنگامی‌که پاسخ مسیر به مبدأ رسید، مبدأ می‌تواند داده‌ها را به مقصد بفرستد.)۱۶)

مرحله نگهداری مسیر، مسیرهای ناقص و شکست‌خورده را حذف می‌کند و دوباره فاز کشف مسیر را به خاطر تغییر توپولوژی انجام می‌دهد. مزیت این روش این است که سربار کلی به‌احتمال‌زیاد در مقایسه با روش‌های کنشی کاهش می‌یابد. بااین‌حال تعداد جلسات افزایش می‌یابد و سربار تولیدشده به‌وسیله فاز کشف مسیر ممکن است از سربار پروتکل‌های کنشی تجاوز نکند.

- **روش‌های ترکیبی[13]**

روش‌های مسیریابی ترکیبی، متشکل از مزایای هر دو روش کنشی و واکنشی است. این پروتکل‌ها اغلب شبکه را به ناحیه‌هایی تقسیم می‌کنند؛ مانند این‌که هر گره شبکه‌ای را می‌بیند که در شماره آن ناحیه است. این پروتکل‌ها روش مسیریابی بردار فاصله را برای پیدا کردن کوتاه‌ترین به کار می‌گیرند و اطلاعات مسیریابی را تنها وقتی تغییری در توپولوژی شبکه وجود دارد را گزارش می‌دهند.)۱۶)

[5] proactive(table- driven) routing
[6] routing tables
[7] end to end delay
[8] reactive
[9] reactive(on-demand) routing
[10] flooding
[11] Route REQuest
[12] Route Reply
[13] hybrid routing

پروتکل‌های مسیریابی

مجموعه‌ای از قوانین که ناظر و حاکم بر بسته‌های پیام که از سمت مبدأ به سمت مقصد ارسال می‌گردد را تعریف می‌کنند. در یک توپولوژی که به‌سرعت در حال تغییر است، مسیریابی از حداقل منابع برای پیدا کردن و حفظ مسیر بین نودها استفاده می‌کند. هرگاه یک بسته از طریق تعدادی گره نیازمند انتقال به یک مقصد می‌باشد، یک پروتکل مسیریابی موردنیاز است. پروتکل مسیریابی، بسته را درصورتی‌که مسیر صحیح باشد به مقصد موردنظر تحویل می‌دهد. برای یک مسیریابی مناسب و کارآمد، پروتکل مسیریابی باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد(۱۵):

- پروتکل‌های مسیریابی باید قدرتمند باشند.
- کیفیت سرویس در پروتکل‌های مسیریابی باید در نظر گرفته شود.
- پروتکل‌های مسیریابی ازنظر حملات امنیتی آسیب‌پذیری کمتری داشته باشند.
- مفهوم به هنگام سازی زمان باید در پروتکل‌های مسیریابی وجود داشته باشد.

در Manet پروتکل‌های مختلفی برای مسیریابی وجود دارد که هرکدام با توجه به شرایط در شبکه اعمال می‌گردند.

مقایسه بین پروتکل‌ها

مزایا و معایب سه گروه از پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های Ad hoc در جدول ۱ نشان داده‌شده است. (۱۶)

جدول ۱- مزایا و معایب سه گروه از پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های Ad hoc

پروتکل	مزایا	معایب
Proactive	اطلاعات همیشه در دسترس است. تأخیر در شبکه را کاهش می‌دهد.	سربار بالا. اطلاعات مسیریابی در شبکه flood می‌گردد.
Reactive	مسیر قابل‌دسترس زمانی که سربار کم و حلقه‌های آزاد	افزایش تأخیر در شبکه
Hybrid	مناسب برای شبکه‌های بزرگ و بروز کردن اطلاعات در دسترس	افزایش پیچیدگی

مسیریابی اولیه

همان‌طور که می‌دانیم مسیریابی در شبکه‌های ادهاک به دلیل پویایی محیط باید خاصیت پویایی داشته باشد؛ یعنی با تغییر توپولوژی شبکه و تغییر موقعیت گره‌ها، الگوریتم مسیریابی نیز دوباره اجراشده و نتایج جدیدی برای فضای جدید نمایش دهد. به این دلیل برای الگوریتم پیشنهادی دو فاز پیشنهاد می‌شود. فاز اول مسیریابی اولیه می‌باشد. این مسیریابی مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری که یک الگوریتم تکاملی می‌باشد بوده و در طی چندین نسل، بهینه‌ترین جواب را به دست می‌آورد.

مفاهیم و تعاریف اولیه

برای حل یک مسئله بهینه‌سازی، باید تعریف دقیقی از خود مسئله و متغیرها و اهداف بهینه‌سازی به عمل آید. بهینه‌سازی، تغییر دادن ورودی‌ها و خصوصیات یک دستگاه، فرآیند ریاضی و یا آزمایش تجربی است، به‌نحوی‌که بهترین خروجی یا نتیجه به دست بیاید. ورودی‌ها، متغیرهای فرآیند یا تابع موردبررسی هستند که بانام‌های تابع هدف ((Objective Function، تابع هزینه (Cost Function) و یا تابع برازندگی ((Fitness Functionنامیده می‌شود. خروجی نیز به‌صورت هزینه، سود و یا برازندگی تعریف می‌شود. در بهینه‌سازی، ورودی‌ها یا متغیرها به نحوی تغییر داده می‌شوند که خروجی مطلوب به دست بیاید. مهم‌ترین قدم در حل یک مسئله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و هر روش دیگری، تعریف متغیرهای بهینه‌سازی و در کنار آن اهداف بهینه‌سازی می‌باشد. مسئله ما در اینجا مسئله مسیریابی در شبکه‌های Ad hoc می‌باشد و باید متغیرها و تابع هدف مسئله مشخص شود تا از روی آن جواب‌های تصادفی اولیه تولید شوند.

متغیرهای مسئله

الف پارامترهای مربوط به رقابت استعماری

n_{pop} تعداد اعضای جمعیت اولیه

n_{Emp} تعداد امپراطوری‌های اولیه

$p_{Revolution}$ احتمال انجام عملگر انقلاب برای جواب‌ها

mu=0.3 نرخ انقلاب برای هر جواب یعنی شدت تأثیر انقلاب برای جواب

zeta=0.2 ضریب تأثیر میانگین قدرت اعضا بر قدرت امپراطوری

ب پارامترهای مربوط به مسئله مسیریابی

N تعداد گره‌های موجود در شبکه ادهاک

S فضای تعریف‌شده برای شبکه ادهاک که باید برای هر بعد x و y یک مقدار برحسب متر تعریف شود.

Direction جهت حرکت گره‌ها می‌باشد و چون گره‌ها به‌صورت تصادفی در تمام جهت‌ها حرکت می‌کنند باید برای جهت حرکت زاویه ۳۶۰ درجه تعریف شود.

Simulation time مدت‌زمان اجرای برنامه، یعنی حرکت گره‌ها و اجرای الگوریتم تعریف‌شده تا چه مدت ادامه داشته باشد، این مقدار برحسب ثانیه می‌باشد.

V سرعت گره‌ها می‌باشد که به‌طور تصادفی تعریف‌شده است. چون در محیط واقعی هر یک از گره‌ها با یک سرعتی حرکت می‌نمایند و الزامی به یکسان بودن مقدار سرعت نمی‌باشد. در این الگوریتم مقدار سرعت را با V نمایش می‌دهیم.

Pause time مدت‌زمان توقف هر گره می‌باشد. برای شبیه‌سازی واقعی محیط هر گره باید پس از مدتی حرکت ایستاده و دوباره شروع به حرکت نماید.

B: هر گره برای انتقال داده‌ها و ارتباط اطلاعات با دستگاه‌های دیگر نیاز به انرژی دارد. این انرژی از طریق باتری حاصل می‌شود. هر وسیله در شبکه موردی سیار مانند موبایل یا لپ‌تاپ یا ... دارای مقداری باتری می‌باشد. برای شبیه‌سازی واقعی میزان باتری گره‌ها در فضا، در اینجا یک مقدار تصادفی بین ۱ تا ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود و باگذشت زمان به‌مرور از قدر باتری کاسته می‌شود. بدیهی است در طی طول عمر شبکه گره‌هایی با باتری صفر درصد باید از شبکه خارج شوند. در این الگوریتم مقدار باتری را با B نمایش می‌دهیم.

R: برد مغناطیسی یا قدرت انتقال گره‌ها می‌باشد که هر گره قادر به برقراری ارتباط و انتقال داده با سایر گره‌ها در این محدوده می‌باشد. برد گره‌ها نیز برحسب نوع دستگاه به‌کاررفته در شبکه می‌تواند متفاوت باشد. در اینجا نیز ما برای این پارامتر یک مقدار تصادفی تعریف کرده‌ایم. در این الگوریتم مقدار برد را با R نمایش می‌دهیم.

Degree: درجه گره همان تعداد همسایگان یک گره می‌باشد که در مجاورت آن گره و دربرد رادیویی آن قرار دارند و این گره می‌تواند با آن همسایگان تبادل اطلاعات نماید. برای مشخص کردن تعداد همسایگان از فرمول d<r استفاده می‌کنیم؛ یعنی آن تعداد گره‌هایی که فاصله‌شان از گره ذکرشده کمتر از شعاع آن گره باشد جزو همسایگان آن محسوب می‌شود. در این الگوریتم مقدار درجه را با d نمایش می‌دهیم.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 \quad + \quad (y_2 - y_1)^2} \quad (۱)$$

در فرمول بالا، x و y نشان‌دهنده موقعیت مکانی گره می‌باشد.

توابع ارزیابی

در این بخش توابع ارزیابی گره‌ها، خوشه‌ها و امپراطوری‌ها توضیح داده خواهد شد.

- تابع ارزیابی گره‌ها:

تمامی گره‌ها در فضا دارای چهار مشخصه می‌باشند. برای ارزیابی گره‌ها باید تابعی تعریف شود که شامل هر چهار مشخصه باشد. تابع ارزیابی برای این گره‌ها یک تابع چند پارامتری می‌باشد. این تابع یک تابع ترکیبی از مقادیر B (باتری)،R (برد مغناطیسی)، D(درجه یا تعداد همسایگان)، V (سرعت) می‌باشد. این تابع با ability نمایش داده می‌شود. گرهی دارای

ability بالا می‌باشد که دارای میزان سرعت کم، شعاع بیشتر، درجه بیشتر و باتری بیشتر باشد. از بین گره‌های موجود گره‌های با ability بالا مستعد انتخاب شدن به‌عنوان سرخوشه می‌باشند.

$$Ability= w_1*B+w_2*R+w_3*D+w_4*V \quad (۲)$$

که در فرمول بالا بایستی $w_1+w_2+w_3+w_4=1$ باشد.

w_1 تا w_4 ضریب‌های وزنی می‌باشند که هر یک از مشخصه‌ها با مقدار ضریب تأثیر تعیین‌شده، روی فرمول ability تأثیر می‌گذارند.

- تابع ارزیابی مسیریابی:

از روی مقدار ability تابع cost function تعریف می‌شود. تابع cost function تابع ارزیابی عمل مسیریابی می‌باشد که از بین جواب‌های اولیه تولیدشده یا مسیریابی‌های صورت گرفته مسیریابی بهینه را به‌عنوان جواب در نظر می‌گیرد. به این صورت که گره‌هایی در مسیر انتخاب می‌شوند که دارای ability بیشتری باشند در ثانی گره‌های انتخاب‌شده فضا را به‌صورت صد در صد پوشش دهند؛ یعنی هیچ گرهی در فضا بلاتکلیف نباشد. این دو مشخصه cost function مسیریابی را مشخص می‌کند. بدیهی است گره‌هایی که دارای ability بیشتر باشند ولی فضا را به‌صورت کامل پوشش ندهند ارزش جواب بودن برای مسئله ما را ندارند.

$$Routing\ cost\ function= w_1*average\ of\ ability\ of\ routing+w_2*coverage \quad (۳)$$

در فرمول بالا نیز بایستی مجموع w_1 و w_2 برابر یک باشد. ($w_1+w_2=1$)

در الگوریتم رقابت استعماری در بین جواب‌های اولیه تولیدشده جواب‌هایی می‌تواند در مسیریابی شرکت کنند که دارای مقدار بیشتر برای دو مشخصه ذکرشده در بالا باشند، یعنی درنهایت cost function بیشتری داشته باشند.w_1 و w_2 به ترتیب ضریب تأثیر میانگین توانایی گره‌ها و ضریب تأثیر میزان پوشش می‌باشد. در این راه‌کار به دلیل اهمیت بیشتر میزان پوشش w_1 برابر ۰٫۴ و w_2 برابر ۰٫۶ تعریف‌شده است.

برای یافتن میزان coverage در هر نمونه جواب، شناسه گره‌ها را در نظر می‌گیریم. ابتدا همسایه‌های هر گره را به دست می‌آوریم، سپس برای گره‌هایی که همسایه دو یا چند گره دیگر هستند فقط یکی را در نظر می‌گیریم. تعداد به‌دست‌آمده تعداد گره‌های پوشش داده‌شده را نشان می‌دهد. تعداد گره‌های پوشش داده نشده برابر کل گره‌ها منهای گره‌های پوشش داده‌شده می‌باشد. برای یافتن درصد پوشش و یا همان درصد coverage از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$\text{Coverage} = \frac{\text{number of coveraged nodes}}{\text{number of all nodes}} \quad (۴)$$

- تابع ارزیابی امپراطوری:

در طی چرخه الگوریتم رقابت استعماری برخی از امپراطوری‌های ضعیف حذف می‌شوند. برای تشخیص امپراطوری‌های ضعیف باید یک تابع ارزیابی تعریف شود. این تابع بانام total cost function می‌باشد. این تابع مشخص‌کننده قدرت امپریالیست به‌علاوه ضریبی از میانگین توانایی مستعمره‌ها می‌باشد. این ضریب با zeta نمایش داده می‌شود.

$$Total\ cost= cost\ of\ imperialist + zeta * average\ cost\ of\ colonies \quad (۵)$$

طبق تابع ارزیابی تعریف‌شده امپراطوری‌های ضعیف مستعمره‌های خود را ازدست‌داده و به‌مرور حذف می‌شوند.

الگوریتم رقابت استعماری

پس از تعریف متغیرها و توابع ارزیابی مسئله خودمان به بخش تعریف تابع تکاملی می‌رسیم. اولین مرحله در تعریف تمامی توابع تکاملی ایجاد فضای جستجو یا تعریف مجموعه جواب برای مسئله می‌باشد.

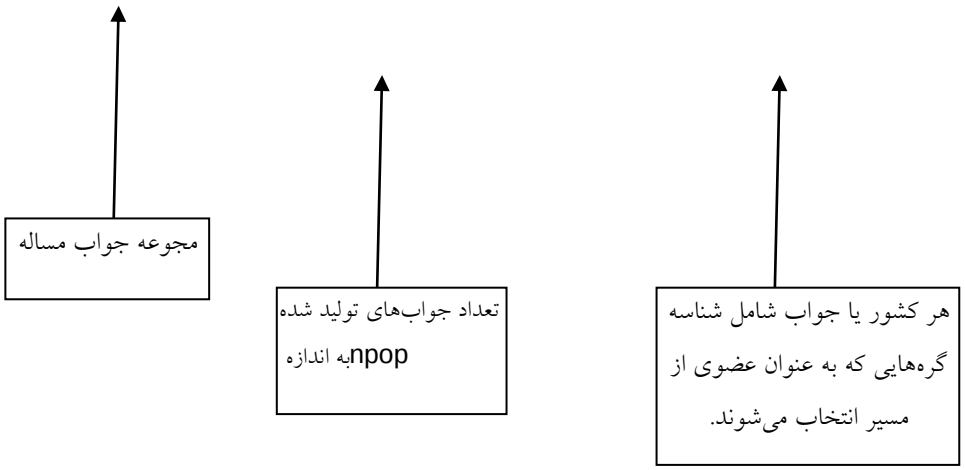
کدگذاری

هر گره در شبکه دارای یک شناسه می‌باشد. نحوه کدگذاری به‌صورت integer می‌باشد. در این کدگذاری هر سلول نشانگر یک شناسه گره در شبکه می‌باشد. هر کشور (country) معادل شماره مسیرهایی است که می‌تواند یکی از جواب‌های مسئله ما باشد.

تولید جمعیت اولیه

جمعیت اولیه به تعداد n_{pop} و به‌طور تصادفی تولید می‌شود. جمعیت اولیه به معنای مجموعه جواب مسئله می‌باشد که همان تعداد حالات ممکن برای مسئله می‌باشد و هر یک از این جواب‌ها کشور نام دارد؛ یعنی با تولید جمعیت اولیه، به تعداد n_{pop} تا حالت مسیریابی برای مسئله ایجاد کرده‌ایم. اعضای جمعیت دارای طول متغیر هستند. به‌عنوان‌مثال یک کشور می‌تواند سه عضوی یا حتی n_{pop} عضوی باشد و این به این معناست که فضای مسئله با این تعداد گره پوشش داده می‌شود.

$$\text{country} = \begin{bmatrix} \text{country}_1 \\ \text{country}_2 \\ \text{country}_3 \\ . \\ . \\ \text{country}_{\text{npop}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & . & \text{ID}_\text{i} \\ \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & . & \text{ID}_\text{i} \\ \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \cdot & \text{ID}_\text{i} \\ . & . & . & . & . \\ \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \text{ID}_\text{i} & \cdot & \text{ID}_\text{i} \end{bmatrix} \qquad 1 < \text{i} < \text{nNodes}$$



شکل ۱ نحوه تولید جمعیت اولیه درراه کار پیشنهادی

بعد از تولید مجموعه جواب اولیه مقدار تابع ability برای هر گره محاسبه می‌شود. بعد از اتمام تابع ارزیابی ability که یک تابع برای ارزیابی گره‌های خوب می‌باشد نوبت به تابع ارزیابی cost function می‌رسد. برای هر جواب یا کشور تابع ارزیابی cost function محاسبه می‌شود. بر اساس مقادیر مرتب‌شده cost function مشخص می‌شود که کدام جواب یا کشور مستعد امپریالیست می‌باشد.

$$\text{country} = \begin{bmatrix} \text{cost country}_1 \\ \text{cost country}_2 \\ \text{costcountry}_3 \\ . \\ . \\ \text{cost country}_{\text{npop}} \end{bmatrix} \quad \text{sort} \rightarrow \quad \begin{bmatrix} \text{cost country}_\text{i} \\ \text{cost country}_\text{i} \\ \text{cost country}_\text{i} \\ . \\ . \\ \text{cost country}_\text{i} \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad 1 < \text{i} < \text{npop}$$

شکل ۲- نحوه یافتن کشورهای مستعد

دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، صفحات ۲۰۶-۱۹۲

تشکیل امپراطوری‌های اولیه

n_{Emp} تعداد امپراطوری‌های اولیه است که خودمان برای مسئله تعریف کرده‌ایم. در بین مقادیر مرتب‌شده به‌طور صعودی که بر اساس cost function صورت گرفته است، n_{Emp} کشور را به‌عنوان امپریالیست انتخاب می‌کنیم. بر اساس قدرت یا همان cost function امپریالیست‌ها رقابت بین انتخاب مستعمره‌ها صورت می‌گیرد. بر اساس قدرت استعمارگرها، مستعمره‌ها بین استعمارگرها تقسیم می‌شوند. با این کار کشور استعمارگر قدرتمند (کشوری با cost function بیشتر) احتمال تصاحب مستعمره‌های بیشتری را خواهد داشت. پس از اتمام تقسیم‌بندی مستعمره‌ها بین استعمارگرها هزینه کل امپراطوری محاسبه می‌شود؛ یعنی تابع total cost function اجرا می‌شود.

$$\text{sorted country cost} = \begin{bmatrix} \text{cost country}_i \\ \text{cost country}_i \\ \text{cost country}_i \\ \vdots \\ \text{cost country}_i \end{bmatrix} \begin{matrix} \left.\begin{matrix} \\ \\ \\ \end{matrix}\right\} & \text{nEmp} & \text{number of imperialist} \\ \left.\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix}\right\} & \text{npop} - \text{nEmp} & \text{number of colonies} \end{matrix}$$

شکل ۳- نحوه تخصیص جواب‌های اولیه به استعمارگر و مستعمره

هر امپراطوری شامل سه بخش کشور استعمارگر، کشورهای مستعمره و هزینه کل امپراطوری می‌باشد.

عملگر جذب

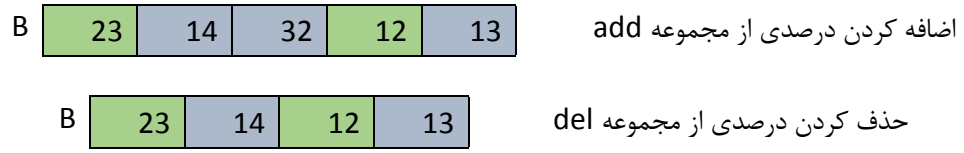
عملگر جذب در الگوریتم رقابت استعماری مشابه عملگر crossover در الگوریتم ژنتیک می‌باشد. هدف از سیاست جذب حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگر می‌باشد. با این حرکت، کشور مستعمره شبیه کشور استعمارگر می‌شود و باعث می‌شود هزینه‌ای شبیه هزینه استعمارگر که یک هزینه بالایی بود پیدا کند. سیاست جذب بر روی تمامی مستعمره‌ها یعنی به تعداد n_{pop} بار اعمال می‌شود.

شکل ۴- یافتن اختلاف عناصر برای عملگر جذب درراه کار پیشنهادی

add= A-B: اگر کشور B مستعمره و کشور A استعمارگر باشد باید B شبیه A شود. پس باید گره‌هایی که در A هست ولی در B نیست به B اضافه شود تا این مستعمره شبیه استعمارگر گردد.

Del= B-A: اگر کشور B مستعمره و کشور A استعمارگر باشد باید B شبیه A شود. پس باید گره‌هایی که در B هست ولی در A نیست حذف شود تا این مستعمره شبیه استعمارگر گردد.

از مجموعه add و del یک سری عناصر به‌صورت تصادفی حذف می‌شود. به دلیل اینکه مستعمره‌ها به‌صورت تدریجی باید به سمت استعمارگر حرکت نمایند، باید در هر مرحله مقداری از مجموعه add به مستعمره‌های ما اضافه و یا مقداری از مجموعه del از مستعمره‌های ما حذف شود. بعد از اضافه کردن ضریبی از مجموعه add و حذف ضریبی از مجموعه del باید عملگر union عناصر تکراری را حذف نماید. هزینه مستعمره‌های جدید محاسبه‌شده و با مستعمره‌های جدید الگوریتم ادامه می‌یابد.



شکل ۵- عملگر جذب درراه کار پیشنهادی

عملگر انقلاب

عملگر انقلاب در الگوریتم رقابت استعماری شبیه عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در الگوریتم رقابت استعماری، انقلاب با جابه‌جایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدل‌سازی می‌شود. انقلاب از دیدگاه الگوریتم باعث می‌شود کلیت حرکت تکاملی از گیرکردن در دره‌های محلی بهینگی نجات یابد که در بعضی موارد باعث بهبود موقعیت یک کشور شده و آن را به یک محدوده بهینگی بهتری می‌برد. برای عملگر انقلاب در الگوریتم رقابت استعماری یک ضریب Prevolution و یک ضریب mu تعریف‌شده است. Prevolution احتمال انجام عملگر انقلاب برای هر یک از مستعمره‌ها می‌باشد؛ یعنی با چه احتمالی هر یک از مستعمره‌ها دستخوش انقلاب شوند. mu ضریبی است که بر اساس این ضریب مقدار تغییرات بر روی هر مستعمره مشخص می‌شود.

رقابت درون امپراطوری (جابه‌جایی موقعیت استعمارگر و مستعمره)

در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند، (به نقاطی در تابع هزینه‌برسند که هزینه بیشتری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت استعمارگر، تولید می‌کنند). در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه یافته و این بار، این کشور امپریالیست جدید است که شروع به اعمال سیاست جذب بر مستعمرات خود می‌کند.

رقابت استعماری

قدرت یک امپراطوری یا total cost function همان‌طور که در بالا ذکر شد، به‌صورت قدرت کشور استعمارگر، به‌اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن تعریف می‌شود. هر امپراطوری که نتواند بر قدرت خود بیفزاید قدرت رقابت خود را از دست می‌دهد و در جریان رقابت‌های استعماری، حذف خواهد شد. این حذف شدن، به‌صورت تدریجی صورت می‌پذیرد. بدین معنی که به‌مرورزمان امپراطوری‌های ضعیف با داشتن هزینه پایین، مستعمراتی که هزینه پایینی دارند را ازدست‌داده و امپراطوری‌های قوی‌تر با داشتن هزینه بالا، این مستعمرات را تصاحب کرده و بر قدرت خویش می‌افزایند. در الگوریتم رقابت استعماری، امپراطوری در حال حذف، ضعیف‌ترین امپراطوری موجود است. بدین ترتیب، در تکرار الگوریتم، یکی یا چند مورد از ضعیف‌ترین مستعمرات ضعیف‌ترین امپراطوری را برداشته و برای تصاحب این مستعمرات، رقابتی را میان کلیه امپراطوری‌ها ایجاد می‌کنیم. مستعمرات مذکور، لزوماً توسط قوی‌ترین امپراطوری، تصاحب نخواهند شد، بلکه امپراطوری‌های قوی‌تر، احتمال تصاحب بیشتری دارند.

Total cost= cost of imperialist + zeta * average cost of colonies (۶)

سقوط امپراطوری‌های ضعیف

پس از تصاحب ضعیف‌ترین مستعمره‌های ضعیف‌ترین امپراطوری‌ها توسط امپراطوری‌های قوی، امپراطوری ضعیف قدرتی نداشته و باید از چرخه الگوریتم رقابت استعماری حذف شود.

دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، صفحات ۲۰۶-۱۹۲

شرط خاتمه الگوریتم رقابت استعماری

شرط خاتمه برای یک الگوریتم تکاملی چند حالت می‌باشد: رسیدن به هدف از پیش تعیین‌شده، رسیدن به تعداد تکرار/ زمان مشخص، ثابت ماندن یا عدم مشاهده بهبود خاص درنتیجه تعداد تکرار/ زمان مشخص. در اینجا الگوریتم مسیریابی توسط رقابت استعماری زمانی خاتمه می‌یابد که به تعداد امپراطوری یک و بالاترین مقدار برازندگی برسیم. بیشترین مقدار برازندگی در این مسئله یعنی بهترین مسیر از بین تمام‌مسیرهای ممکن.

مسیریابی مجدد

فاز دوم الگوریتم، مسیریابی مجدد می‌باشد. مسیریابی یکی از روش‌های مقیاس‌پذیر کردن شبکه‌های موردی می‌باشد. برای شبکه‌های پویا باید از یک روش مسیریابی پویا استفاده کرد. در فاز دوم این راه‌کار بر اساس شرایطی عمل مسیریابی مجدد انجام می‌گیرد. برای تعریف شرایط لازم برای مسیریابی مجدد از مفهوم ماتریس مجاورت استفاده می‌نماییم.

تمامی گره‌ها در شبکه پخش‌شده‌اند برای تعیین توپولوژی شبکه و تعیین همسایگان هر گره از ماتریسی به ابعاد تعداد گره‌ها استفاده می‌کنیم. مقادیر این ماتریس، ۰ به معنای عدم همسایگی و ۱ به معنای وجود همسایگی تعریف می‌شود. هر گره با خود همسایه محسوب شده و مقدار آن در درایه مربوط به خود برابر ۱ خواهد بود. باگذشت زمان و با تغییر توپولوژی شبکه مقدار این ماتریس نیز تغییر خواهد کرد. با ذخیره ماتریس اولیه در یک ماتریس دیگر و با ایجاد ماتریس ثانویه می‌توانیم تغییرات توپولوژی را معین کنیم. با تفاضل ماتریس اولیه و ثانویه، تعداد دایره‌هایی که حاوی یک هستند تعداد تغییرات را مشخص می‌کند.

اهداف تحقیق

اهداف اصلی موردنظر در انجام این پایان‌نامه عبارت‌اند از:

۱- ارائه یک الگوریتم مسیریابی کارا جهت انتخاب مسیر بهینه در شبکه‌های Ad hoc.
۲- افزایش طول عمر مسیرهای ارتباطی.
۳- کاهش سربار عملیاتی در شبکه‌های Ad hoc.

فرضیه‌های تحقیق

در انجام این پایان‌نامه فرضیه‌های زیر در نظر گرفته‌شده‌اند:

۱- می‌توان با استفاده نمودن از الگوریتم رقابت استعماری، به تشخیص مسیر بهینه در شبکه‌های Ad hoc پرداخت.
۲- با استفاده نمودن از مسیرهای بهینه، می‌توان کار آیی شبکه Ad hoc را بهبود بخشید.
۳- افزایش کار آیی شبکه باعث کاهش سربار کلی شبکه می‌شود.

متغیرهای تحقیق

متغیرهای در نظر گرفته‌شده برای انجام این پایان‌نامه عبارت‌اند از:

۱- فاصله نودها از هم. (متغیر مستقل)
۲- تعداد نودها. (متغیر مستقل)
۳- سرعت حرکت نودها. (متغیر وابسته)
۴- تعداد همسایه‌های یک نود. (متغیر وابسته)
۵- انرژی نودها. (متغیر وابسته)

ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

پارامترهای مختلفی برای بررسی کار آیی روش‌های مسیریابی شبکه‌های موردی وجود دارد. در روش‌های مسیریابی، پارامترهایی از قبیل تعداد مسیرها، تعداد تغییرات مسیرها و تعداد اتصالات موردبررسی قرار می‌گیرد.

برای بررسی این معیارها در الگوریتم پیشنهادی از جدول ۲ به‌عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌شود.

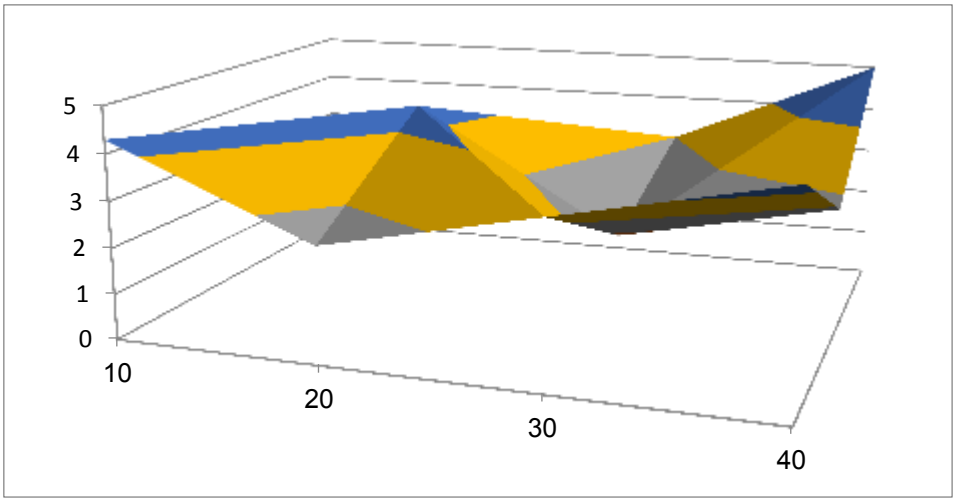
جدول ۲- پارامترهای شبیه‌سازی

مقدار	مفهوم	پارامتر
۴۰۰	تعداد گره‌های موجود	N
۵۰۰*۵۰۰ متر	فضای شبکه	m*n
۳۰-۵۰ متر	برد گره‌ها	R
۵ ثانیه	پیام راهنما	P
۱-۱۰۰٪	باتری گره‌ها	B
۳۰m/s	سرعت گره‌ها	V
۱۰۰second	زمان شبیه‌سازی	S

مقادیر و پارامترهای بکار رفته در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد .شبکه شبیه‌سازی‌شده دارای ۴۰۰ گره با ابعاد ۵۰۰×۵۰۰بوده و محل قرارگیری گره‌ها کاملاً تصادفی انتخاب‌شده است .دامنه انتقال هر گره بین ۳۰ الی ۵۰متر متغیر و حداکثر سرعت گره‌ها ۳۰متر بر ثانیه است. پیام‌های راهنما بافاصله زمانی ۵ ثانیه ارسال می‌شوند .مدت‌زمان شبیه‌سازی شبکه ۱۰۰ ثانیه خواهد بود.

الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم مسیریابی AODV مقایسه و نتایج در زیر آورده شده است. غالباً دستگاه‌های یکه در شبکه‌های موردی سیار وارد می‌شوند دستگاه‌های قابل‌حملی هستند که دارای مانع انرژی محدودی هستند که با باطری تأمین می‌شود به این دلیل استفاده از منابع انرژی آن‌ها باید کنترل‌شده باشد تا توان خود را به‌سرعت از دست ندهند پس یکی از موضوعات مطرح‌شده در شبکه‌های موردی سیار انرژی مصرفی در شبکه در فرآیند جستجو می‌باشد.

در ابتدا تأثیر تعداد مستعمره‌های استفاده‌شده برای جستجو را بررسی می‌نماییم در زیر نمودار یم بنی بر تأثیر تعداد مستعمره بر انرژی مصرفی شبکه را می‌آوریم.

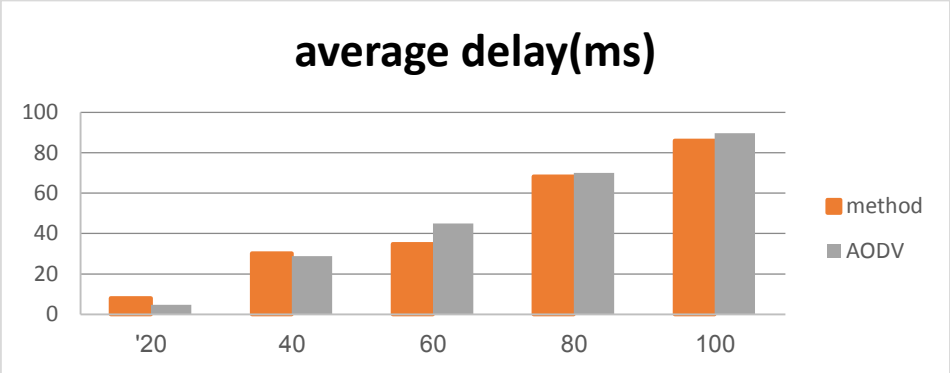


شکل ۶- تأثیر تعداد مستعمره‌ها بر انرژی مصرفی

همان‌طور که از نمودار برمی‌آید ما کمترین مصرف انرژی را برای زمانی داریم که تعداد مستعمره‌ها برابر ۱۰ باشد البته نتایج حاصل از سایر مقادیر نیز فاصله کمی با یکدیگر دارند ولی بهترین حالت برای ۱۰ مستعمره هست.

میانگین تأخیر انتها به انتها:

پارامتر اول برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی محاسبه تأخیر انتها به انتها می‌باشد. به‌طورکلی منظور از تأخیر، مدت‌زمانی است که طول می‌کشد تا بسته‌ای از مبدأ به مقصد برسد و این زمان با تفریق زمان دریافت از زمان ارسال بسته به دست خواهد آمد. باید گفت که پارامتر تأخیر انتها به انتها برای تحلیل صحیح تعداد بسته‌هایی که توسط گره مبدأ فرستاده‌شده و به‌طور موفق به مقصد رسیده‌اند مورداستفاده قرارگرفته که طبیعتاً هرچه میزان این تأخیر کمتر باشد شبکه دارای عملکردی بهتر و کار آیی بیشتری خواهد بود که مطلوب است استفاده از روش پیشنهادی میزان تأخیر انتها به انتها را بیشتر از حد انتظار نکند.

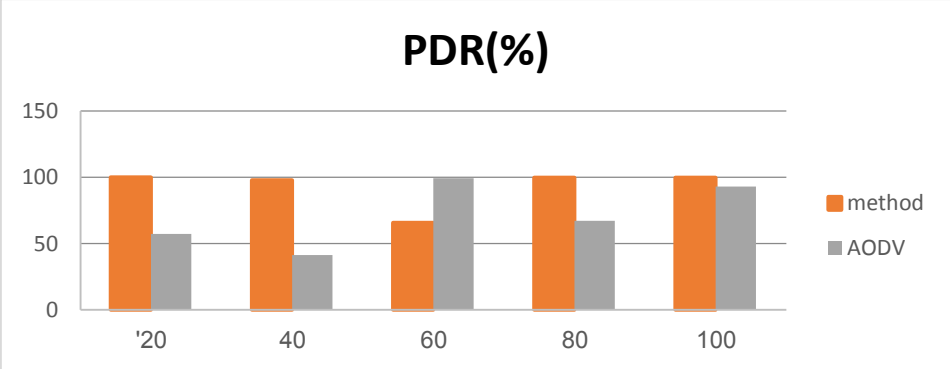


شکل ۷- میانگین عملکرد پارامتر تأخیر انتها به انتها

همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود پروتکل ارائه‌شده (method) نسبت به الگوریتم AODV در بعضی از زمان‌ها نرخ تحویل بسته بهتری دارد که می‌توان علت این امر را انتخاب مسیرهایی با تعداد گام و فاصله کمتر و استفاده از الگوریتم وزنی و تکاملی دانست. ایده پیشنهادی در این پارامتر توانسته است در زمان‌های ۱۰۰-۸۰-۶۰ تأخیر انتها به انتهای شبکه را بهبود بخشیده و در زمان‌های ۴۰-۲۰ نیز عملکردی بهتر برجای بگذارد؛ بنابراین با توجه به روش پیشنهادی، طول مسیر در سه زمان نسبت به حالت دیگر کاهش‌یافته و بسته نیز نسبت به پروتکل دیگر زودتر به مقصد خواهد رسید که درنتیجه این اتفاق، تأخیر انتها به انتهای شبکه با کاهشی مثبت مواجه خواهد شد.

- **میانگین نرخ تحویل بسته‌ها:**

شکل زیر نشان‌دهنده مقایسه روش پیشنهادی با پروتکل AODV استاندارد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود،

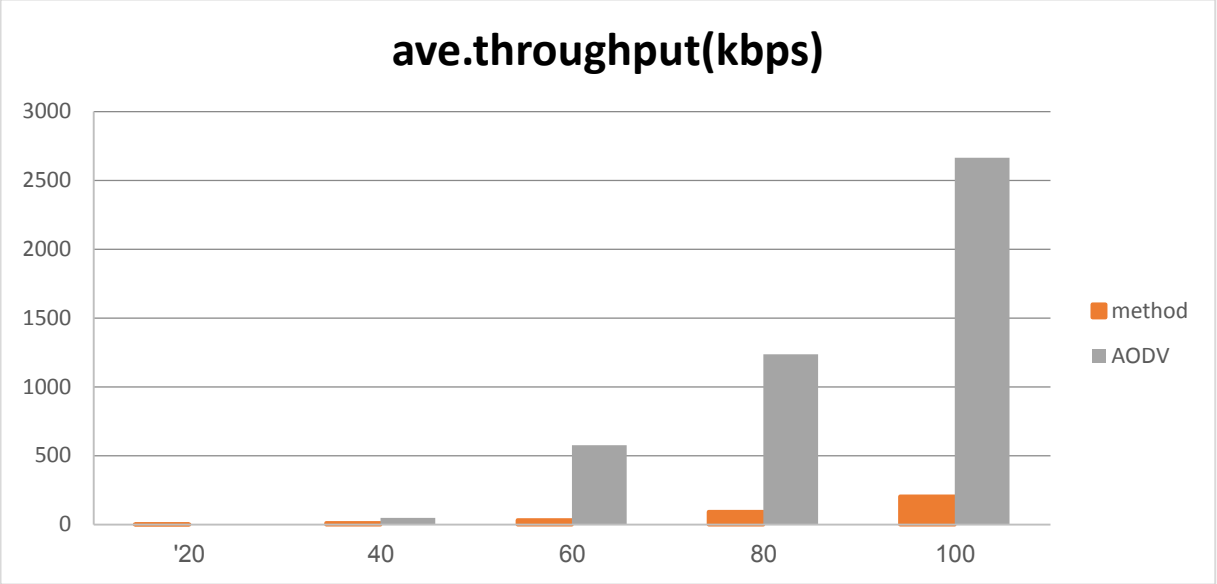


شکل ۸ - میانگین عملکرد پارامتر نرخ تحویل بسته‌ها

پروتکل ارائه‌شده (method) نسبت به حالت دیگر، نرخ تحویل بسته بهتری دارد و علت این امر انتخاب مسیرهای بهتر با تعداد گام کمتر و عدم وجود گره مخرب در طول مسیر و همچنین کل شبکه است. بدیهی است که هرچه نرخ تحویل بسته در شبکه بیشتر باشد، عملکرد شبکه قوی‌تر خواهد بود. بهترین مقادیر مطلوب حاصل از اجرای روش پیشنهادی در زمان‌های ۲۰،۴۰،۸۰،۱۰۰ ثانیه به ثبت رسیده است. در این زمان‌ها نرخ تحویل بسته افزایش‌یافته و در حالت بهتری قرار دارد که این نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش پیشنهادی خواهد بود.

- **میانگین توان عملیاتی**

توان عملیاتی در یک شبکه از مقایسه تعداد تمام بسته‌های رسیده به مقصد، نسبت به زمان شبیه‌سازی‌شده شبکه به دست خواهد آمد. این پارامتر به عبارتی نشان‌دهنده‌ی توازن بار در شبکه است. توان عملیاتی با تقسیم اندازه بسته در هر زمان، در واحد مگابیت بر ثانیه، کیلوبیت بر ثانیه و یا بیت بر ثانیه استخراج می‌شود.

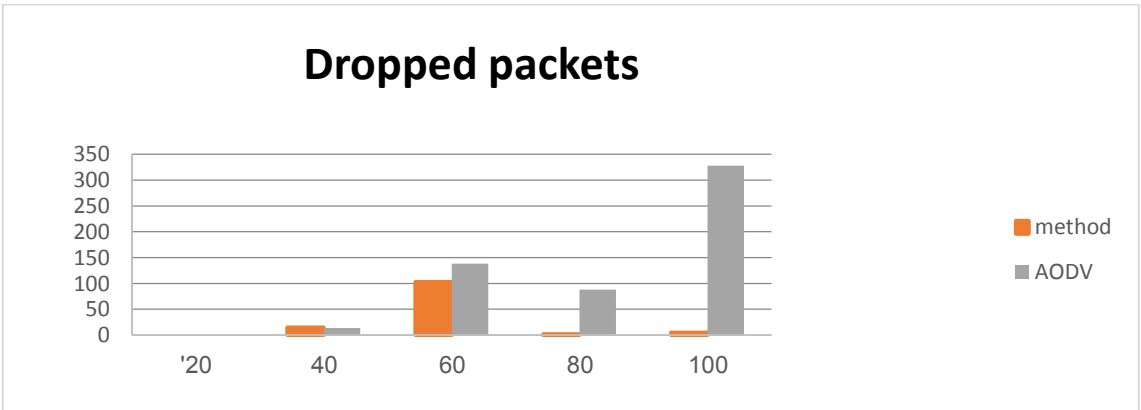


شکل ۹- میانگین عملکرد پارامتر توان عملیاتی

شکل فوق نشان‌دهنده مقایسه توان عملیاتی روش پیشنهادی با الگوریتم AODV استاندارد می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود پروتکل ارائه‌شده (method) نسبت به پروتکل دیگر دارای توان عملیاتی بهتری نبوده و درواقع روش ازلحاظ کاهش محسوس تعداد گره‌های موجود در شبکه نمی‌تواند در بهبود پارامتر توان عملیاتی شبکه موردی مؤثر واقع شود که این اتفاق با توجه به ماهیت الگوریتم‌های تکاملی کاملاً طبیعی خواهد بود.

- **میانگین نرخ اتلاف بسته‌ها**

همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود پروتکل ارائه‌شده (method) نسبت به حالت دیگر توان نرخ اتلاف بسته کمتری دارد و علت این امر استفاده از روش پیشنهادی در جهت یافتن مسیر بهینه به‌صورت تکاملی است. درواقع ازآنجاکه هراندازه میزان اتلاف بسته‌ها کمتر باشد، عملکرد شبکه قابل‌قبول‌تر خواهد بود، در شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد که شبکه در حالت AODV نسبت به دیگر حالات دارای کمترین میزان اتلاف بسته‌ها خواهد بود و ازاین‌رو روش پیشنهادی هرچقدر به این حالت نزدیک‌تر باشد، کار آیی آن بارزتر خواهد بود.



شکل ۱۰ میانگین عملکرد پارامتر نرخ اتلاف بسته‌ها

به استناد شکل ۵، میزان اتلاف بسته‌ها در زمان ۲۰ ثانیه برابر و در زمان‌های ۱۰۰-۸۰-۶۰-۴۰ ثانیه کاهش‌یافته است. ازاین‌رو با توجه به توضیحات فوق می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی در بیشتر زمان‌ها کارآمد بوده و نرخ اتلاف بسته‌ها را نسبت به حالتی که ازاین‌رو استفاده‌نشده است کاهش داده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت ارتباطات در عصر حاضر و جذابیت شبکه موردی برای کاربران، روزبه‌روز تکنولوژی‌های این شبکه در حال گسترش می‌باشد. شبکه‌های موردی به دلیل عدم نیاز به زیرساخت‌های ارتباطی ازلحاظ هزینه باصرفه می‌باشند و به‌مرور به‌طور کامل جای شبکه‌های سیمی دارای زیرساخت را خواهند گرفت. مسیریابی یکی از اصلی‌ترین زمینه‌های پژوهش در این شبکه می‌باشد؛ زیرا مسیریابی مناسب طول عمر شبکه را که اصلی‌ترین معیار موفقیت شبکه است افزایش می‌دهد.

مسیریابی‌های مختلفی بر اساس معیارهای مختلف وجود دارد که پژوهش‌های زیادی بر مبنای آن صورت گرفته است. در این پایان‌نامه یک‌راه‌کار مسیریابی فرا ابتکاری با استفاده از روش بهینه‌سازی چند معیارِ در شبکه‌های موردی سیار ارائه گردید.

در این راه‌کار با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر شبکه مانند باتری، برد، درجه گره و سرعت تابع هدفی تعریف‌شده که تمامی این عوامل با ضریب خاصی در آن تابع تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این پارامترها، میزان پوشش گره‌ها نیز با ضریب تأثیر معینی در این تابع چند هدفِ تأثیر می‌گذارد.

در این پایان‌نامه پس از تعریف پارامترهای مربوط به مسئله رقابت استعماری، توابع هدف موردبررسی قرار گرفت و همچنین توابع مربوط به الگوریتم رقابت استعماری شامل عملگرهای جذب، عملگرهای انقلاب و ... توضیح داده شد. درنهایت بعد از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ابتدا به بررسی تأثیر تعداد مستعمره‌ها بر انرژی مصرفی پرداختیم. سپس به بررسی الگوریتم پیشنهادی پرداخته و چندین پارامتر ارزیابی را با نمونه‌های مختلف تست کردیم. پس از ارزیابی الگوریتم پیشنهادی به مقایسه این الگوریتم با سایر روش‌ها پرداختیم و مشخص شد که الگوریتم پیشنهادی از روش‌های دیگر به‌مراتب عملکرد بهتری دارد.

به‌عنوان کار آتی، می‌توان درباره موارد زیر بررسی کرد:

- اضافه کردن پارامترهای دیگر به تابع هدف

با در نظر گرفتن پارامترهای دیگری ازجمله جهت حرکت و تراکم گره‌ها می‌توان تابع هدف جدیدی تعریف کرد که در این صورت انتظار می‌رود نتایج بهتری یافت شود

- استفاده از شروط و قیودی که باعث کاهش تعداد مسیریابی‌های مجدد شود

با تغییر در تعداد حرکت‌های مجاز یا تغییر در مدل استفاده از باتری در گره‌ها می‌توان انرژی مصرفی را کاهش و تعداد مسیریابی‌های مجدد را کاهش داد.

منابع

1. A. Swidan, H. BaniAbdelghany,R. Saifan, (2016), Mobility and Direction Aware Ad-hoc on Demand Distance Vector Routing Protocol, Procedia Computer Science, Volume 94, Pages 49-56.

2. Bakshi A., Sharma A.K., and Mishra A. (2013), "Significance of Mobile AD-HOC Networks (MANETS)," International Journal of Innovative Technology andExploring Engineering (IJITEE), Vol. 2, Issue 4.

3. Cerri D., Ghioni A.,(2008), "Securing AODV: the A-SAODV secure routing prototype" Communications Magazine in IEEE, pp. 120-125, Vol. 46, Issue 2.

4. Dagdeviren O., and Erciyes K., (2014), "A Hierarchical Leader Election Protocol for Mobile Ad hoc Networks," Computational Science – ICCS 2008 Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5101, pp. 509-51.

5. Goyal N., and Gaba A.,(2015), "A review over MANET- Issues and Challenges," International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications, Vol. 2, Issue 5, pp. 24-36.
6. Haas, Z. J., (2011). A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks. Retrieved 2011-05-06
7. Juan, R., Lloret, J., Jimenez, J., & Sendra, S. (2014). MWAHCA: A Multimedia Wireless Ad Hoc Cluster Architecture. The Scientific World Journal, 1-14.
8. Kale A., Ruchia Ms., and Gupta S. R., (2013), "An Overview of Manet Ad Hoc Network," International Journal of Computer Science and Applications, Vol. 6, No.2.
9. Kale A., Ruchia Ms., and Gupta S. R.,(2013), An Overview of Manet Ad Hoc Network, International Journal of Computer Science and Applications, Vol. 6, No.2.
10. O. Dagdeviren, K. Erciyes (2008), A Hierarchical Leader Election Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, International Conference on Computational Science, pp 509-518.
11. Ohta T., Inoue S., and Kakuda Y.,(2013), "An Adaptive Multihop Clustering Scheme for Highly Mobile Ad Hoc Networks," in proceedings of 6th ISADS'03 IEEE, pp. 293-300.
12. Panda I., (2014), "A Clustering approach in Mobile Ad-hoc Networks Routing, " International journal of computer Science & Engineering Technology (IJCSET), Vol. 4, No. 03.
13. Perkins C. E., and Bhagwat P., (1994), "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers" Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, pp. 234-224
14. Perkins, C.; Belding-Royer, E.; Das, S. (July 2010). Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF. RFC 3561. Retrieved 2010-06-18
15. Perkins, Charles E.; Bhagwat, Pravin (2006). "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", IEEE Personal Communication.
16. Qadri N. N. and Liotta A., (2010), "Analysis of Pervasive Mobile Ad Hoc Routing Protocols," Computer Communications and Networks, Springer, pp. 433-453.
17. R. DUBE, C. D. RAIS, K. WANG, AND S. K. TRIPATHI (1997). Signal Stability based adaptive routing (SSR alt SSA) for ad hoc mobile networks, IEEE Personal Communication, Feb.
18. Rani V., and Dhir R., (2016), "A Study of Ad-Hoc Network: A Review," International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 3, Issue 3, March.
19. Shenbagapriya , R., & Narayanan, K. (2015). An Efficient Proactive Source Routing Protocol for Controlling the Overhead in Mobile Ad-Hoc Networks. Indian Journal of Science & Technology, 8(30), 1-6. doi:10.17485/ijst/2015/v8i30/61429
20. Sunil J. Soni, Jagdish S. Shah(2015), Evaluating Performance of OLSR Routing Protocol for Multimedia Traffic in MANET Using NS2, International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 4-6 April, IEEE.
21. Tai W.Y., Tan C.T., and Lau S.P., (2012), "Towards Utilizing Flow Label IPv6 in Implicit
Source Routing for Dynamic Source Routing (DSR) in Wireless Ad Hoc Network," Computers & Informatics (ISCI) on IEEE Symposium, pp. 101-106.
22. Wang, Z., Chen, Y., & Li, C. (2014). A Lightweight Proactive Source Routing Protocol For Mobile Ad Hoc Networks. IEEE Transactions On Vehicular Technology, 63(2), 859-868. doi:10.1109/TVT.2013.227911.