

بهبود کارایی الگوریتم مسیریابی DSR با استفاده از بهینه سازی پویای مسیر

بهروز سیدی، گروه فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران behrouz.seyedi@gmail.com

چکیده

در شبکه‌های سیار موردی مسیر ایجاد شده بین مبدأ و مقصد با استفاده از پروتکل مسیریابی DSR در طول زمان ثابت است و مسیر جدید تنها پس از خرابی مسیر موجود ایجاد می‌شود؛ در حالی که مسیر جاری ممکن است تحت تأثیر حرکت نودها و تغییر توپولوژی شبکه حالت بهینه خود را از دست بدهد زیرا ممکن است بتوان مسیر کوتاه‌تری بین مبدأ و مقصد ایجاد نمود و تعدادی از نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرد.

در پروتکل مسیریابی DSR نودها با قرار گرفتن در حالت بدون قاعده و شنود بسته‌های ارسالی نودهای همسایه به صورت پویا مسیرهای فعال را کوتاه می‌کنند، اما قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده و شنود تمامی بسته‌های ارسالی همسایه‌ها موجب ایجاد سربار و افزایش مصرف انرژی می‌شود.

در این مقاله روشی پیشنهاد شده است که بدون نیاز به قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده، در صورت امکان نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرده و مسیر را کوتاه می‌کند. نتایج حاصل از شبیه سازی‌های انجام شده با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز OMNeT++ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند کارایی پروتکل مسیریابی DSR را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود دهد.

کلمات کلیدی

بهینه سازی مسیر، پروتکل‌های مسیریابی، شبکه‌های سیار موردی، DSR Ad-Hoc Networks, Wireless Communications, Routing Protocol

۱. مقدمه

در دو دهه اخیر شبکه‌های سیار موردی^۱ مورد توجه محققان قرار گرفته است. برپایی این شبکه‌ها نیاز به زیر ساخت و مدیریت یکپارچه ندارد. همچنین نودها در این شبکه‌ها می‌توانند آزادانه حرکت کنند. حرکت نودها موجب تغییر توپولوژی شبکه می‌شود و تغییر توپولوژی به نوبه خود مسیریابی در این شبکه‌ها را دشوار می‌سازد. تا کنون صدها پروتکل مسیریابی برای این شبکه‌ها پیشنهاد شده است [۱]. دو چالش اساسی در مسئله مسیریابی، خرابی مسیر و عدم بهینگی مسیر می‌باشد که ناشی از حرکت نودها و تغییر توپولوژی شبکه است. به طور کلی حرکت نودها در شبکه یکی از دو رویداد زیر را موجب می‌شود:

- خارج شدن نودها از رنج ارسال یکدیگر و در نتیجه خرابی مسیر و قطع ارتباط بین فرستنده و گیرنده

- ایجاد لینک‌های جدید و امکان برقراری مسیری جدید بین فرستنده و گیرنده و در نتیجه عدم بهینگی مسیر جاری از لحاظ تعداد گام‌ها

پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر تقاضا^۲ هنگام خرابی مسیر با اجرای دوباره فاز کشف مسیر و یا بازیابی محلی مسیر سعی می‌کنند که مشکل خرابی مسیر را برطرف سازند. اما عدم بهینگی مسیر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش عدم بهینگی مسیر را مورد بررسی قرار گرفته است.

در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر تقاضا تنها هنگام نیاز و بنا به درخواست فرستنده مسیری بین مبدأ و مقصد ایجاد می‌شود. ایجاد مسیر توسط ارسال سیل آسای بسته‌های درخواست مسیر در شبکه صورت می‌گیرد. بنابراین مسیر ایجاد شده در لحظه نخست از لحاظ تعداد گام بسیار نزدیک به مسیر بهینه می‌باشد. با گذشت زمان و حرکت نودها توپولوژی شبکه تغییر می‌کند. تغییر توپولوژی ممکن است به گونه‌ای باشد که منجر به خرابی لینک‌های مسیر نشود اما بتوان تعدادی از نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرده و مسیر کوتاه‌تری بین مبدأ و مقصد ایجاد نمود.

یک نمونه از عدم بهینگی مسیر در شکل ۱ نمایش داده شده است. در ابتدا مسیر ایجاد شده بین مبدأ و مقصد بهینه می‌باشد. اما با گذر زمان و تغییر توپولوژی شبکه بهینگی مسیر از بین می‌رود چون با قرار گرفتن نودهای c و S در برد رادیویی یکدیگر می‌توان نودهای a و b را از مسیر حذف کرد و مسیر چهار گامی بین مبدأ و مقصد را با یک مسیر دو گامی جایگزین نمود. پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر تقاضا غالباً پس از خرابی مسیر سعی در ترمیم آن دارند و عدم بهینگی مسیرهای فعال را نادیده می‌گیرند.

در پروتکل مسیریابی مبتنی بر تقاضای DSR^۳ هر نود با قرار گرفت در حالت بدون قاعده^۴ و شنود بسته‌های ارسالی همسایه‌های خود سعی می‌کند که نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرده و مسیر را کوتاه کند. اما قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده و شنود تمامی بسته‌های ارسالی از طرف همسایه‌ها موجب مصرف انرژی و ایجاد سربار پردازشی می‌شود.

در این مقاله روشی را برای بهبود عملکرد پروتکل مسیریابی DSR پیشنهاد شده است که بدون نیاز به قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده و تنها با ارسال بسته‌های ویژه‌ای سعی می‌کند که بدون وقفه^۵ عدم بهینگی مسیرهای فعال را تشخیص داده، نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرده و مسیر را کوتاه‌تر سازد. ارسال بسته‌های ویژه سرباری را به شبکه تحمیل می‌کند، اما در روش پیشنهادی تلاش برای بهینه سازی مسیر و حذف نودهای اضافی موجود در

^۱ Mobile Ad-hoc Networks (MANET)

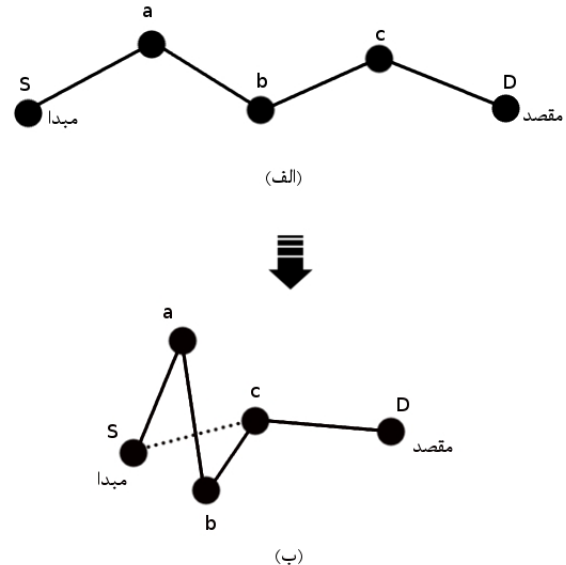
^۲ On-Demand Routing Protocols

^۳ Dynamic Source Routing (DSR)

^۴ Promiscuous Mode

^۵ On the Fly

مسیر با توجه به ترافیک ارسالی نودها و طول مسیر (از نظر تعداد گام‌ها) صورت می‌گیرد؛ بنابراین سربار بهینه سازی مسیر اندک بوده و برای مسیرهای دارای ترافیک کم بار و کوتاه بسیار ناچیز خواهد بود.



شکل ۱- (الف) مسیر ایجاد شده اولیه، (ب) عدم بهینگی مسیر پس از حرکت نودها

۲. بررسی کارهای انجام شده

کارهای انجام شده در این زمینه را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: روش‌های مبتنی بر حالت بدون قاعده و روش‌های مبتنی بر بسته‌های خاص.

۲-۱. روش‌های مبتنی بر حالت بدون قاعده:

روش‌های مطرح شده در این گروه با تکیه بر قابلیت قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده عمل می‌کنند. قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده بدین معناست که لایه پیوند داده تمامی فریم‌های ارسالی شده توسط همسایه‌های خود را دریافت کرده و بدون در نظر گرفتن مقصد فریم‌ها، آن‌ها را به لایه‌های بالاتر ارسال می‌کند. ارسال در محیط‌های بی‌سیم در رسانه مشترک صورت می‌گیرد بنابراین هر نود با رفتن به حالت بدون قاعده می‌تواند تمامی بسته‌های ارسالی همسایه‌های خود را دریافت کند حتی اگر مقصد فریم‌های ارسالی شده نباشد. مشکل اصلی قرار گرفتن در حالت بدون قاعده مصرف بالای انرژی است. چون نودها باید به صورت پیوسته به کانال گوش داده و تمامی فریم‌ها را دریافت کنند. همچنین ارسال فریم‌ها به لایه‌های بالاتر و پردازش بسته‌های دریافتی نیازمند مصرف انرژی و اتلاف زمان پردازش است. باید در نظر داشت که مصرف بالای انرژی در MANET موجب کاهش عمر شبکه می‌شود.

از اولین مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای Wu و همکاران [۲] در ۲۰۰۰ اشاره کرد. آن‌ها روش‌هایی را برای بهینه سازی مسیرهای فعال در پروتکل‌های مختلفی از جمله AODV, ZRP, SSA و DSR پیشنهاد داده‌اند. پیشنهاد آن‌ها برای بهینه سازی مسیر در پروتکل مسیریابی DSR به این صورت است که هر نود با قرار گرفتن در حالت بدون قاعده و دریافت بسته‌های ارسالی از همسایه‌های خود در صورتی که مسیری به سمت مقصد

داشته باشد و تعداد گام‌های مسیر موجود در حافظه نهان از تعداد گام‌های باقی‌مانده در سرآیند بسته برای رسیدن به مقصد کمتر باشد، آنگاه یک پیام پاسخ مسیر بلاعوض^۱ را برای نود مبدأ ارسال کرده و نود مبدأ را از وجود مسیری کوتاه‌تر مطلع می‌سازد.

Gui و Mohapatra [۳] در ۲۰۰۳ الگوریتم SHORT را برای کوتاه کردن مسیرهای چند گامی به یک یا دو گام مطرح کردند. ایراد الگوریتم SHORT این است که قادر به شناسایی مسیرهای میانبر شامل مبدأ و مقصد نمی‌باشد، همچنین هنگام یافتن میانبر برای مسیرهای زیگزاگ با مشکل مواجه می‌شود.

Giruka و همکاران [۴] در ۲۰۰۴ الگوریتم PCA را برای رفع ایرادهای SHORT ارائه دادند. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها نسبت به الگوریتم SHORT و AODV بازدهی بهتری دارد. Yen و همکاران [۵] در ۲۰۱۰ الگوریتم RAPLF را ارائه دادند و از روشی مشابه الگوریتم SHORT برای بهینه سازی مسیر در الگوریتم پیشنهادی خود استفاده کرده‌اند.

۲-۲. روش‌های مبتنی بر بسته‌های خاص:

در روش‌های مطرح شده در این گروه نودها با ارسال بسته‌های ویژه‌ای سایر نودهای شبکه را از وجود مسیری جایگزین مطلع می‌سازند. استفاده از این روش نیازمند طراحی دقیق پروتکل است چون ارسال بی رویه بسته‌های کنترلی موجب ایجاد سربار و کاهش کارایی شبکه خواهد شد.

Saito و همکاران [۶] در ۲۰۰۴ الگوریتمی را مطرح کردند که با نزدیک شدن نودها به یکدیگر تلاش می‌کند که در صورت امکان مسیر موجود را کوتاه کند. به عنوان مثال فرض کنید که یک بسته در مسیر رسیدن به مقصد به ترتیب از نودهای A، B و C عبور نماید. آنگاه با نزدیک شدن نود C و B به یکدیگر به گونه‌ای که SINR بسته‌هایی که نود C از نود B دریافت می‌کند از حد آستانه‌ای بالاتر رود، آنگاه C استنباط می‌کند که به اندازه کافی به نود A نزدیک شده است و احتمالاً می‌تواند بسته‌ها را مستقیماً از نود A دریافت کند. در نتیجه با ارسال بسته ویژه‌ای به A سعی می‌کند که مسیر میانبری ایجاد کرده و نود B را از مسیر حذف نماید. مشکل اصلی این روش این است که تنها مسیرهای میانبر بین یک سه‌تایی از نودهای مسیر را تشخیص می‌دهد.

Zapata [۷] در ۲۰۰۵ روشی را برای یافتن مسیرهای میانبر مطرح نموده و نحوه پیاده‌سازی روش پیشنهادی را در AODV بیان کرده است. اما کارایی روش پیشنهادی توسط شبیه سازها مورد بررسی قرار نگرفته است.

Khan و Bilgin [۸] در ۲۰۱۰ روشی مشابه آنچه که در [۶] مطرح شده را برای الگوریتم مسیریابی AODV مطرح کرده‌اند. به عنوان مثال آن‌ها کوتاه کردن زیر مسیرهای دو گامی را به مسیرهای مستقیم یک گامی با حذف نود میانی، مورد توجه قرار داده‌اند. با این تفاوت که آن‌ها تلاش برای کوتاه کردن مسیر را بر اساس ترافیک عبوری از یک مسیر فعال و نه نزدیکی نودها به هم آغاز می‌کنند. همچنین پروتکل پیشنهادی آن‌ها به صورت انتها به انتها عمل می‌کند در حالی که روش مطرح شده در [۶] بین یک سه‌تایی از نودهای موجود در مسیر عمل بهینه سازی را انجام می‌دهد.

^۱ Gratuitous Route Replay

Huang و همکاران [۹] در ۲۰۱۱ و در ادامه کارهای Bilgin و Khan [۸] الگوریتمی را با عنوان DROA برای کوتاه کردن مسیرهای چند گامی به یک گامی پیشنهاد کرده‌اند.

ایراد اساسی روش‌های مطرح شده توسط [۸] و [۹] این است که طول مسیر در فرآیند کوتاه کردن مسیر در نظر نگرفته نشده است. در حالی که طول مسیر می‌تواند پارامتر تأثیر گذاری باشد، از این نظر که امکان به وجود آمدن میانبر در مسیرهای طولانی‌تر بیشتر از مسیرهای با تعداد گام کمتر است. همچنین الگوریتم‌های مطرح شده و شبیه سازی‌های انجام گرفته بر اساس پروتکل مسیریابی AODV است. در این پژوهش و در ادامه کارهای انجام شده در [۸] و [۹] روشی برای بهینه سازی مسیر در پروتکل مسیریابی DSR پیشنهاد شده است که با توجه به ترافیک مسیر و طول مسیر اقدام به ارسال بسته‌های کنترلی ویژه‌ای نموده و سعی می‌کند مسیر میانبر را بین هر دو نود موجود در مسیر فعال یافته، نودهای اضافی مسیر را حذف کرده و مسیر را کوتاه نماید.

۳. پروتکل مسیریابی DSR

پروتکل مسیریابی DSR یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر مبدأ است به این معنا که تمامی بسته‌های داده ارسالی در شبکه اطلاعات مسیر را در سرآیند خود ذخیره می‌کنند. نودهای میانی از طریق اطلاعات ذخیره شده در سرآیند بسته‌ها نود گام بعد را انتخاب می‌کنند. مسیریابی در این پروتکل شامل دو فاز کشف مسیر و نگهداری مسیر است.

هر گاه فرستنده بخواهد داده‌ای ارسال کند و مسیری به سمت مقصد مورد نظر نداشته باشد فاز کشف مسیر را آغاز می‌کند. در فاز کشف مسیر بسته‌های درخواست مسیر^۱ به صورت همه پخشی برای تمامی همسایه‌ها ارسال می‌شود. اگر نود دریافت‌کننده RREQ مسیری به سمت مقصد نداشته باشد آدرس خود را در RREQ درج کرده و آن را دوباره به صورت همه پخشی ارسال می‌کند. اما اگر نود دریافت‌کننده RREQ مسیری به سمت مقصد داشته باشد و یا خود نود مقصد باشد یک بسته پاسخ مسیر^۲ به سمت فرستنده ارسال می‌کند. RREP حاوی آدرس نودهای میانی است که بسته‌های داده برای رسیدن به مقصد باید از آن‌ها عبور کنند. فرستنده بعد از دریافت RREP شروع به ارسال داده به سمت مقصد می‌کند.

هر پیام درخواست مسیر دارای یک شماره ترتیب است که توسط فرستنده ایجاد شده و در سرآیند بسته‌های RREQ درج می‌شود. هدف از درج شماره ترتیب جلوگیری از ایجاد حلقه در مسیر است. همچنین نودها با بررسی شماره ترتیب، بسته‌های RREQ را تنها یک بار به صورت همه پخشی ارسال کرده و از ارسال بسته‌های تکراری اجتناب می‌کنند.

در فاز نگهداری مسیر هرگاه نودهای موجود در مسیر تشخیص دهند یک مسیر دچار خرابی شده است آنگاه با ارسال بسته‌های خرابی مسیر^۳ به سمت مقصد، فرستنده را از وجود خرابی در مسیر مطلع می‌کنند. نودهای میانی پس از دریافت بسته RERR مسیرهایی را که از لینک دچار خرابی عبور می‌کند از حافظه نهان حذف کرده و بسته RERR را به سمت فرستنده ارسال می‌کنند. اگر فرستنده پس از دریافت بسته RERR هنوز داده‌ای برای ارسال داشته باشد و مسیر جایگزینی به سمت مقصد نداشته باشد دوباره فاز کشف مسیر را اجرا می‌کند.

استفاده از حافظه نهان برای ذخیره مسیرهای کشف شده موجب کاهش سربار مسیریابی می‌شود. در پروتکل مسیریابی DSR هر بسته داده باید اطلاعات کل مسیر را با خود حمل کند که این امر موجب مصرف پهنای باند می‌شود. استفاده از حافظه نهان نیز ممکن است موجب شود که نودهای میانی مسیرهای کهنه و غیر معتبر را در بسته RREP برای فرستنده ارسال کنند.

۴. بهینه سازی پویای مسیر

در این بخش الگوریتم پیشنهادی برای حذف نودهای اضافی مسیر و کوتاه کردن مسیرهای فعال را مورد بررسی قرار گرفته است؛ این الگوریتم^۴ DDRO نامیده می‌شود.

بعد از آنکه مسیر بین مبدأ و مقصد توسط الگوریتم مسیریابی DSR ایجاد شد، DDRO سعی می‌کند که در صورت امکان مسیرهای فعال را کوتاه کند و نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کند. تلاش برای کوتاه کردن مسیر با توجه به ترافیک مسیر جاری و تعداد گام‌های مسیر صورت می‌گیرد. هر اندازه که مسیر طولانی‌تر و ترافیک مسیر بیشتر باشد تعداد بسته‌های کنترلی ارسالی برای شناسایی مسیر میانبر بیشتر می‌شود، چون کوتاه کردن مسیرهای پر ترافیک و طولانی (از نظر تعداد گام) می‌تواند بازدهی شبکه را افزایش دهد.

در DDRO فرآیند کوتاه کردن مسیر توسط فرستنده شروع می‌شود. فرستنده هنگام ارسال بسته‌های داده با احتمال p یک بیت را در سرآیند بسته‌های DSR یک می‌کند. برای این کار می‌توان از بیت‌های رزرو شده در سرآیند بسته‌ها استفاده کرد و یا فیلد ویژه‌ای برای این منظور به سرآیند بسته‌ها اضافه نمود. مقدار p از رابطه ۱ بدست می‌آید که در آن n طول مسیر و λ پارامتری برای کنترل نرخ ارسال بسته‌های ویژه و عددی تصادفی بین ۰ تا ۱ است.

$$p = (1 - 1/2^{n-1}) \times \lambda \quad (\text{رابطه ۱})$$

تمامی نودهای موجود در مسیر پس از دریافت بسته‌های داده مقدار این فیلد را بررسی کرده و در صورتی که مقدار آن برابر یک باشد آنگاه سرآیند بسته دریافتی را در یک بسته IP بسته بندی^۵ کرده و آن را به صورت همه پخشی برای همسایه‌های خود ارسال می‌کنند و به منظور جلوگیری از انتشار این بسته در کل شبکه مقدار فیلد طول عمر^۶ را برابر یک قرار می‌دهند. هر یک از همسایه‌ها پس از دریافت بسته IP، مسیر موجود در سرآیند بسته DSR را بررسی می‌کنند. اگر نود جاری آدرس خود را در لیست آدرس‌های موجود در سرآیند بیابد ولی خود به عنوان نود گام بعدی تعیین نشده باشد آنگاه این نود تشخیص می‌دهد که می‌توان تعدادی از نودهای اضافی مسیر را حذف نموده و مسیر را کوتاه‌تر کرد. در واقع نودهای موجود بین نود جاری و نود ارسال‌کننده سرآیند را می‌توان از مسیر اصلی حذف نمود. به منظور کوتاه کردن مسیر این

^۱ Route Request (RREQ)

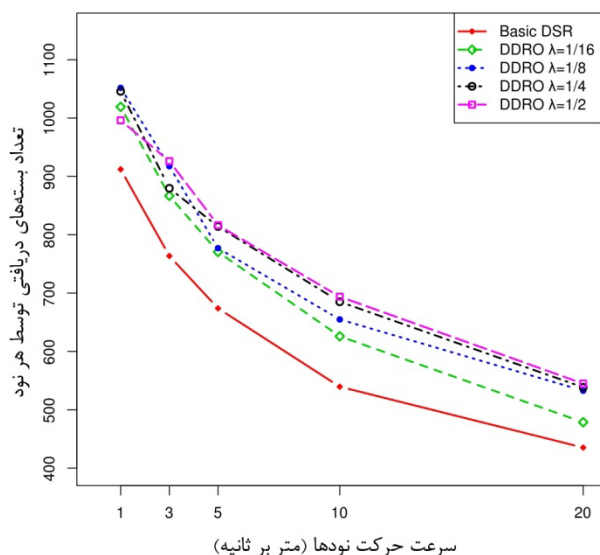
^۲ Route Replay (RREP)

^۳ Route Error (RERR)

^۴ DSR Dynamic Route Optimization (DDRO)

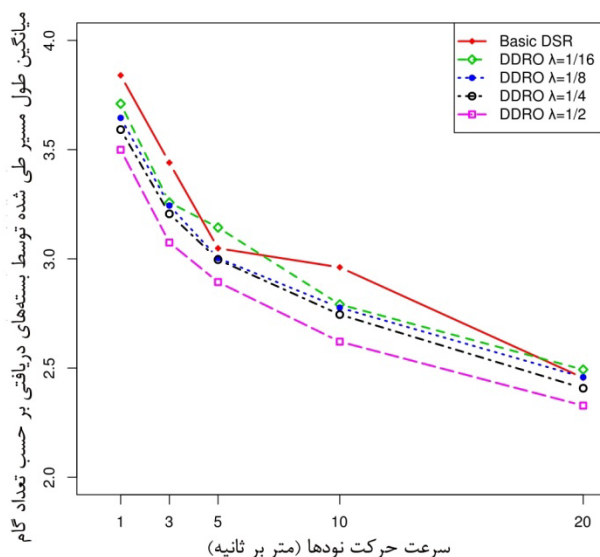
^۵ Encapsulate

^۶ Time To Live (TTL)



شکل ۲- میانگین تعداد بسته‌های دریافتی توسط هر نود

شکل ۳ میانگین تعداد گام‌های طی شده توسط بسته‌های دریافتی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در الگوریتم DDRO نودها برای رسیدن به مقصد تعداد گام‌های کمتری را طی می‌کنند چون در صورت امکان نودهای اضافی موجود در مسیر حذف شده و بسته‌ها از مسیرهای کوتاه‌تری به مقصد می‌رسند. در این حالت با افزایش λ مسیرها نیز کوتاه‌تر می‌شوند.



شکل ۳- میانگین طول مسیر طی شده توسط بسته‌های دریافتی

نود یک پیام پاسخ مسیر بلاعوض را به سمت نود مبدأ ارسال کرده و در آن مسیر میانبر را درج می‌کند. نود مبدأ پس از دریافت این بسته، مسیر موجود در حافظه نهان خود را اصلاح نموده و از مسیر جدید برای ارسال بسته‌های داده استفاده می‌کند و به این ترتیب نودهای اضافی موجود در مسیر حذف شده و مسیر کوتاه می‌شود.

۵. شبیه سازی

کارایی الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم‌افزار شبیه ساز [10] OMNeT++ و فریمورک [11] INETMANET-2.0 برای پروتکل مسیریابی DSR مورد ارزیابی قرار گرفته و کارایی الگوریتم DSR پایه با الگوریتم DDRO در حالت‌های مختلف مقایسه شده است.

شبیه سازی به مدت ۶۰۰ ثانیه برای شبکه‌ای با تعداد ۵۰ نود در فضایی به ابعاد 2000×2000 متر انجام شده است. هر نود مجهز به یک واسط شبکه سازگار با استاندارد 802.11g می‌باشد. نودها بر اساس مدل حرکتی RWM^۱ و با سرعت‌های ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کنند. مدت زمان توقف تا حرکت مجدد ۰/۱ ثانیه می‌باشد. در این شبیه سازی هر نود به طور تصادفی یکی از نودهای موجود در شبکه را انتخاب کرده و با نرخ ثابت چهار بسته در ثانیه داده‌ها را به سمت مقصد مورد نظر ارسال می‌کند. اندازه هر بسته داده ۵۱۲ بایت است. زمان قابل قبول برای دریافت هر بسته داده پنج ثانیه پس از ارسال توسط فرستنده می‌باشد. با توجه به رابطه ۱ شبیه سازی برای مقادیر متفاوت λ انجام شده است.

تعداد بسته‌های دریافتی توسط نودها، تعداد بسته‌های پاسخ مسیر بلاعوض ارسالی توسط نودها و تعداد گام‌ها یا طول مسیری که بسته‌ها برای رسیدن به مقصد طی کرده‌اند مورد بررسی قرار گرفته است.

۶. بررسی نتایج

نتایج زیادی برای حالت‌های مختلف بدست آمده است اما با توجه به محدودیت حجم مقاله تنها سه مورد از آن‌ها را بررسی می‌کنیم. نتایج بدست آمده از شبیه سازی نشان می‌دهد که DDRO عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم DSR دارد.

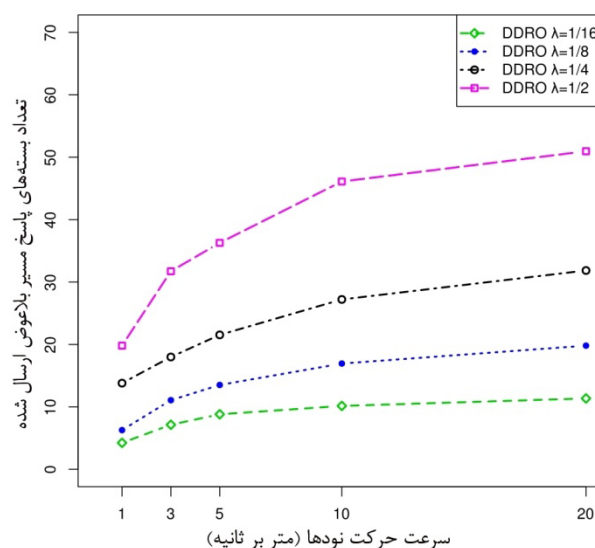
شکل ۲ نمودار مربوط به میانگین تعداد بسته‌های دریافتی توسط هر نود در شبکه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود الگوریتم DDRO در تمامی حالت‌ها بازدهی بهتری نسبت به الگوریتم مسیریابی DSR دارد و میانگین تعداد بسته‌های دریافتی در DDRO بیشتر است. دلیل این امر کوتاه کردن مسیر و حذف نودهای اضافی موجود در مسیر است. چون با حذف نودهای اضافی تعداد گام‌هایی که بسته‌ها برای رسیدن به مقصد طی می‌کنند کاهش می‌یابد بنابراین در مدت زمان یکسان الگوریتم DDRO تعداد بسته‌های بیشتری را به مقصد می‌رساند. همچنین با افزایش λ تعداد بسته‌های دریافتی افزایش می‌یابد. دلیل آن تشخیص سریع‌تر مسیرهای میانبر و حذف نودهای میانی می‌باشد. همچنین با افزایش تحرک نودها، در میانگین تعداد بسته‌های دریافتی با افزایش λ تغییر چندانی حاصل نشده است زیرا مسیرهای میانبر ایجاد شده با تغییر سریع توپولوژی از بین می‌رود. به عنوان مثال میانگین تعداد بسته‌های دریافتی در سرعت ۲۰ متر بر ثانیه برای احتمال‌های ۱/۸، ۱/۴ و ۱/۲ تقریباً یکسان است و افزایش λ تنها سربار شبکه را افزایش می‌یابد.

^۱ Random Waypoint Mobility (RWM)

۸. مراجع

- [1] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M. Ahmad, L. Bölöni, D. Turgut, "Routing Protocols in Ad hoc Networks: A Survey," Computer Networks, Vol. 55, no. 13, 3032–3080, 2011.
- [2] S. Wu, S. Ni, Y. Tseng, J. Sheu, "Route Maintenance in a Wireless Mobile Ad Hoc Network," In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 8021, 2000.
- [3] C. Gui, P. Mohapatra, "SHORT: Self-healing and Optimizing Routing Techniques for Mobile Ad hoc Networks," In Proceedings of the 4th ACM international symposium on mobile ad hoc networking & computing, 279-290, 2003.
- [4] V. Giruka, M. Singhal, S. Yarravarapu, "A Path Compression Technique for On-demand Ad-hoc Routing Protocols," In Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS), 144-153, 2004.
- [5] Y. Yen, H. Chang, R. Chang, H. Chao, "Routing with Adaptive Path and Limited Flooding for Mobile Ad hoc Networks," Computers & Electrical Engineering, Vol. 36, no. 2, 280-290, 2010.
- [6] M. Saito, H. Aida, Y. Tobe, H. Tokuda "A Proximity-based Dynamic Path Shortening Scheme for Ubiquitous Ad hoc Networks," In Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 390-397, 2004.
- [7] M. Zapata, "Shortcut Detection and Route Repair in Ad hoc Networks," In Proceedings of the Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 237-242, 2005.
- [8] Z. Bilgin, B. Khan, "A Dynamic Route Optimization Mechanism for AODV in MANETs," In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Communications (ICC), 1-5, 2010.
- [9] L. Huang, F. Wang, G. Yan, "An Efficient Dynamic Route Optimization Algorithm for Mobile Ad hoc Networks," Procedia Environmental Sciences, Vol. 11, 518-524, 2011.
- [10] OMNeT++ Network Simulation Framework, <http://www.omnetpp.org/>, access date: August 2012.
- [11] INETMANET-2.0, <https://github.com/aarizaq/inetmanet-2.0>, access date: August 2012.

شکل ۴ میانگین تعداد بسته‌های پاسخ مسیر بلاعوض را که توسط هر نود ارسال شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً گفته شد هرگاه یک نود مسیر میانبری را برای رسیدن به مقصد کشف نماید با ارسال بسته پاسخ مسیر بلاعوض به سمت مبدأ، فرستنده را از وجود این مسیر مطلع می‌سازد. با افزایش λ تعداد بسته‌های پاسخ مسیر بلاعوض افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تحرک نودها و تغییرات سریع توپولوژی افزایش قابل ملاحظه‌ای در تعداد بسته‌های پاسخ مسیر بلاعوض مشاهده می‌شود که دلیل آن امکان ایجاد تعداد بیشتری میانبر بین نودهای مبدأ و مقصد در شبکه است.



شکل ۴- میانگین تعداد بسته‌های پاسخ مسیر بلاعوض ارسال شده توسط هر نود

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش الگوریتم DDRO را برای بهینه‌سازی مسیرهای فعال در پروتکل مسیریابی DSR پیشنهاد شد. الگوریتم DDRO نیازی به قرار گرفتن نودها در حالت بدون قاعده ندارد. با استفاده از الگوریتم DDRO فرستنده با توجه به نرخ ارسال بسته‌های داده فرآیند کوتاه کردن مسیر را آغاز می‌کند و سایر نودهای موجود در مسیر با ارسال بسته‌های ویژه‌ای سعی می‌کنند که در صورت امکان نودهای اضافی موجود در مسیر را حذف کرده و مسیر را کوتاه نمایند. شبیه‌سازی‌های انجام شده در نرم‌افزار شبیه‌ساز OMNeT++ نشان می‌دهد الگوریتم DDRO در مقایسه با پروتکل DSR استاندارد کارایی بهتری دارد و درصد بیشتری از بسته‌های ارسالی در زمان تعیین شده به مقصد می‌رسند.