

بهبود الگوریتم مسیریابی AODV در شبکه‌های موردی سیار با استفاده از پیشگویی پایداری لینک‌ها برای محیط‌های شهری

رضا قنبرزاده

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، هریس، ایران
ghanbarzadeh@herisiau.ac.ir

محمدرضا میبدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده

شبکه‌های موردی سیار^۱ نوع خاصی از شبکه‌های بی‌سیم می‌باشند که فاقد ساختار ثابت بوده و قابلیت جابجایی نودها در آنها وجود دارد که چنین ویژگی‌هایی بر پیچیدگی این شبکه‌ها افزوده است. این نوع از شبکه‌ها بدون هیچگونه ساختار مشخصی برپا می‌شوند و اکثراً در جنگ‌های نظامی، عملیات نجات در مناطق آسیب دیده، کنفرانس‌ها و... کاربرد بسیار دارند. با توجه به ویژگیهای موجود در این نوع از شبکه‌ها، پروتکل‌های مسیریابی متعددی ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان به پروتکل AODV [2]^۲ اشاره نمود. هدف ما در این مقاله، بهبود کارایی پروتکل مسیریابی AODV، با استفاده از پیشگویی پایداری لینک‌ها در محیط‌های شهری توسط مکانیزم پیام Hello می‌باشد. برای آنکه بتوانیم محیط شهر را مدل‌سازی نماییم، از مدل تحرک Manhattan برای نحوه حرکت نودها استفاده کرده‌ایم. نتایج شبیه‌سازی ثابت می‌کند که الگوریتم جدید در اکثر موارد، بهتر از الگوریتم AODV کلاسیک عمل می‌کند.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های موردی سیار، Ad Hoc، الگوریتم‌های مسیریابی، پروتکل AODV، پیشگویی، مدل تحرک، Manhattan، پایداری لینک

۱- مقدمه

گره سیار تنها مانند یک میزبان عمل نمی‌کند، بلکه مانند یک مسیریاب عمل می‌کند و گره‌ها خود، مسئول انتقال بسته‌ها به سایر گره‌های سیار موجود در شبکه می‌باشند. غالباً توپولوژی شبکه سیار موردی از گره‌هایی تشکیل می‌شود که به طور پویا و مداوم به شبکه وارد و یا خارج می‌شوند. هیچ کنترل مرکزی یا ساختار بندی ثابتی برای پشتیبانی پیکربندی شبکه و یا پیکربندی دوباره شبکه وجود ندارد [1]. این شبکه‌ها بطور کلی ترکیبی از گره‌های یکسان می‌باشند که بدون هیچگونه کنترل مرکزی و بصورت بدون سیم با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند.

به علت طبیعت ناپایدار شبکه‌های موردی سیار، مساله کشف و نگهداری مسیر از اهمیت خاصی در این شبکه‌ها برخوردار است. دو عامل فقدان پهنای باند زیاد و

امروزه شبکه‌های بی‌سیم به دلیل کاربردهای وسیعی که دارند و همچنین سرویس‌هایی که ارائه می‌دهند، رشد چشمگیری داشته‌اند. این شبکه‌ها در حال توسعه سریعی هستند و سرویس‌های ارائه شده نیز روز به روز بهتر و بیشتر می‌شوند. از نظر معماری، شبکه‌های بی‌سیم به دو دسته شبکه‌های با زیرساختار و شبکه‌های بدون زیرساختار تقسیم می‌شوند. مشخصه کلی در شبکه‌های بی‌سیم این است که این شبکه‌ها احتیاج به محاسبات به منظور دستیابی گره‌ها به یکدیگر دارند. یک شبکه بدون زیرساخت یا شبکه سیار موردی تنها شامل گره‌های سیار است که بدون هیچ ایستگاه ثابت و اتصال سیمی برای مبادله اطلاعات و مدیریت شبکه بکار گرفته می‌شوند. هر

سرعت و انتخاب زمان توقف در مقصد همگی به صورت تصادفی انجام می‌شود [3]. در کنار مدل حرکتی RWP، مدل‌های حرکتی واقعی‌تری نیز پیشنهاد شده است. مثلاً برای مدلسازی حرکت وسایل موجود در جنگ و وارد کردن پارامترهای مربوط به آن، مدل تحرک RGM^۷ پیشنهاد شده است. اساس این مدل، حرکت گروهی تانک‌ها در میدان نبرد به سمت چند مقصد مشخص می‌باشد [4]. اخیراً مدل بزرگراهی^۸ و همچنین مدل تحرک Manhattan نیز معرفی شده‌اند که حرکت نودها در آنها به عرض خیابان محدود می‌شود [5]. در [6] به بررسی و تحلیل زمان پایداری مسیر تحت مدل‌های حرکتی متفاوت و تأثیر آن بر روی پروتکل‌های مسیریابی پرداخته شده است. در این مقاله متد جدیدی پیشنهاد شده است تا مقدار سرباره مسیریابی در الگوریتم AODV را در محیط شهری از طریق پیشگویی پایداری لینک‌ها کاهش دهد. با پیشگویی موقعیت‌های بعدی نودهای همسایه می‌توان تشخیص داد که کدام یک از آنها احتمال انقضای لینک با نود مبدأ را دارند لذا می‌توان آنها را از مجموعه همسایه‌های فعال خارج نمود. زیرا چنین همسایه‌هایی معمولاً سبب انتشار تعدادی پیام RREQ و به تبع آن پیام‌های RREP ناموفق در شبکه می‌شوند. برای این منظور از مدل تحرک Manhattan که سازگار با محیط یک شهر می‌باشد استفاده کرده‌ایم تا نتایج بدست آمده نزدیک به واقعیت باشد. قبلاً تحقیقات متعددی در این رابطه ارائه شده است که در ادامه به چند نمونه اشاره خواهیم کرد. در [7] الگوریتمی با نام AODV-AP ارائه شده است که با پیشگویی دسترس‌پذیری سایر نودها از طریق عملیات عادی مسیریابی و ذخیره آن در جداول مسیریابی، سبب کاهش تعداد کل دفعات کشف مسیر در شبکه و در نتیجه افزایش کارایی الگوریتم AODV گردیده است. در [8] یک الگوریتم بهبود یافته AODV با استفاده از مکانیزم پیام Hello در مدل تحرک RWP ارائه شده که با پیشگویی پایداری لینک مابین نودها، سبب کاهش سرباره مسیریابی شده است. در [9] الگوریتم مسیریابی جدیدی بر اساس پیشگویی حرکت نودها در محیط شهری ارائه

توان باتری محدود در هر گره، سبب می‌شود که به دنبال یک شیوه مسیریابی مقرون به صرفه باشیم. انتقال بسته‌ها در این شبکه، طی یک سری عملیات پیوسته ذخیره‌سازی و ارسال مجدد^۲، توسط مجموعه‌ای از گره‌های واسط و میانی صورت می‌گیرد و هدف از مسیریابی آن است که یک بسته داده بصورت مطمئن از مبدأ به مقصد انتقال یابد. علاوه بر این، کمینه کردن تأخیرها نیز، از دیگر اهداف مسیریابی می‌باشد. الگوریتم‌های مسیریابی متعددی برای این شبکه‌ها ارائه گردیده است که هر کدام دارای ویژگی‌ها، معایب و مزایای خاصی می‌باشند. از نقطه نظر شیوه برنامه‌ریزی، پروتکل‌های مسیریابی بر دو نوع مبتنی بر جدول^۴ و مبتنی بر تقاضا^۵ تقسیم می‌شوند. یکی از مشهورترین الگوریتم‌های مسیریابی برای شبکه‌های موردی سیار، الگوریتم AODV می‌باشد که توسط [2] Perkins پیشنهاد شده است. این الگوریتم مبتنی بر تقاضا بوده و جزو کارآمدترین الگوریتم‌های مسیریابی به شمار می‌رود.

یکی از مسایل مهمی که در شبکه‌های موردی سیار مطرح است، مدل‌های تحرک نودها در این شبکه‌ها می‌باشد. مدل‌های تحرک، وظیفه القای نحوه حرکت نودهای سیار را در یک شبکه موردی سیار به آنها بر عهده دارند. از آنجاییکه الگوهای حرکتی می‌توانند نقش مهمی در بهره‌وری یک پروتکل مسیریابی ایفا کنند، لذا هدف مدل‌های تحرک، تقلید الگوهای حرکتی در کاربردهای واقعی‌تر می‌باشد. تاکنون مدل‌های حرکتی گوناگونی جهت استفاده و مدلسازی شبکه‌های موردی سیار پیشنهاد شده است. معروفترین مدل حرکتی RWP^۶ است. در این مدل هر نود به صورت تصادفی نود دیگری را به عنوان مقصد انتخاب کرده و با یک سرعت ثابت که از محدوده بازه $[0, V_{max}]$ به صورت تصادفی انتخاب می‌کند، به طرف آن مقصد شروع به حرکت می‌کند. پس از رسیدن نود به مقصد به اندازه یک زمان تصادفی توقف کرده و سپس نود دیگری را به عنوان مقصد انتخاب کرده و همان فرآیند قبلی را تکرار می‌کند. در این مدل حرکتی، انتخاب مقصد بعدی، انتخاب

تعدادی از لینک‌ها یا مکانیزم‌های لایه شبکه را جهت انجام نگهداری مسیر استفاده کند. به عبارت دیگر، نود جاری تلاش می‌کند تا بداند که پرش^۹ بعدی به سمت مقصد در دسترس می‌باشد یا نه. در AODV، نگهداری مسیر معمولاً با الزام ارسال پیام Helloی دوره‌ای در فواصل زمانی مشخص توسط نودها به تمام همسایگان، انجام می‌پذیرد. عدم موفقیت یک نود در دریافت دو پیام Hello متوالی از جانب یک همسایه، چنین در نظر گرفته می‌شود که لینک مابین نود و آن همسایه منقضی شده است. سپس، یک پیام خطای مسیر (RRER) جهت آگاه‌سازی نودها از چنین شکست لینک ایجاد می‌گردد. چنانچه پیام RRER در طول مسیر پیش می‌رود، هر نود، جدول مسیریابی خود را با غیر معتبرسازی مسیر متناظر به‌روزرسانی می‌کند. در نهایت، مسیرهای شکسته شده، از جدول مسیریابی هر کدام از نودها حذف می‌گردند.

۳- مدل تحرک Manhattan

مدل تحرک Manhattan برای مدلسازی حرکت در یک منطقه شهری ارائه شده است. در مدل Manhattan نود سیار اجازه دارد در طول خیابانهای افقی یا عمودی روی نقشه شهر حرکت کند. در تقاطع یک خیابان عمودی و یک خیابان افقی، نود سیار می‌تواند به چپ یا راست بچرخد و یا مستقیم برود. از مهمترین مشخصه‌های این مدل استفاده از نقشه‌ها می‌باشد. نقشه‌ها دارای خیابانهای افقی و عمودی بوده و هر خیابان دارای دو گذرگاه در دو طرف می‌باشد و نودهای متحرک اجازه دارند که در این شبکه گذرگاهی حرکت کنند. سرعت یک نود متحرک در یک برش زمان بستگی به سرعت نود در زمان قبل دارد. سرعت یک نود بوسیله نودهای جلویی آن در گذرگاه مشابه محدود می‌شود. این مدل تحرک وابسته به فضای دو بعدی و زمان بوده و همچنین محدودیتهای جغرافیایی و محیطی را نیز در تحرک نودها در نظر می‌گیرد.

گردیده است که در اکثر موارد بهتر از سایر الگوریتم‌های مسیریابی عمل می‌کند. در [10] الگوریتم جدیدی مبتنی بر پیشگویی تحرک نودها با نام MAODV بر اساس الگوریتم AODV ارائه شده است که می‌تواند کشف، نگهداری و سوچ کردن مسیر را از طریق تخمین فاصله و جهت حرکت نودها، کنترل کند.

در بخش ۲ و ۳ این مقاله، مروری کوتاه بر الگوریتم AODV کلاسیک و همچنین مدل تحرک Manhattan انجام گرفته، سپس در بخش ۴ روش پیشنهادی جدید و ارزیابی کارایی آن ارائه شده و در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری انجام شده است.

۲- آشنایی با پروتکل AODV کلاسیک

پروتکل AODV یک الگوریتم مسیریابی پویا بر حسب تقاضا می‌باشد به نحوی که مسیریابی در آن به هنگام نیاز به مسیر جدید انجام می‌گیرد. زمانی که نود مبدأ نیاز به ارسال یک بسته داده به یک نود مقصد داشته باشد، چنانچه هیچگونه اطلاعات مسیریابی در جدول مسیریابی آن موجود نباشد، آنگاه یک فرآیند کشف مسیر به نود مقصد از طریق انتشار یک پیام درخواست مسیر (RREQ) انجام می‌گیرد. به محض دریافت یک پیام RREQ، هر نود ابتدا یک مسیر معکوس جهت برگشت به نود مبدأ ایجاد و یا به‌روزرسانی کرده و اگر چنانچه نود دریافت کننده، خود، مقصد نبوده و یا یک مسیر تازه به مقصد نداشته باشد، بسته RREQ را دوباره منتشر خواهد کرد. در غیر اینصورت یک بسته پاسخ مسیر (RREP) تولید شده و به نود مبدأ از طریق مسیر معکوس ارسال می‌گردد. بطور مشابه مسیر پیش‌رو به سمت مقصد نیز همچنین در دریافت یک بسته RREP به‌روزرسانی می‌شود. زمانی که RREP در نهایت به نود مبدأ می‌رسد، دوره کشف مسیر به اتمام رسیده و مسیر برقرار شده جدید، اکنون می‌تواند جهت ارسال بسته‌های داده منتظر در بافر استفاده شود.

زمانی که یک مسیر به سمت یک مقصد مشخص ایجاد می‌شود، هر نود در امتداد یک مسیر مشخص باید

۴- الگوریتم پیشنهادی

با توجه به اینکه نودها در شبکه‌های موردی سیار، مدام در حال حرکت می‌باشند و امکان دور شدن آنها از همدیگر و در نتیجه احتمال انقضای لینک مابین آنها، یعنی احتمال اینکه نودها از محدوده رادیویی همدیگر خارج گردند، وجود دارد. لذا دریافت کردن پیام Hello در زمان جاری از همسایگان، دلیل بر پایدار ماندن لینک نود با آن همسایگان در آینده‌ای مشخص نخواهد بود، زیرا ممکن است در فاصله زمانی مابین دو پیام Hello پشت سرهم و یا در آینده‌ای معین، لینک مابین دو نود منقضی شود. الگوریتم کلاسیک AODV بدون توجه به این موضوع، در هر بار نیاز به کشف مسیری، پیام درخواست مسیر را به تمام همسایه‌های خود ارسال می‌کند و همسایه‌ها نیز به همان نحو به تمام همسایه‌های خود و الی آخر؛ که این امر سبب انتشار حجم عظیمی از پیامهای درخواست مسیر در سطح شبکه می‌شود که بسیاری از آنها به دلیل عدم پایداری لینک مابین نودها، با شکست مواجه می‌شوند. بنابراین هر نود بهتر است که وضعیت پایداری لینک‌های خود را با همسایگانش برای مدت زمان مشخص بعدی پیشگویی کرده و ثبت کند تا از ارسال پیام‌های درخواست مسیر به نودهایی که احتمال انقضای لینک دارند، خودداری گردد.

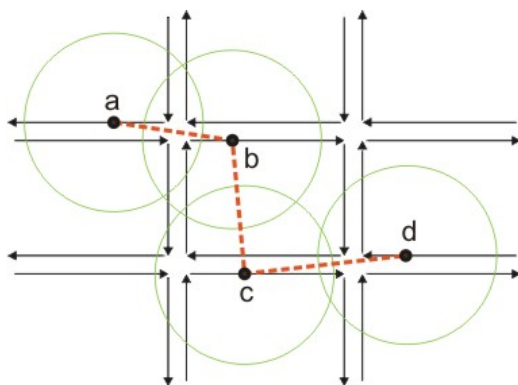
فرض بر این است که همه نودها مجهز به سیستم موقعیت‌یاب جهانی^{۱۰} بوده و در هر لحظه موقعیت جغرافیایی، سرعت و جهت حرکت خود را می‌دانند. زمانی که نودی پیام Hello می‌فرستد، این اطلاعات را نیز در فیلدهایی جداگانه در بسته پیام Hello به تمام نودهای همسایه خود ارسال می‌نماید. نودهای همسایه نیز پس از دریافت این اطلاعات، با توجه به روشی که در ادامه گفته خواهد شد، یک پیشگویی در مورد پایداری لینک رادیویی خود با همسایه‌ها انجام داده و پایداری یا عدم پایداری لینک خود با تمام نودهای همسایه را به صورت یک پارامتر عددی در جدولی ذخیره خواهند کرد. در این صورت، هر نود در هر لحظه می‌تواند تشخیص دهد که کدام یک از نودهای همسایه در آینده‌ای نزدیک از حالت

همسایه بودن خارج خواهند شد. نتایج این پیشگویی در جدولی بنام جدول پیشگویی در هر نود ذخیره می‌گردد. بنابراین، در صورت نیاز به کشف مسیری، نود به هنگام انتشار^{۱۱} پیام درخواست مسیر، با توجه به جدول پیشگویی خود، تعدادی از همسایه‌های خود را که امکان انقضای لینک تا پیدا شدن مسیر را دارند، از لیست ارسال پیام درخواست مسیر حذف کرده و تنها به نودهای همسایه‌ای که اطمینان از پایدار ماندن لینک آنها دارد، پیام RREQ را ارسال خواهد کرد. همسایه‌ها نیز به همان نحو، پیام درخواست مسیر را تنها به همسایه‌هایی که امکان پایدار بودن لینکشان پیش‌بینی شده است، ارسال خواهند کرد تا در نهایت پیام درخواست مسیر به نود مقصد برسد. در این حالت تعداد بسته‌های درخواست مسیر و پاسخ مسیر شناور در سطح شبکه که به دلیل شکست لینک‌ها، منتهی به کشف مسیر نمی‌شدند، کاهش پیدا کرده و در نهایت از میزان سرباره بوجود آمده بواسطه پیام‌های کشف و نگهداری مسیر، در یک عملیات مسیریابی کاسته خواهد شد.

۴-۱ نحوه پیشگویی

برای آنکه نحوه تحرک نودها تا حدودی نزدیک به واقعیت بوده و همچنین مسیر و جهت حرکت نودها بصورت سازمان‌یافته‌تری باشد، حرکت آنها را در محیط شهری بررسی خواهیم کرد؛ لذا الگوی حرکتی مورد استفاده ما، مدل تحرک Manhattan می‌باشد. برای اینکه در یک محیط شهری نودها بتوانند حرکت نودهای دیگر را مورد پیشگویی قرار دهند، در مرحله اول باید نقشه آن محیط شهری را تحلیل کرده و بصورتی قابل فهم در اختیار همه نودها قرار داد. نقشه شهر شامل خیابانهای افقی و عمودی به تعداد دلخواه است که در محل برخورد آنها تقاطع ایجاد می‌شود. نقشه را می‌توان به صورت یک فایل ساده متنی که دارای قالب مشخصی می‌باشد، نوشت. قوانین موجود برای ایجاد فایل مربوطه بدین صورت است که اطلاعاتی از قبیل تعداد و شماره خیابانهای عمودی و افقی، جهت حرکت در آنها، طول آنها، محل تقاطع آنها و

و d نشان داده شده است که دارای خیابانهای جهت‌دار و نیز تقاطع‌ها می‌باشد. نودهای متحرک ممکن است در وضعیت‌های مختلفی بر روی نقشه قرار گیرند. اگر هر کدام از دایره‌های کوچک روی نقشه را یک نود و هر کدام از دایره‌های بزرگ را محدوده رادیویی تحت پوشش آن نود در نظر بگیریم، آنگاه هر دو نود دلخواه بر روی نقشه که در محدوده رادیویی همدیگر قرار می‌گیرند تشکیل یک لینک داده و همسایه یکدیگر می‌شوند.



شکل ۳- نمونه یک نقشه از محیط شهر با تعدادی نود موجود در خیابانها

به عنوان مثال در نقشه شکل (۳)، نودهای a و b با هم، b و c با هم و c و d نیز با همدیگر تشکیل لینک داده و عبارتی همسایه همدیگر هستند که ارتباط آنها با نقطه-چین نمایش داده شده است. بنابراین با احتساب ترکیبات مختلف قرار گرفتن هر دو نود بر روی نقشه، امکان تشکیل تعداد زیادی لینک وجود خواهد داشت. ولی فقط تعداد محدودی از این لینک‌ها امکان ایجاد شدن و باقی ماندن می‌یابند و بقیه به علت افزایش بعد مسافت خارج از محدوده رادیویی مابین دو نود متحرک، احتمال شکسته شدن دارند. استفاده از لینک‌هایی که امکان شکسته شدن آنها وجود دارد، برای مسیریابی قابل اعتماد نبوده و ممکن است در زمان کشف مسیر یا در حین ارسال بسته‌ها باعث شکست مسیر شده و نرخ بسته‌های داده میرا و همچنین تعداد پیام‌های درخواست مسیر و پاسخ مسیر را در سطح شبکه افزایش دهند.

غیره وارد یک فایل متنی شده و در اختیار تمام نودها قرار می‌گیرد. با این روش می‌توان هر محیط شهری را با یک تقریب خوب و نزدیک به واقعیت، در قالب یک فایل متنی درآورد و به راحتی به منظور پیشگویی نودها، در اختیار آنها قرار داد. قالب ایجاد فایل متنی نقشه شهر به صورت شکل (۱) بوده و همچنین قسمتی از فایل متنی آماده مربوط به نمونه‌ای از نقشه یک شهر به صورت شکل (۲) می‌باشد.

```
HOR_STREET_NUM <num_of_horizontal_street>
VER_STREET_NUM <num_of_vertical_street>
LANE_NUM <overall_num_of_lanes>

LANE <street_id> <lane_id> <direction> <start_x0> <start_y0> <end_x0> <end_y0>
<total_number_of_crosspoints_in_this_lane> <vmin> <vmax>
CROSSPOINT <crosspoint_id> <street_id> <lane_id> <direction> <position_x> <position_y>
CROSSPOINT <crosspoint_id> <street_id> <lane_id> <direction> <position_x> <position_y>
...
LANE <street_id> <lane_id> <direction> <start_x0> <start_y0> <end_x0> <end_y0>
<total_number_of_crosspoints_in_this_lane> <vmin> <vmax>
CROSSPOINT <crosspoint_id> <street_id> <lane_id> <direction> <position_x> <position_y>
CROSSPOINT <crosspoint_id> <street_id> <lane_id> <direction> <position_x> <position_y>
...
```

شکل ۱- قالب فایل متنی نقشه شهر

```
HOR_STREET_NUM 2
VER_STREET_NUM 2
LANE_NUM 8
LANE 0 0 1 0.10 332.33 999.90 332.33 4 1.00 10.00
CROSSPOINT 0 2 0 1 332.33 332.33
CROSSPOINT 1 2 1 -1 333.33 332.33
CROSSPOINT 2 3 0 1 665.67 332.33
CROSSPOINT 3 3 1 -1 666.67 332.33
LANE 0 1 -1 999.90 333.33 0.10 333.33 4 1.00 10.00
CROSSPOINT 0 3 1 -1 666.67 333.33
CROSSPOINT 1 3 0 1 665.67 333.33
CROSSPOINT 2 2 1 -1 333.33 333.33
CROSSPOINT 3 2 0 1 332.33 333.33
LANE 1 0 1 0.10 665.67 999.90 665.67 4 1.00 10.00
CROSSPOINT 0 2 0 1 332.33 665.67
CROSSPOINT 1 2 1 -1 333.33 665.67
CROSSPOINT 2 3 0 1 665.67 665.67
CROSSPOINT 3 3 1 -1 666.67 665.67
```

شکل ۲- قسمتی از فایل متنی نقشه مورد استفاده در مدل منهدن

امکان اینکه نودها وسایل حرکتی متفاوت و با سرعت‌های مختلفی باشند، بسیار زیاد است. اما فرض بر این است که هر کدام از نودها دارای سرعت مشخص و ثابتی بوده و یک نود در کل زمان حرکتش امکان تغییر سرعت ندارد. لذا با توجه به اینکه سرعت، جهت حرکت و موقعیت فعلی هر وسیله هم در اختیار خود آن وسیله و هم در اختیار همسایه‌های آن قرار خواهد گرفت، لذا نودها به سادگی می‌توانند موقعیت جغرافیایی خود و همسایه خود را پس از گذشت زمان معینی تخمین زده و بر این اساس، فاصله را محاسبه کنند.

در شکل (۳) بخشی از نقشه ساده مربوط به یک محیط شهری با در نظر گرفتن چهار نود متحرک a, b, c

$$\sqrt{(x_{11}-x_{21})^2+(y_{11}-y_{21})^2}$$

(۱) فاصله ما بین موقعیت بعدی نود u و موقعیت بعدی اول نود v

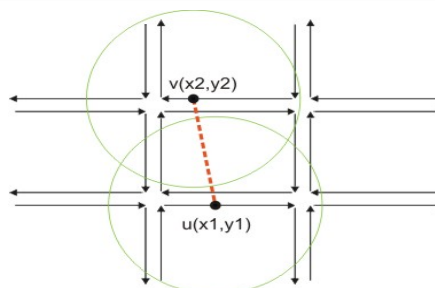
$$\sqrt{(x_{11}-x_{22})^2+(y_{11}-y_{22})^2}$$

(۲) فاصله ما بین موقعیت بعدی نود u و موقعیت بعدی دوم نود v

$$\sqrt{(x_{11}-x_{23})^2+(y_{11}-y_{23})^2}$$

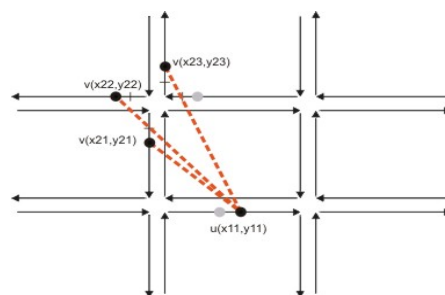
(۳) فاصله ما بین موقعیت بعدی نود u و موقعیت بعدی سوم نود v

هر کدام از این فاصله‌ها چنانچه کمتر از شعاع ارسال رادیویی نودها (R) باشند، بدین مفهوم است که دو نود در موقعیت‌های بعدی‌شان در محدوده رادیویی هم قرار خواهند گرفت. بنابراین اگر فاصله مستقیم مابین موقعیت بعدی نود u با هر کدام از سه موقعیت بعدی نود v کمتر از R باشد، به این معنی است که در هر سه حالت در محدوده رادیویی همدیگر قرار دارند و این یعنی اینکه لینک نود u و v ، حداقل به اندازه زمان t ماندگار است. پس نود u فیلد پیشگویی مربوط به نود v را در جدول پیشگویی خود برابر با 1 قرار خواهد داد. اما چنانچه فاصله حداقل یکی از سه موقعیت بعدی نود v با موقعیت بعدی نود u بیشتر از R باشد، امکان انقضای لینک وجود دارد. لذا نود u فیلد پیشگویی مربوط به نود v را در جدول پیشگویی خود برابر با 0 قرار خواهد داد. نودهای دیگر نیز همین پروسه را برای نودهای همسایه خود انجام داده و فیلدهای مربوطه را در جدول پیشگویی خود درج خواهند کرد. به این ترتیب کلیه نودها، در هر لحظه در جدول پیشگویی خود وضعیت پایداری لینک مابین خود و تمام همسایگان‌شان را تا پیام Hello بعدی و یا هر مقطع زمانی مشخص t ، خواهند داشت. این عملیات به صورت پربودیک بلافاصله بعد از دریافت هر پیام Hello از طرف همسایگان، انجام شده و جدول پیشگویی هر نود به‌روز-رسانی می‌شود.



شکل ۴- نقشه قبل از پیشگویی

برای نمونه، در شکل (۴) یک لینک ارتباطی بین نود u و v برقرار شده است که با نقطه‌چین مشخص شده است. به عبارت دیگر دو نود u و v در حال حاضر همسایه همدیگر هستند؛ زیرا در محدوده رادیویی همدیگر قرار دارند. مختصات نود u را (x_1, y_1) و مختصات نود v را (x_2, y_2) در نظر می‌گیریم. با فرض اینکه v و u به ترتیب با سرعت‌های v_1 و v_2 در واحد زمان حرکت کنند (به طوریکه سرعت v_1 در حدود 4 برابر سرعت v_2 می‌باشد) پس از گذشت زمان مشخص t (مثلاً مدت زمان مابین دو پیام Hello)، با توجه به فرمول سرعت ($V=X/T$) وضعیت قرار گرفتن نودها در موقعیت‌های جدید در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- وضعیت قرارگیری نودها در مکان‌های جدید روی نقشه بعد از گذشت زمان مشخص t

همانگونه که در شکل مشخص است وضعیت قرارگیری نود v در یکی از سه موقعیت بعدی و وضعیت قرارگیری نود u در یک موقعیت بعدی پیش‌بینی می‌شود. اکنون با توجه به موقعیت‌های بعدی نودهای u و v ، نود u به سادگی می‌تواند فاصله مستقیم مابین موقعیت بعدی خود و سه موقعیت بعدی نود v را با استفاده از فرمول‌های (۱)، (۲) و (۳) محاسبه نماید:

۲-۴ مشخصات جدول پیشگویی

هر سطر در جدول پیشگویی یک نود، شامل مشخصات مربوط به لینک آن نود با یکی از همسایه‌های فعلی آن است. مشخصات هر لینک شامل آدرس IP نود همسایه مربوطه به علاوه یک عدد صحیح 1 یا 0 که نشان‌گر وضعیت پایداری آن لینک است، می‌باشد. بنابراین جدول پیشگویی هر نود شامل رکوردهایی با دو فیلد «آدرس IP همسایه» و «وضعیت پایداری لینک آن همسایه» می‌باشد که مقدار فیلد وضعیت پایداری لینک 1 یا 0 می‌باشد، به ترتیب نشان‌دهنده پایداری و عدم پایداری لینک نود مبدأ با همسایه مربوطه می‌باشد.

جدول ۱- نمونه‌ای از جدول پیشگویی یک نود

192.168.0.2	1
192.168.0.3	1
192.168.0.4	0
192.168.0.5	1

بعنوان مثال اگر چهار سطر جدول (۱) رکوردهای جدول پیشگویی نود مبدأ با آدرس IP برابر با 192.168.0.1 باشد، فیلد آدرس‌های IP که به 2، 3، 4 و 5 منتهی می‌شوند، نودهای همسایه‌ای هستند که با نود مبدأ در ارتباط می‌باشند و فیلد وضعیت پایداری لینک نود مبدأ با نودهای همسایه، عددی است که در فیلد بعدی رکورد ذکر شده است. در این مثال مقدار فیلد وضعیت پایداری لینک نود مبدأ با نود با آدرس IP برابر با 192.168.0.4، عدد 0 می‌باشد، یعنی امکان انقضای لینک با آن همسایه وجود دارد.

رکوردهای جدول پیشگویی در هر بار ارسال پیام Hello جدید و گرفتن پاسخ از همسایه‌ها به روزرسانی شده و رکوردهای اضافی که مربوط به لینک‌های منقضی می‌باشد، حذف خواهند شد. اگر وضعیت نودهای همسایه فعلی تغییر پیدا کند، آن تغییرات در رکورد مربوط به آن همسایه اعمال شده و اگر چنانچه همسایه جدیدی پیدا شود، یک رکورد جدید در جدول پیشگویی نود برای آن همسایه ایجاد خواهد شد. حتی در صورت حذف شدن همسایه‌ای بدلیل انقضای لینک، رکورد مربوط به آن

همسایه از جدول پیشگویی نود حذف خواهد شد تا اطلاعات زاید، باعث رشد نابسامان جدول پیشگویی و در نتیجه بوجود آمدن سرباره ناشی از حفظ آن نگردند.

۳-۴ نحوه عملکرد الگوریتم AODV پس از اعمال روش پیشنهادی جدید

همانگونه که قبلاً اشاره گردید، هر نود در هر لحظه می‌تواند پیشگویی کند که کدام یک از نودهای همسایه در آینده‌ای نزدیک از حالت همسایه بودن خارج خواهند شد و لذا نتایج این پیشگویی در جدول پیشگویی هر نود قرار خواهد گرفت. بنابراین، در صورت نیاز به کشف مسیر جدیدی به یک نود مقصد، نود مبدأ به هنگام انتشار پیام درخواست مسیر، با توجه به جدول پیشگویی خود، از ارسال این پیام به تعدادی از همسایه‌های خود که دارای فیلد وضعیت پایداری لینک با مقدار صفر می‌باشند - یعنی امکان انقضای لینک با وی را دارند - خودداری کرده و تنها به نودهای همسایه‌ای که اطمینان از پایدار ماندن لینک آنها دارد، پیام RREQ را ارسال خواهد کرد. همسایه‌ها نیز به همان نحو، پیام درخواست مسیر را تنها به همسایه‌هایی که امکان پایدار بودن لینکشان وجود دارد، ارسال خواهند کرد تا در نهایت پیام به نود مقصد برسد. در این حالت تعداد بسته‌های درخواست مسیر و پاسخ مسیر شناور در سطح شبکه که به دلیل شکست لینک، منتهی به کشف مسیر نمی‌شدند، کاهش پیدا کرده و در نهایت از میزان سرباره بوجود آمده بواسطه پیام‌های کشف و نگهداری مسیر، در یک عملیات مسیریابی کاسته خواهد شد. ذکر این نکته ضروری است که خود جدول پیشگویی و همچنین انجام فرآیند الگوریتم پیشگویی نیز دارای سرباره می‌باشند اما با توجه به نتایج شبیه‌سازهای انجام شده، نسبت این سرباره در مقایسه با نتیجه حاصل از بهبود الگوریتم، ناچیز می‌باشد.

۴-۴ ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

۴-۴-۱ پارامترهای شبیه سازی

همه شبیه‌سازی‌ها برای روش پیشنهادی به وسیله شبیه‌ساز شبکه [11,12] Glomosim اجرا شده‌اند. مدل

- شبیه‌سازی با سرعت‌های مختلف نودها

در این حالت تعداد نودها ۵۰ و اندازه محیط ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است. اما سرعت نودها از ۰ تا ۱۰ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد. بدین نحو که شبیه‌سازی‌های مختلف با سرعت صفر، مابین ۰ و ۲، مابین ۲ و ۴ و الی آخر انجام گرفته است.

- شبیه‌سازی با تعداد مختلف نودها:

در این حالت اندازه محیط ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر و سرعت حرکت نودها مابین ۰ و ۳ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است ولی تعداد نودها در شبیه‌سازی‌های مختلف از ۲۰ نود تا ۷۰ نود متغیر است.

- شبیه‌سازی در اندازه‌های مختلف محیط

در این حالت نیز تعداد نودها ثابت و برابر ۵۰ در نظر گرفته شده و سرعت نودها نیز مابین ۰ تا ۳ متر بر ثانیه است. اما اندازه محیط از ۸۰۰ متر در ۸۰۰ متر تا ۱۸۰۰ متر در ۱۸۰۰ متر در شبیه‌سازی‌های مختلف، متغیر است.

۴-۳-۴ متریک‌های شبیه‌سازی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم AODV کلاسیک، متریک‌های مختلف، در حالت‌های مختلف شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این شبیه‌سازی‌ها متریک‌هایی که برای ارزیابی کارایی پروتکل مسیریابی بررسی شده‌اند، عبارتند از:

- نرخ دریافت بسته داده: تعداد بسته‌های داده

دریافت شده در مقصدهای مورد نظر

- سرباره مسیریابی: تعداد انتقالات بسته‌های

کنترلی لایه شبکه.

- تأخیر انتها به انتها: زمان انتقال انتها به انتها

برای بسته‌های داده. این مقدار شامل تأخیرهایی است که به سبب مسیریابی ایجاد شده‌اند.

- متوسط لینک‌های شکسته شده: متوسط

لینک‌های شکسته شده برای همسایه‌های هر نود

در سرتاسر شبیه‌سازی.

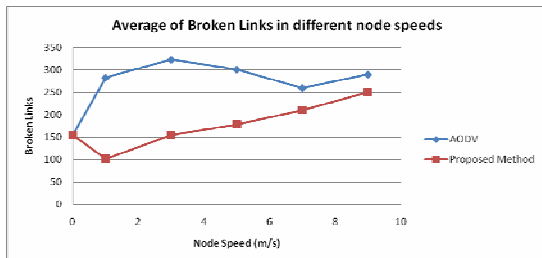
تحرك مورد استفاده، مدل Manhattan می‌باشد. محیط شبیه‌سازی با ابعاد مختلف از $800m \times 800m$ تا $1600m \times 1600m$ در شبیه‌سازی‌های مختلف در نظر گرفته شده است و حداقل رنج رادیویی هر نود 250 m است. مدل انتشار two-ray path loss می‌باشد. در لایه MAC، پروتکل MACA استفاده می‌شود و پهنای باند 2 mbps است. سرعت تحرك نودها را بین 0m/s تا 10m/s انتخاب کرده- ایم که در شبیه‌سازی‌های مختلف با سرعت‌های متفاوت در نظر گرفته شده است. زمان توقف نودها به صورت تصادفی بین ۱۰ تا ۳۰۰ ثانیه انتخاب شده و تعداد نودها نیز در شبیه‌سازی‌های مختلف به صورت متغیر از ۲۰ نود تا ۷۰ نود، در نظر گرفته شده است. هر نقطه از نمودارها از میانگین ۳۰ بار اجرای شبیه‌سازی با نودهای توزیع شده در موقعیت‌های اولیه متفاوت بدست آمده است.

بعد از توزیع اولیه نودها به صورت تصادفی در محیط شبیه‌سازی، نودها به مدت ۶۰ ثانیه حرکت می‌کنند تا در سرتاسر محیط شبیه‌سازی توزیع شوند. سپس ۲۰ جلسه داده^{۱۲} شروع می‌شود. اندازه هر بسته داده ۵۱۲ بایت بوده و نرخ ارسال ۴ بسته بر ثانیه است. ماکزیمم تعداد بسته‌ها که می‌تواند در هر نشست داده ارسال شود ۶۰۰۰۰ است. از این رو یک توده ۶۰۰۰۰ بسته‌ای می‌تواند به وسیله ۲۰ مقصد انتخاب شده دریافت شود. ۲۰ مبدأ و ۲۰ مقصد به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. حرکت در طول شبیه‌سازی برای یک پریود ۱۸۰۰ ثانیه‌ای ادامه می‌یابد. تمام جلسات داده از مدل ترافیک CBR (نرخ بیت ثابت) استفاده می‌کنند و تعداد نودهای کلاینت و سرور به صورت تصادفی انتخاب شده است.

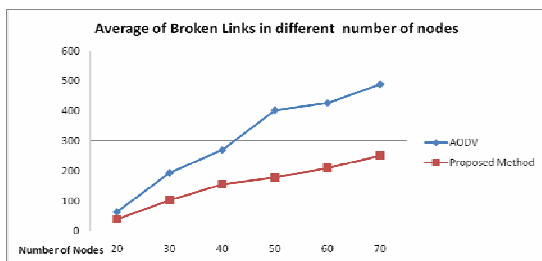
۴-۲-۴ حالت‌های شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌های روش پیشنهادی بر اساس ویژگی‌های نودها و محیط، در سه حالت مختلف زیر انجام گرفته است.

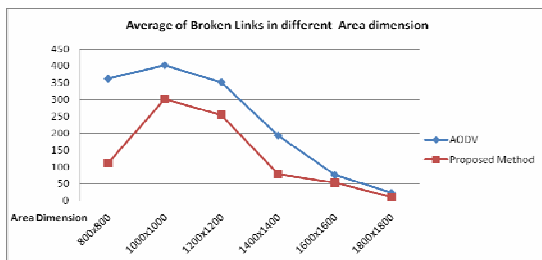
لینک‌ها پس از پیشگویی انجام می‌پذیرد، لذا معمولاً از ایجاد لینک‌های ناپایدار احتمالی جلوگیری می‌شود و در نتیجه میانگین شکست لینک کمینه می‌گردد.



شکل ۷- متوسط شکست لینک در سرعت‌های مختلف نودها



شکل ۸- متوسط شکست لینک در تعداد مختلف نودها

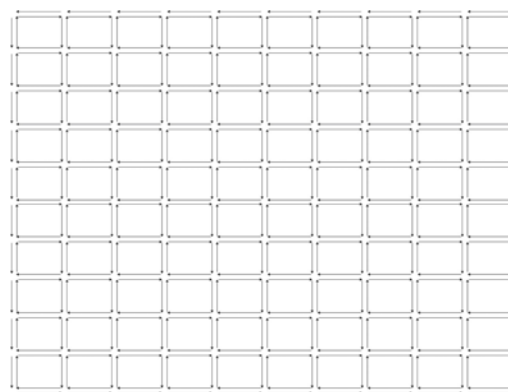


شکل ۹- متوسط شکست لینک در اندازه‌های مختلف محیط

نرخ دریافت بسته داده

نرخ دریافت بسته داده در حالات متفاوت شبیه سازی با سرعت‌های مختلف نودها، با تعداد مختلف نودها و در اندازه‌های مختلف محیط به ترتیب در نمودار شکلهای (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در روش پیشنهادی بدلیل اینکه مسیرهای پایدارتری ایجاد شده است نرخ دریافت داده در همه حالات بصورت کاملاً محسوسی افزایش پیدا کرده

شکل (۶) نمونه‌ای از سناریوی شبکه‌ای را که برای ارزیابی روش پیشنهادی انتخاب کرده‌ایم، نشان می‌دهد. ما در واقع محیطی را به منظور به وجود آوردن یک محیط شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت مدل‌سازی می‌کنیم. این محیط شامل بلوک‌های مختلف می‌باشد که مابین آنها خیابانهای طولی و عرضی وجود دارد. اندازه طول هر کدام از بلوک‌ها ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر می‌باشد، بنابراین طول هر خیابان که بین دو تقاطع قرار گرفته است، ۱۰۰ متر خواهد بود. بعنوان مثال زمانی که اندازه محیط را ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر در نظر می‌گیریم، شکل محیط به صورت شکل (۶) خواهد شد.



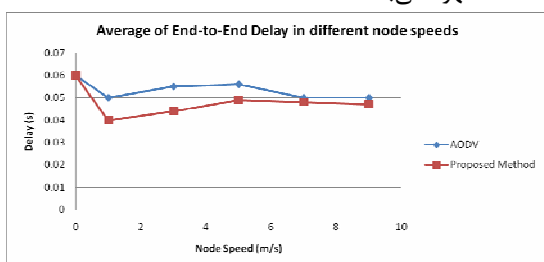
شکل ۶- نمونه‌ای از محیط شبیه سازی با الگوی تحرک Manhattan در ابعاد ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر

۴-۴-۴ نتایج شبیه سازی‌ها

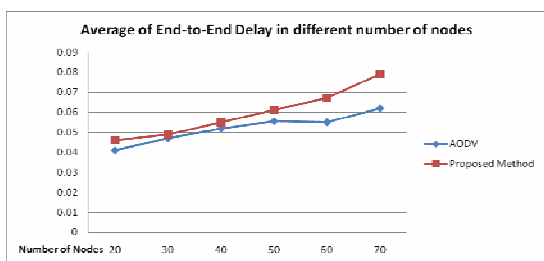
متوسط شکست لینک

متوسط لینک‌های شکسته شده برای همسایه‌های هر نود در شبیه‌سازی‌های متفاوت، با سرعت‌های مختلف نودها، با تعداد مختلف نودها و در اندازه‌های مختلف محیط، به ترتیب در نمودار شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در الگوریتم پیشنهادی، لینکهای کمتری نسبت به الگوریتم اصلی در همه حالات شکسته شده‌اند. این موضوع اشاره به این نکته مهم دارد که با استفاده از روش پیشنهادی جدید، فقط لینکهایی ایجاد شده‌اند که پایداری آنها تضمین شده است. بنابراین با توجه به آنکه برقراری

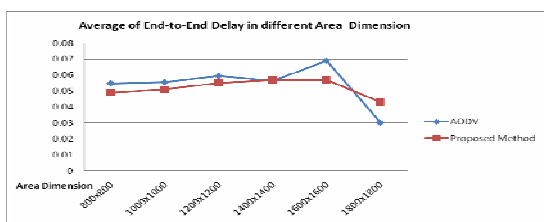
(۱۳)، (۱۴) و (۱۵) مورد ارزیابی قرار گرفته است. همانطور که در نمودارها مشخص است، در اکثر نقاط تأخیر انتها به انتها تقریباً با الگوریتم AODV کلاسیک یکسان بوده و حتی در سرعت‌های پایین، این تأخیر کمتر نیز می‌باشد. زیرا مسیرهای پایدارتری انتخاب شده‌اند و در طول جلسه داده، لینک‌های کمتری شکسته شده و این امر سبب کاهش تأخیر انتها به انتها می‌گردد. در روش پیشنهادی قسمتی از تأخیر می‌تواند بدلیل سرباره انتخاب همسایگان نیز باشد. این مساله تقریباً در نمودار هر سه حالت مشهود می‌باشد.



شکل ۱۳- متوسط تأخیر انتها به انتها در سرعت‌های مختلف نودها

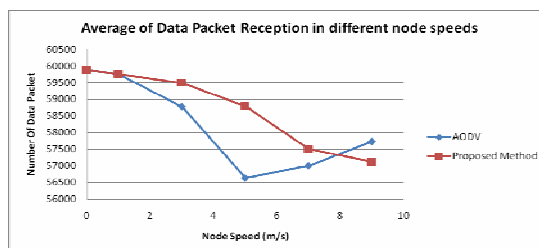


شکل ۱۴- متوسط تأخیر انتها به انتها در تعداد مختلف نودها

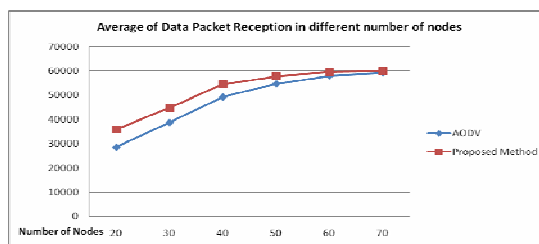


شکل ۱۵- متوسط تأخیر انتها به انتها در اندازه‌های مختلف محیط

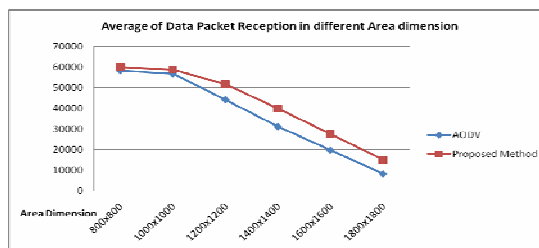
است. در الگوریتم AODV کلاسیک که درصد وجود لینک‌های ناپایدار بالا می‌باشد، احتمال شکسته شدن مسیر در حین انتقال داده نیز بالا می‌رود و لذا نرخ دریافت بسته‌های داده کاهش پیدا می‌کند. اما با توجه به پایدارتر بودن مسیرها در روش پیشنهادی، نرخ بسته‌های داده‌ای که به طور کامل به مقصد می‌رسند افزایش پیدا می‌کند زیرا مسیرها جهت ارسال بسته‌ها تا حدودی، تضمین بالاتری دارند.



شکل ۱۰- متوسط نرخ دریافت بسته داده در سرعت‌های مختلف نودها



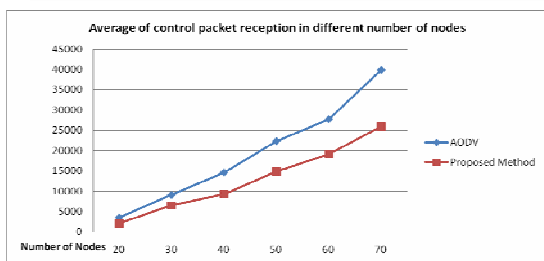
شکل ۱۱- متوسط نرخ دریافت بسته داده در تعداد مختلف نودها



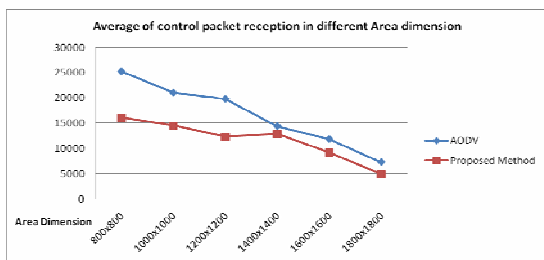
شکل ۱۲- متوسط نرخ دریافت بسته داده در اندازه‌های مختلف محیط

متوسط تأخیر انتها به انتها

متوسط تأخیر انتها به انتها در حالات متفاوت شبیه-سازی با سرعت‌های مختلف نودها، با تعداد مختلف نودها و در اندازه‌های مختلف محیط مطابق نمودار شکل‌های



شکل ۱۷- متوسط سرباره مسیریابی در تعداد مختلف نودها



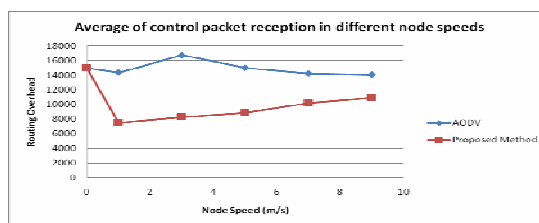
شکل ۱۸- متوسط سرباره مسیریابی در اندازه‌های مختلف محیط

۵- نتیجه‌گیری

بخش اعظمی از سرباره مسیریابی در پروتکل AODV، مربوط به بسته‌های پیام RREQ و RREP می‌باشد که به جهت کشف مسیر در سطح شبکه انتشار پیدا می‌کنند. اما تعداد زیادی از این بسته‌های حاوی پیام، به دلیل شکست مسیرها، منجر به کشف مسیر نشده و بطور شناور در شبکه انتقال پیدا کرده و در نهایت حذف می‌شوند. برای جلوگیری از انتشار پیام‌های درخواست مسیر که احتمال از بین رفتن آنها وجود دارد، روشی ارائه گردید که با استفاده از مکانیزم پیام Hello، الگوریتم AODV را در محیط شهری، قبل از ارسال پیام‌های درخواست مسیر، قادر به شناسایی همسایگان با لینک پایدار کرده و انتشار پیام‌های درخواست مسیر را تنها به آن همسایگان میسر می‌سازد. این امر از توزیع حجم عظیمی از پیام‌های ناموفق در سطح شبکه جلوگیری می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش جدید سرباره الگوریتم AODV را به میزان قابل توجهی کاهش داده و متوسط پارامترهای تأخیر انتها به انتها، شکست لینک و نرخ دریافت بسته داده را نسبت به الگوریتم AODV کلاسیک بهبود می‌بخشد.

سرباره مسیریابی

سرباره مسیریابی شامل تعداد بسته‌های درخواست مسیر و پاسخ آن و نیز بسته‌های Hello می‌باشد که در حالات متفاوت شبیه‌سازی با سرعت‌های مختلف نودها، با تعداد مختلف نودها و در اندازه‌های مختلف محیط مطابق نمودار شکل‌های (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در الگوریتم پیشنهادی تعداد بسته‌های کنترلی به صورت چشمگیری در هر سه حالت کاهش پیدا کرده است. این بدان دلیل است که در الگوریتم جدید به دلیل پیشگویی لینک مابین نود مبدأ و همسایگان آن در زمانهای بعدی، تعدادی از همسایگان از لیست ارسال پیام‌های درخواست مسیر حذف می‌شوند، لذا تعداد بسته‌های درخواست مسیر و پاسخ مسیر شناور در سطح شبکه که به دلیل شکست لینک، منتهی به کشف مسیر نمی‌شدند، کاهش پیدا کرده و در نهایت از میزان سرباره بوجود آمده بواسطه پیام‌های کشف و نگهداری مسیر، در یک عملیات مسیریابی کاسته خواهد شد. با توجه به آنکه در سرعت‌های بالای نودها، احتمال بروز خطا در پیشگویی بالا می‌رود، لذا بازده الگوریتم پیشنهادی هر قدر که سرعت نودها پایین‌تر باشد، بیشتر خواهد بود. در حالت کلی الگوریتم پیشنهادی ما در سرعت‌های تحرک پایین دارای کارایی بالاتری نسبت به سرعت‌های تحرک بالا می‌باشد.



شکل ۱۶- متوسط سرباره مسیریابی در سرعت‌های مختلف نودها



۶- مراجع

- [1] C. Siva Ram Murthy and B.S. Manoj, "Ad Hoc wireless networks architectures and protocols", PRENTICE HALL, 2004.
- [2] C. E. Perkins, E. M. Royer, "Ad Hoc on demand distance vector routing", In Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100, 1999.
- [3] J. Broch, D.A. Maltz, D.B. Johnson, Y.C. Hu, J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", Proceedings of ACM MobiCom, pp. 85-97, 1998.
- [4] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, C.C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks", Proceedings of ACM/IEEE MSWiM, pp. 53-60, 1999.
- [5] F. Bai, N. Sadagopan, A. Helmy, "A framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for ad hoc networks", Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 825-835, 2003.
- [6] N. Sadagopan, F. Bai, B. Krishnamachari, A. Helmy, "PATHS: Analysis of path duration statistics and their impact on reactive MANET routing protocols", Proceedings of ACM MobiCom, pp. 245-256, 2003.
- [7] H. Rehman and L. Wolf, "Performance Enhancement in AODV with Accessibility Prediction", 3rd International Workshop on Localized Communication and Topology Protocols for Ad hoc Networks, 2007.
- [8] L. Chao, H. Aiqun, "Reducing the message overhead of AODV by using link availability prediction", MSN, pp. 113-122, 2007.
- [9] M. Chegin, M. Fathy, "Optimized routing based on mobility prediction in wireless mobile Ad hoc networks for urban area", ITNG, pp. 390-395, 2008.
- [10] M. Limin, F. Weihuang, X. Zhijiang, Z. Jiangxing, H. Jingyu, "A novel Ad hoc routing protocol based on mobility Prediction", Information Technology Journal, vol. 7, pp. 537-540, 2008.
- [11] X. Zeng, R. Bagrodia and M. Gerla, "GloMoSim: A library for parallel simulation of large-scale wireless networks", In PADS '98, 1998.
- [12] <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosim.html>

زیر نویس ها

1. Mobile Ad hoc Network (MANET)
2. Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing
3. Retransmission
4. Proactive (Table Driven)
5. Reactive (On-Demand)
6. Random Way Point
7. Reference Point Group Model
8. Freeway Mobility Model
9. Hop
10. GPS