

یک روش جدید برای انتخاب مسیر بهینه در الگوریتم AODV با استفاده از معیارهای چندگانه

رضا قنبرزاده^۱؛ محمدرضا میبیدی^۲

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 [۲] AODV^۲ اشاره نمود.

در این مقاله روش جدیدی برای بهبود مسیریابی در الگوریتم AODV با بکارگیری معیارهای چندگانه ارائه گردیده است، به نحوی که جهت پیدا کردن مسیر بهینه از نود مبدا به یک مقصد مشخص، علاوه بر بررسی معیار تعداد پرش^۳‌ها، معیارهای دیگری چون فاصله نود مبدا تا نود مقصد، انرژی نودهای مسیر و همچنین ترافیک داده‌ای موجود در مسیر را نیز بررسی کرده و مسیر بهینه را با در نظر گرفتن کلیه معیارهای فوق به صورت چند مسیره انتخاب کند. نتایج شبیه‌سازی ثابت می‌کند که الگوریتم جدید در اکثر موارد بهتر از الگوریتم کلاسیک AODV عمل می‌کند.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های موردی سیار، الگوریتم‌های مسیریابی، AODV، مسیر بهینه چندمعیاری، معیارهای چندگانه

A new method to find optimum path in AODV algorithm using multiple criteria

Reza Ghanbarzadeh; Mohammad Reza Meybodi

ABSTRACT

Mobile Ad hoc Network (MANET) is a multi-hop wireless network formed by a collection of mobile nodes without any fixed infrastructure. This type of networks set up without any specific structure and they often are used in military wars, rescue operations in damaged areas, conferences and Etc. Considering the features available in this type of networks, several routing protocols have been presented which AODV protocol can be noted.

In this paper a new method to improve AODV routing algorithm by using multiple criteria has been presented, so that to find the optimal path from a source node to a specific destination, addition to consider the Hop numbers, other criteria such as distance from source node to destination node, energy of route and data traffic of route also to review, and optimum path with regard to all the above criteria will be selected using multi-path routing. Simulation results prove that the new algorithm in most cases operates better than AODV classical algorithm.

KEYWORDS

MANET, Routing Algorithms, AODV, Multi-objective optimum path, multiple criteria

^۱ دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، هریس، ایران. ghanbarzadeh@herisiau.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران. mmeybodi@aut.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه شبکه‌های موردی سیار 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 هم روز بروز 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 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 [۱]. 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 برخوردار است. دو عامل فقدان پهنای باند زیاد و 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، 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 [۴]. یکی از مشهورترین الگوریتم‌های مسیریابی برای شبکه‌های موردی الگوریتم AODV می‌باشد که توسط [۲] Perkins پیشنهاد شده است. این الگوریتم مبتنی بر تقاضا بوده و جزو کارآمدترین الگوریتم‌های مسیریابی به شمار می‌رود.

مقالات متعددی در خصوص بهبود مسیریابی الگوریتم AODV و نیز استفاده از معیارهای متعدد در انتخاب مسیر بهینه در الگوریتم‌های مسیریابی، ارائه گردیده است. بعنوان مثال در [۶] یک روش جدید آگاه از انرژی نودها برای مسیریابی در AODV برای بهبود طول عمر شبکه ارائه شده است. در [۷] یک الگوریتم چند مسیره بر مبنای AODV ارائه شده است که بر اساس مسافت بین مبدأ و مقصد، مسیر بهینه را از میان چندین مسیر انتخاب می‌کند.

در این مقاله متد جدیدی پیشنهاد شده است تا نحوه عملکرد الگوریتم AODV را در انتخاب مسیر بهینه به صورت چند معیاری تغییر داده و برای ارسال بسته‌های داده، مسیری را انتخاب کند که با در نظر گرفتن چندین معیار، بهترین باشد. بدین صورت که در هنگام کشف مسیر معیارهای جدیدی از قبیل فاصله نود مبدأ تا نود مقصد، انرژی و ترافیک داده‌ای مسیر را نیز علاوه بر معیار تعداد پرش‌ها برای هر مسیر محاسبه نموده و مسیری را به عنوان مسیر بهینه انتخاب کند که با در نظر گرفتن همه معیارهای فوق بهترین باشد. سپس آن مسیر را در جدول مسیریابی ذخیره و یا به روز رسانی کند.

در بخش ۲ این مقاله، مروری کوتاه بر الگوریتم AODV کلاسیک انجام گرفته، در بخش ۳، الگوریتم پیشنهادی جدید، در بخش ۴ ارزیابی کارایی الگوریتم جدید و در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری ارائه گردیده 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 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 بعدی به طرف مقصد در دسترس می‌باشد یا نه. در AODV، نگهداری مسیر معمولاً با الزام ارسال پیام Hello دوره‌ای در فواصل زمانی مشخص توسط نودها به تمام

همسایگان‌شان، 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 خواهند شد [۳].

قالب پیام‌های RREQ و RREP مربوط به الگوریتم AODV کلاسیک در شکل ۱ (الف و ب) نشان داده شده است.

تعداد پرش‌ها	شماره درخواست	شماره دنباله مقصد	شماره دنباله مبدأ	آدرس نود مقصد	آدرس نود مبدأ
-----------------	------------------	----------------------	----------------------	------------------	------------------

شکل ۱-الف- قالب پیام RREQ

تعداد پرش‌ها	زمان حیات	شماره دنباله مقصد	آدرس نود مقصد	آدرس نود مبدأ
-----------------	--------------	-------------------	------------------	------------------

شکل ۱-ب- قالب پیام RREP

سطرهای جدول مسیریابی هر گره نیز دارای اطلاعاتی به صورت شکل ۲ می‌باشد.

تعداد پرش‌های لازم برای رسیدن به مقصد	ثبات‌های مسیریابی	زمان حیات	پرش بعدی به سمت مقصد	شماره دنباله مقصد	آدرس نود مقصد
--	----------------------	--------------	-------------------------	----------------------	------------------

شکل ۲- فیلدهای موجود در جدول مسیریابی هر نود

۳. روش پیشنهادی

الگوریتم کلاسیک AODV برای انجام عمل کشف مسیر، ابتدا یک بسته درخواست مسیر را به طور فراگیر در شبکه منتشر کرده و پس از انجام کشف مسیر جدید، آن را با مسیر قبلی موجود در جدول مسیریابی (در صورت وجود) مقایسه نموده و مسیری را که جدیدتر^۶ از مسیر قبلی بوده و نیز از لحاظ تعداد پرش‌ها کمتر از دیگری باشد، را به عنوان مسیر بهینه انتخاب و بسته داده را از طریق آن مسیر به مقصد ارسال می‌کند. اما همیشه مقایسه تعداد پرش‌ها، معیار سنجش کافی و دقیقی برای انتخاب مسیر بهینه نیست.

روش جدیدی که در این مقاله پیشنهاد شده است AODV را قادر می‌سازد تا علاوه بر اعمال یک روش مسیریابی چند-مسیره^۷، در طول فرآیند کشف مسیر معیارهای دیگری همچون انرژی نودهای مسیر، فاصله نود مبدأ تا نود مقصد، و ترافیک داده‌ای نودهای مسیر را نیز برای هر مسیر کشف شده محاسبه کرده و در نهایت مسیری که از نظر همه معیارهای ذکر شده بهینه باشد را بعنوان مسیر نهایی انتخاب و در جدول مسیریابی ذخیره کرده و بسته داده را از طریق آن مسیر به مقصد ارسال کند. در الگوریتم AODV جدول مسیریابی نود مبدأ زمانی به روزرسانی می‌شود که یکی از سه شرط زیر برقرار باشد :

(الف) اگر هیچ مسیر شناخته شده‌ای به مقصد نداشته باشد.

(ب) اگر شماره ترتیب مقصد بزرگتر از شماره‌ای باشد که در جدول مسیریابی برای آن مقصد درج شده است.

(ج) اگر شماره ترتیب یکسان باشد ولی مسیر جدید دارای تعداد پرش کمتری باشد.

در الگوریتم جدید علاوه بر بررسی موارد الف و ب، در قسمت ج، بجای بررسی تنها تعداد پرش‌ها، سه معیار دیگر نیز به همراه تعداد پرش‌ها، بررسی شده و مسیری که بلحاظ کلیه معیارهای ذکر شده، بهینه باشد را به عنوان بهترین مسیر در جدول مسیریابی به روزرسانی کند. در ادامه ابتدا به بررسی هر کدام از معیارهای جدید می‌پردازیم.

• معیار فاصله نودها

فرض بر این است که همه نودها مجهز به سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۸ بوده و در هر لحظه طول و عرض جغرافیایی خود را می‌دانند. هر نود شروع کننده ارسال پیام RREP، با ارسال طول و عرض جغرافیایی خود در فیلد جدیدی، به نود میانی بعدی در مسیر معکوس، آن نود را قادر می‌سازد تا فاصله خود و نود ارسال کننده را با استفاده از فرمول (۱) محاسبه کند. به این ترتیب مقدار فاصله نیز در هر پرش در فیلد جدید دیگری به نام فاصله، به نود میانی بعدی در مسیر معکوس ارسال می‌گردد. نود میانی بعدی نیز باز فاصله خود و نود ارسال کننده را محاسبه و با مقدار قبلی

این فیلد جمع و به نود میانی بعدی به سمت مبدا ارسال می‌کند. در نهایت حاصل جمع این معیار به نود مبدأ می‌رسد. بدین ترتیب در زمان رسیدن پیام RREP به نود مبدأ، نود مبدأ فاصله خود تا نود مقصد را برای مسیر مربوطه در اختیار خواهد داشت.

$$(1) \text{ فاصله ما بین دو نود} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

در فرمول فوق (x_1, y_1) طول و عرض جغرافیایی نود ارسال کننده پیام RREP بوده و (x_2, y_2) طول و عرض جغرافیایی نود میانی دریافت کننده آن پیام در هر پرش می‌باشد.

• معیار انرژی نودها

با فرض اینکه نودها کامپیوترهای کیفی و وسایل بی‌سیم قابل حمل می‌باشند، لذا دارای باتری و یا منابع انرژی اتمام پذیر بوده و احتمال کاهش و اتمام انرژی آنها وجود دارد. بنابراین ممکن است در یک مسیر یکی از نودها خاموش شده و سبب شکست مسیر گردد. لذا همانند معیار قبلی، با ارسال مقدار انرژی هر نود توسط فیلد جدیدی در پیام RREP و محاسبه مجموع انرژی نودهای مسیر به ترتیب از مقصد تا نود مبدأ در طول فرآیند کشف مسیر، می‌توان مقدار کل انرژی هر مسیر را بدست آورد. مقدار انرژی هر نود را می‌توان عددی مابین ۱ و ۱۰۰ در نظر گرفت که میزان ۱۰۰ به معنی کامل بودن انرژی و میزان ۱ به معنی اتمام انرژی آن نود می‌باشد. برای اینکار بدین صورت عمل می‌شود که مقدار این فیلد جدید در ابتدا در نود مقصد و یا هر نود میانی که شروع به ارسال پیام RREP ارسال می‌کند، برابر با مقدار انرژی آن نود می‌باشد. هر نود میانی دریافت کننده پیام RREP مقدار انرژی خود را بدان اضافه کرده و دوباره پیام را ارسال می‌کند. بدین ترتیب زمانی که پیام RREP به مبدأ می‌رسد، مجموع انرژی کل مسیر به صورت یک عدد ثابت محاسبه می‌شود.

• معیار ترافیک داده‌ای نودها

معیار دیگری که علاوه بر دو معیار فوق در نظر خواهیم گرفت، میزان ترافیک داده‌ای یک مسیر در شبکه می‌باشد. بدین نحو که هر نود می‌تواند فیلد جدیدی را در خود داشته باشد که به ازای هر بار ارسال بسته داده‌ای از خود آن نود و یا به عنوان یک نود میانی، به نودهای دیگر، یک واحد به مقدار آن فیلد افزوده شود، لذا مقدار این فیلد در هر زمان نشان دهنده تعداد بسته‌های داده‌ای است که تاکنون از طریق آن نود به نودهای دیگر ارسال شده است که می‌توان آن را میزان ترافیک داده‌ای آن نود در شبکه نام‌گذاری کرد. هر قدر یک نود از لحاظ موقعیت مکانی در مرکزیت شبکه قرار گرفته باشد، میزان ترافیک داده‌ای آن نود در شبکه بیشتر خواهد بود. در شرایط شلوغی شبکه و ترافیک بالای داده‌ها، باید از صف‌بندی در نودهای با ترافیک بالا استفاده شود که خود برای مسیریابی زمانگیر است. زیرا اگر تعداد بسته‌های ارسالی از این نود بالا باشد، بسته‌ها باید برای انتقال توسط این نود در صف قرار گیرند که این امر تا حدی زمانگیر است. از طرفی ممکن است در مدت زمان انتظار برای صف‌بندی تعدادی از لینک‌های پایدار، منقضی شوند. برای این معیار نیز همانند دو معیار فوق، مجموع مقدار این معیار می‌تواند توسط فیلد جدید ترافیک در پیام RREP در طول مسیر معکوس به نود مبدأ برسد.

۱.۳. عملکرد الگوریتم با اعمال روش پیشنهادی جدید

با بکارگیری متد جدید در الگوریتم AODV، در پیام پاسخ مسیر چهار فیلد به نامهای طول و عرض جغرافیایی، فاصله، انرژی و ترافیک اضافه می‌گردد. فیلد طول و عرض جغرافیایی جهت محاسبه فاصله مابین نودها و سه فیلد دیگر برای انتقال مقادیر معیارهای مربوطه مابین نودها می‌باشد. هر نود شروع کننده پیام RREP ابتدا مقادیر معیارهای خود را در فیلدهای مربوطه پیام پاسخ مسیر قرار داده و به نود میانی بعدی به سمت مبدا ارسال می‌کند. نود دریافت کننده RREP نیز مقادیر معیارهای خود را به هر کدام از مقادیر موجود اضافه کرده و دوباره به سمت نود میانی بعدی به سمت مبدا ارسال می‌دارد تا در نهایت به مبدا برسد. در این صورت، در هر نود میانی مقدار هر فیلد، حاصل جمع معیار مربوطه از نود مقصد تا آن نود میانی می‌باشد. در این شرایط زمانی که پیام RREP به مبدا می‌رسد، مبدا حاصل جمع مقادیر هر کدام از معیارهای فوق برای هر مسیر را در اختیار خواهد داشت. فیلد دیگری نیز در رکوردهای جدول مسیریابی ایجاد می‌گردد که مقدار آن برابر با حاصل جمع همه معیارها در کل مسیر می‌باشد. بنابراین ساختار پیام RREP و جدول مسیریابی به صورت شکل‌های ۳-الف و ب تغییر پیدا خواهد کرد.

انرژی	ترافیک	فاصله	طول و عرض جغرافیایی	تعداد پرش‌ها	زمان حیات	شماره دنباله مقصد	آدرس نود مقصد	آدرس نود مبدأ
-------	--------	-------	---------------------	--------------	-----------	-------------------	---------------	---------------

شکل ۳-الف- فیلدهای موجود در پیام پاسخ مسیر در روش جدید

مجموع فاصله و ترافیک و انرژی به صورت Weighted-Sum	تعداد پرشها تا مقصد	ثبات های مسیریابی	زمان حیات	پرش بعدی به سمت مقصد	شماره دنباله مقصد	آدرس نود مقصد
---	---------------------	-------------------	-----------	----------------------	-------------------	---------------

شکل ۳-ب- فیلدهای موجود در جدول مسیریابی هر نود در روش جدید

بنابراین با فرض اینکه مقادیر معیارهای جدید برای هر مسیر در اختیار نود مبدا می باشد، لذا واضح است که مسیری باید انتخاب گردد که از نظر هر چهار معیار بهینه باشد. عبارتی مسیری بهینه است که دارای فاصله، تعداد پرش و ترافیک کمتری، همچنین مقدار انرژی بیشتری نسبت به مسیرهای دیگر و یا مسیرهای قبلی پیدا شده، باشد. حال با این وجود، هر نود مبدأ در شبکه با در دست داشتن حاصل جمع هر کدام از چهار معیار فوق برای هر مسیر، می تواند با عمل یک روش بهینه Pareto، بهترین مسیر را انتخاب کند. برای اینکار AODV از یک روش چندمعیاری Weighted-Sum [۸] استفاده خواهد کرد.

با توجه به اینکه در سه معیار تعداد پرش، ترافیک و فاصله، کم بودن مقادیر به عنوان ایده آل بوده ولی در معیار انرژی بیشتر بودن مقدار آن ایده آل می باشد، لذا نیاز به اعمال تغییری در مقدار انرژی کل مسیر می باشیم. می توان مقدار آن را از مقدار ۱۰۰ (که مقدار حداکثر انرژی یک نود در نظر گرفته شده است) کم کرده و حاصل را به عنوان شاخص انرژی در نظر گرفت. با این تغییر هر قدر که انرژی بیشتر باشد اختلاف آن با مقدار ۱۰۰ کمتر خواهد بود. در واقع با این تغییر، کمینه بودن انرژی برای ما به ایده آل تبدیل خواهد شد. با فرض اینکه w_1 تعداد پرشها تا مقصد، w_2 میزان ترافیک مسیر، w_3 فاصله تا مقصد و w_4 مجموع انرژی نودهای مسیر باشد، با استفاده از روش Weighted-Sum معیار واحد (w_p) با استفاده از فرمول (۲) بدست خواهد آمد:

$$W_p = w_1 + w_2 + w_3 + ((100 * \text{Hop Count}) - w_4) \quad (2)$$

اکنون الگوریتم AODV می تواند میزان ارزش مسیر p_i را که W_{pi} می باشد، با مسیر موجود قبلی و یا مسیرهای کشف شده دیگر مقایسه کرده و مسیری را که کمترین مقدار W_p را داشته باشد جهت ارسال بسته داده انتخاب و در جدول مسیریابی به روز رسانی کند. مقدار W_p نیز برای هر مسیر در فیلد جدید در جدول مسیریابی ذخیره خواهد شد.

از سوی دیگر، همانگونه که می دانیم در الگوریتم کلاسیک AODV هر نود بمحض دریافت یک RREQ از یکی از همسایه ها، RREQ های مشابه بعدی را حذف می کند. تغییر دیگری که در الگوریتم کلاسیک AODV اعمال شده، این است که در صورتی که پیامهای RREQ به مقصد و یا نود آگاه از مقصد برسند، همگی آنها توسط RREP های مجزا پاسخ داده شده و حذف نمی گردند. تنها RREQ هایی حذف می گردند که از یک همسایه مشابه برای همان مسیر دریافت شده باشند. این امر سبب ایجاد چندین مسیر به مقصد می گردد که بهترین آنها با در نظر گرفتن چهار معیار انتخاب خواهد گردید. لذا الگوریتم جدید حالت چند مسیره دارد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش چندمعیاری پیشنهادی با توجه به آنکه معیارهای متعددی را در انتخاب مسیر بهینه مد نظر قرار می دهد، لذا مسیرهای پایدارتر، کوتاهتر و با ترافیک پایین تری انتخاب می گردد و این امر سبب بهبود نسبی متریک های خاصی نسبت به الگوریتم کلاسیک AODV می شود.

۴. ارزیابی کارآیی الگوریتم پیشنهادی

۴.۱. پارامترهای شبیه سازی

همه شبیه سازی ها برای روش پیشنهادی، بوسیله شبیه ساز شبکه [۱۰، ۱۱] Glomosim شبیه سازی شده است. مدل تحرک مورد استفاده در این شبیه سازی [۱۲] Random Way Point می باشد. شبیه سازی در محیطی به ابعاد مختلف از $800m \times 800m$ تا $1600m \times 1600m$ در شبیه سازی های مختلف در نظر گرفته شده است و حداقل رنج رادیویی هر نود ۲۵۰ m می باشد. مدل انتشار two-ray path loss است. در لایه MAC، پروتکل IEEE ۸۰۲.۱۱ استفاده شده و پهنای باند ۲ mbps است. سرعت تحرک نودها در شبیه سازی های مختلف بین ۰ m/s تا ۱۰ m/s انتخاب شده است. زمان توقف نیز به صورت تصادفی بین ۱۰ تا ۳۰۰ ثانیه انتخاب می شود. تعداد نودها در شبیه سازی های مختلف به صورت متغیر از ۲۰ نود تا ۷۰ نود، در نظر گرفته شده است. هر نقطه از نمودارها از میانگین ۳۰ بار اجرای شبیه سازی با نودهای توزیع شده در موقعیت های اولیه متفاوت بدست آمده است.

بعد از توزیع اولیه نودها به صورت تصادفی در محیط شبیه سازی، نودها به مدت ۶۰ ثانیه حرکت می کنند تا در سرتاسر محیط شبیه سازی توزیع شوند. سپس ۲۰ جلسه داده^۹ شروع می شود. اندازه بسته داده ۵۱۲ بایت بوده و نرخ ارسال ۴ بسته بر ثانیه است. ماکزیمم تعداد بسته ها 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. در شبیه‌سازی‌های مختلف، همه نودها با سرعت معین و مساوی بین ۰ تا ۱۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کنند. حرکت در طول شبیه‌سازی برای یک پریود ۱۸۰۰ ثانیه‌ای ادامه می‌یابد. تمام جلسات داده از مدل ترافیک CBR (نرخ بیت ثابت) استفاده می‌کنند. تعداد نودهای کلاینت و سرور به صورت تصادفی انتخاب شده است.

۲.۴. حالت‌های شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌های روش پیشنهادی براساس ویژگیهای محیطی و ویژگیهای نودها، در سه حالت مختلف زیر انجام گرفته است:

- **شبیه‌سازی در حالت سرعت‌های مختلف نودها**
در این حالت تعداد نودها ۵۰ و اندازه محیط ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است. اما سرعت نودها از ۰ تا ۱۰ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد. بدین نحو که یکبار با سرعت صفر، یکبار با سرعت مابین ۰ و ۲، سپس سرعت مابین ۲ تا ۴ و ... شبیه‌سازی‌های مختلف انجام گرفته است.
- **شبیه‌سازی در حالت تعداد متفاوت نودها:**
در این حالت اندازه محیط ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر و سرعت حرکت نودها مابین ۰ تا ۳ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است ولی تعداد نودها در شبیه‌سازی‌های مختلف از ۲۰ تا ۷۰ نود متغیر است.
- **شبیه‌سازی در حالت اندازه‌های متفاوت 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 در ۸۰۰ متر تا ۱۸۰۰ در ۱۸۰۰ متر در شبیه‌سازی‌های مختلف، متغیر است.

۳.۴. متریک‌های شبیه‌سازی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم کلاسیک AODV، متریک‌های مختلف، تحت شرایط محیطی مختلف، مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار گرفته است. این متریک‌ها 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.
- **متوسط لینک‌های شکسته شده:** متوسط لینک‌های شکسته شده برای همسایه‌های هر نود در سرتاسر شبیه‌سازی.

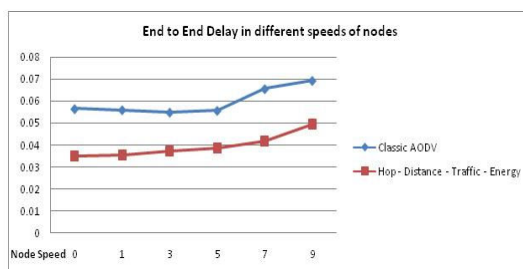
۴.۴. نتایج شبیه‌سازی‌ها

در این بخش نتایج شبیه‌سازی‌های متعدد در شرایط محیطی و حالات مختلف نودها و با در نظر گرفتن ترکیب هر چهار معیار ذکر شده قرار داده شده است. برای این منظور متریک‌های شبیه‌سازی ذکر شده را به تفکیک در نظر گرفته و نتایج و نمودارهای شبیه‌سازی را در حالات مختلف محیطی و نتیجه تأثیر آنها در متریک ذکر شده مورد ارزیابی و بررسی قرار خواهیم داد. منظور از ترکیب چهارتایی، سه معیار فاصله، انرژی و ترافیک به همراه معیار اصلی تعداد پرش می‌باشد.

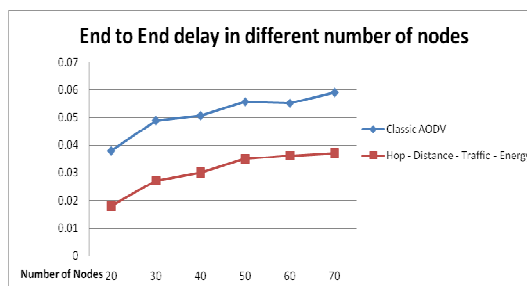
• بررسی متریک تأخیر انتها به انتها^{۱۰}

همانگونه که پیشتر اشاره گردید، زمان انتقال انتها به انتها برای بسته‌های داده را تأخیر انتها به انتها گویند که این مقدار شامل تأخیرهایی است که به سبب مسیریابی ایجاد شده‌اند. در این قسمت متوسط تأخیر انتها به انتها، برای الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن شرایط سرعت‌های متفاوت نودها، تعداد مختلف نودها و اندازه‌های مختلف محیط، به ترتیب مطابق نمودارهای شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج، مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. همانطور که در نمودارها مشخص است، در نظر گرفتن سه معیار فاصله، انرژی و ترافیک به همراه معیار تعداد پرش باعث کاهش زمان تأخیر انتها به انتها شده است. با بکارگیری معیار فاصله، مسیرهایی انتخاب می‌شود که دارای لینک‌های کوتاه‌تر و پایدارتری بوده و لذا سبب ارسال سریع‌تر و مطمئن‌تر داده‌ها می‌شود. بکارگیری معیار ترافیک داده‌ای، مسیرهایی با نودهای با ترافیک داده‌ای کمتر انتخاب می‌شود که این مسئله سبب می‌گردد که بسته‌های داده کمتر در صف پردازش نودهای میانی منتظر بمانند و لذا سریع‌تر ارسال شوند. همچنین با استفاده از معیار انرژی نودها، مسیرهایی انتخاب می‌شود که پایدارتر می‌باشند یعنی انرژی نودهای آن به ناگاه تمام نمی‌شود و سبب از بین رفتن بسته داده

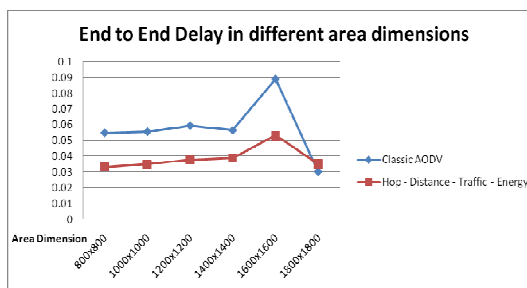
نمی‌شوند. بنابراین با در نظر گرفتن معیارهای جدید در الگوریتم AODV، مشاهده می‌شود که متوسط زمان تأخیر انتها به انتها در همه نمودارهای سرعت‌های مختلف نودها، تعداد مختلف نودها و اندازه‌های مختلف محیط، از AODV کلاسیک کمتر است.



شکل ۴-الف میزان تأخیر انتها به انتها در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط سرعت‌های مختلف نودها



شکل ۴-ب میزان تأخیر انتها به انتها در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط تعداد مختلف نودها

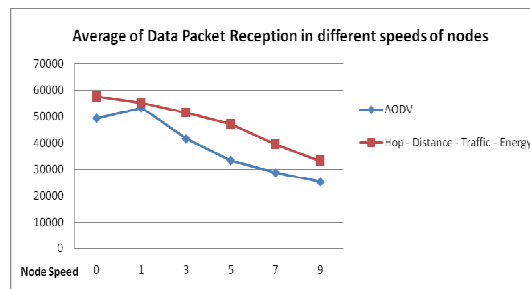


شکل ۴-ج میزان تأخیر انتها به انتها در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط اندازه‌های مختلف محیط

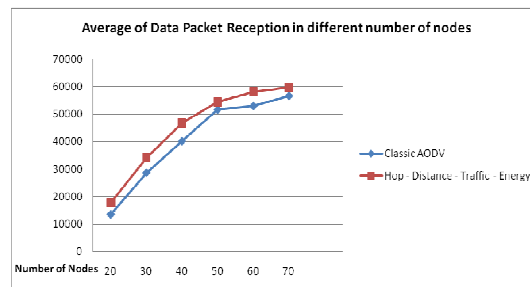
• بررسی متریک نرخ دریافت بسته داده^{۱۱}

تعداد بسته‌های داده دریافت شده در مقصدهای مشخص را نرخ دریافت بسته داده می‌گویند. در این بخش نمودارهای متوسط نرخ دریافت بسته داده با در نظر گرفتن ترکیب چهار معیاری مذکور، برای شبیه‌سازی در حالات سرعت‌های متفاوت نودها، تعداد مختلف نودها و اندازه‌های مختلف محیط به ترتیب مطابق نمودارهای شکل‌های ۵-الف، ۵-ب و ۵-ج انجام گرفته است. هر چهار معیار نقش مهمی در نرخ دریافت داده دارند و حضور هر چهار تای آنها بهترین نتیجه را در بهبود نرخ دریافت بسته داده در الگوریتم AODV دارد. معیار تعداد پرش باعث کوتاهتر شدن مسیر از نظر تعداد پرش‌ها می‌باشد. معیار فاصله سبب کوتاهتر شدن طول مسیر و بایرداری مسیر می‌شود یعنی احتمال اینکه با کوچکترین حرکتی نودها از رنج رادیویی همدیگر خارج شوند، کم می‌شود. معیار ترافیک نیز بیشتر در تأخیر نقش دارد اما اگر آنقدر ترافیک زیاد شود که منجر به بن‌بست شود بسته‌های داده از بین می‌روند و نرخ دریافت بسته‌های داده پایین‌تر می‌شود. معیار انرژی نود نیز به بایرداری مسیر کمک می‌کند که مسیرهایی انتخاب نشود که به زودی نودهای آن مسیر انرژی‌شان تمام شده و مسیر شکسته شود.

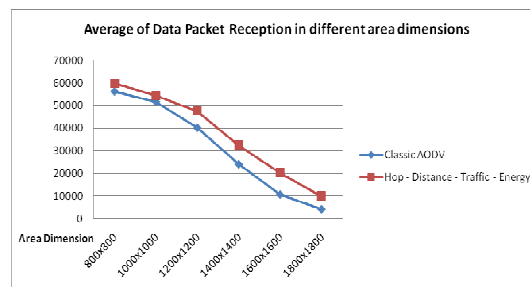
همانطور که در شکل‌های ۵-الف، ۵-ب و ۵-ج مشاهده می‌شود، استفاده از حالت چهار معیاری باعث افزایش نرخ دریافت بسته داده در هر سه حالت مختلف شبیه‌سازی شده است.



شکل ۵-الف میزان نرخ دریافت بسته داده در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط سرعتیهای مختلف نودها



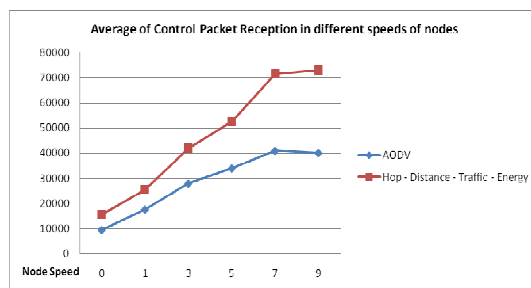
شکل ۵-ب میزان نرخ دریافت بسته داده در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط تعداد مختلف نودها



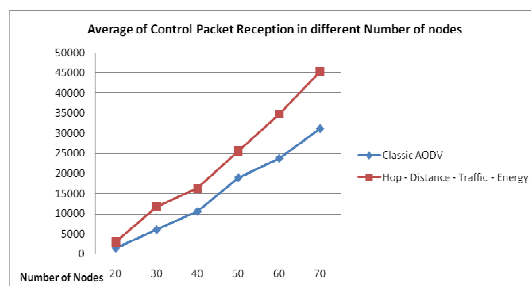
شکل ۵-ج میزان نرخ دریافت بسته داده در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط اندازه‌های مختلف محیط

• بررسی متریک سرپاره مسیریابی^{۱۲}

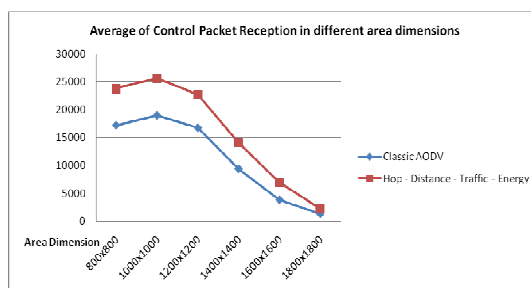
تعداد انتقالات بسته‌های کنترلی لایه شبکه سرپاره مسیریابی نامیده می‌شود. در این قسمت سرپاره مسیریابی با در نظر گرفتن هر چهار معیار در شرایط مختلف سرعتیهای متفاوت نودها، تعداد متغیر نودها و اندازه متغیر محیط بررسی شده و نمودارهای آن در شکل‌های ۶-الف، ۶-ب و ۶-ج نشان داده شده است. همانگونه در تمام نمودارها مشهود است، سرپاره مسیریابی در روش پیشنهادی در همه حالات تا حدودی بیشتر می‌شود. این مسأله به دلیل آن است که روش پیشنهادی ما علاوه بر چندمعیاری بودن حالت چند مسیر دارد. بدین معنی که در مقصد و یا هر نود آگاه از مقصد، در هنگام دریافت بسته RREQ حتی اگر آن RREQ را قبلاً دریافت کرده باشد، در صورتیکه دقیقاً از نود قبلی دریافت نشده باشد، برای آن مجدداً RREP ارسال می‌گردد. پس تعداد RREP‌های بیشتری نسبت به AODV کلاسیک تولید می‌گردد که این مسأله سبب بوجود آمدن نتایج بهتری در دریافت بسته داده و تأخیر انتها به انتها می‌شود اما باعث افزایش سرپاره مسیریابی می‌گردد. نتایج در هر سه حالت مختلف شبیه-سازی برای الگوریتم پیشنهادی، مشابه می‌باشد.



شکل ۶-الف میزان سرباره مسیریابی در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط سرعت‌های مختلف نودها



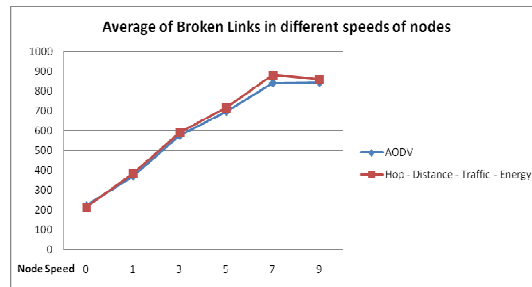
شکل ۶-ب میزان سرباره مسیریابی در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط تعداد مختلف نودها



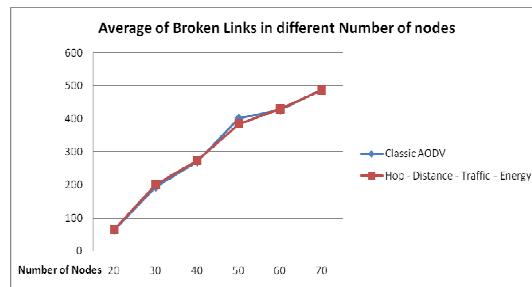
شکل ۶-ج میزان سرباره مسیریابی در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط اندازه‌های مختلف محیط

• بررسی متریک متوسط لینکهای شکسته^{۱۳}

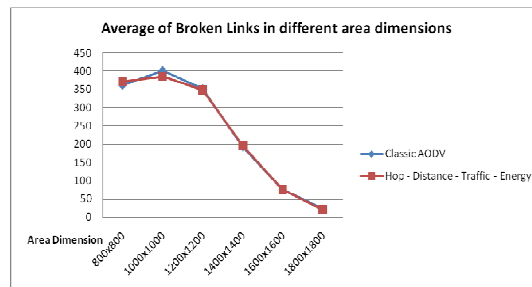
تعداد لینکهای شکسته شده نیز همچون دیگر متریک‌ها در شرایط تعداد مختلف نودها، سرعت‌های مختلف نودها و اندازه‌های مختلف محیط مورد بررسی قرار گرفته است. اما مشاهده می‌گردد که الگوریتم پیشنهادی اثری روی این متریک ندارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم‌های مسیریابی نقش چندانی روی این متریک ندارد و این متریک بیشتر تحت تأثیر تحرک و مدل حرکت نودها می‌باشد. در حقیقت وقتی نودی تصمیم بگیرد که حرکت کند و از محدوده انتقال نود همسایه خود خارج شود. الگوریتم مسیریابی نمی‌تواند کاری در این مورد انجام دهد و مانع آن شود و خواه ناخواه لینک مذکور شکسته خواهد شد. در شکل ۷-الف مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت نودهای لینکهای بیشتری شکسته می‌شوند که این مسأله بدان علت است که نودها به سرعت از رنج انتقال هم خارج می‌شوند. در شکل ۷-ب نیز مشاهده می‌گردد که با افزایش تعداد نودها، تعداد لینکهای شکسته شده بیشتر می‌شود. این مسأله به دلیل ازدحام نودها می‌باشد که چون پهنای باند محدود می‌باشد و حجم بالایی از نودها می‌خواهند از این باند محدود استفاده کنند لذا لینکهای بیشتری بر اثر رقابت نودها برای انتساب کانال، شکسته می‌شوند. همانطور که در شکل ۷-ج مشهود است، با افزایش اندازه محیط لینکهای کمتری شکسته می‌شوند که به دلیل کم شدن ازدحام و چگالی نودهاست که باعث می‌شود رقابت بر سر کانال کمتر شده و لینکهای محدودی که ایجاد می‌شوند به دلیل ازدحام شکسته نشوند.



شکل ۷-الف میزان لینک‌های شکسته در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط سرعت‌های مختلف نودها



شکل ۷-ب میزان لینک‌های شکسته در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط تعداد مختلف نودها



شکل ۷-ج میزان لینک‌های شکسته در ترکیب چهار معیاری و AODV کلاسیک در شرایط اندازه‌های مختلف محیط

۵. نتیجه‌گیری

در الگوریتم کلاسیک AODV پس از مرحله کشف مسیر، تنها معیار سنجش مسیر بهینه به مقصد از میان مسیرهای موجود قبلی و فعلی، تعداد پرش‌های مابین نود مبدأ و مقصد می‌باشد که در برخی از موارد معیار مناسبی برای سنجش مسیر بهینه نمی‌باشد. زیرا کم بودن تعداد پرش-ها دلیل بر کوتاه بودن یا بهینه بودن مسیری نمی‌باشد. چه بسا که مسیری دارای تعداد پرش کمتری بوده اما دارای معیارهای غیر بهینه دیگری در مقایسه با مسیرهای دیگر باشد. در این بخش روش جدیدی ارائه گردید که سبب افزایش کارایی الگوریتم AODV می‌گردد. بدین نحو که اولاً الگوریتم جدید به صورت چند-مسیره عمل کرده و ثانیاً برای انتخاب مسیر بهینه معیارهای متعددی بررسی و اعمال می‌گردد تا از میان مسیرهای کشف شده در مرحله کشف مسیر، مسیری که از چندین نظر بهینه می‌باشد به عنوان مسیر ارسال داده در جدول مسیریابی ذخیره گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پارامترهای تأخیر انتها به انتها و متوسط بسته‌های داده به میزان خاصی بهبود می‌یابد.

۶. مراجع

- [۱] C. Siva Ram Murthy and B.S. Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols", PRENTICE HALL, ۲۰۰۴.
- [۲] C. E. Perkins, E. M. Royer, "Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing", In Proceedings of ۳rd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. ۹۰-۱۰۰, ۱۹۹۹
- [۳] C. E. Perkins, E. M. Royer and S.R. Das, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC ۳۵۶۱, ۲۰۰۳.
- [۴] L.M. Feeney, "A taxonomy for Routing Protocols in Mobile Ad-hoc Network.", www.sics.se/~lmFeeney/huc.pdf

- [۵] 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. ۸۵-۹۷, ۱۹۹۸.
- [۶] J.-M. Kim, J.-W. Jang, and W. Lyu, "Improvement of AODV for Energy-Aware Routing Algorithm in MANET", Networks and Communication System, (۵۲۷), ۲۰۰۶.
- [۷] Mahesh K. Marina and Samir R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks", In Proc. of the International Conference for Network Protocols (ICNP), Riverside, USA, pp. ۱۴-۲۳, ۲۰۰۱.
- [۸] I. Y. Kim and O. D. Weck, "Adaptive weighted sum method for multiobjective optimization", Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. ۳۱, No. ۲, pp. ۱۰۵-۱۱۶, ۲۰۰۶.
- [۹] C. Bettstetter and C. Wagner, "The spatial node distribution of the random way-point mobility model", In Proc. German Workshop on Mobile ad hoc Networks (WMAN), Ulm, Germany, GI Lecture Notes in Informatics, no. P-۱۱, pp. ۴۱-۵۸, Mar, ۲۰۰۲.
- [۱۰] X. Zeng, R. Bagrodia and M. Gerla, "GloMoSim: A library for parallel simulation of large-scale wireless networks", In PADS '۹۸, ۱۹۹۸.
- [۱۱] <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosim.html>
- [۱۲] C. Bettstetter and C. Wagner, "The spatial node distribution of the random way-point mobility model", In Proc. German Workshop on Mobile ad hoc Networks (WMAN), Ulm, Germany, GI Lecture Notes in Informatics, no. P-۱۱, pp. ۴۱-۵۸, Mar, ۲۰۰۲.

زیر نویس ها

-
- ۱ Mobile Ad hoc Networks - MANET
 - ۲ Ad hoc On demand Distance Vector Routing
 - ۳ Hop
 - ۴ Proactive
 - ۵ Reactive
 - ۶ Fresh-Enough
 - ۷ Multi-Path
 - ۸ GPS
 - ۹ Data Session
 - ۱۰ End-to-End Delay
 - ۱۱ Data Packet Reception
 - ۱۲ Routing Overhead
 - ۱۳ Broken Links