نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، (پیاپی ۳۹): صص ۶۱-۵۱

بررسی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های سیار موردی و انتخاب پروتکل مناسب برای یک شبکه سیار موردی نظامی

سید احمد قاسمی[۱]، محمدرضا حسنی آهنگر[۲*]، آرش غفوری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۵

چکیده

با توجه به محدودیت‌های شبکه‌های باسیم، ازجمله محدودیت‌های مکانی و جغرافیایی، هزینه بالای ایجاد زیرساخت‌های لازم، کندی ایجاد زیرساخت‌ها و سایر موارد، شبکه‌های بی‌سیم از اهمیت و توجه زیادی برخوردار گردیده‌اند. در این میان شبکه‌های سیار موردی به‌دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند عدم نیاز به مدیریت مرکزی و زیرساخت و نیز قابلیت تحرک‌پذیری بالا موردتوجه خاص قرار گرفته‌اند. یک شبکه سیار موردی یک شبکه مستقل از گره‌های مسیریاب است که با پیوندهای بی‌سیم به یکدیگر متصل شده‌اند. در این شبکه مسیریاب‌ها به‌صورت تصادفی حرکت می‌کنند و به‌طور مستقل خودشان را، سازمان‌دهی می‌کنند؛ بنابراین همبندی شبکه‌های بی‌سیم پی‌درپی و به طرز غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌کند که همین موضوع به یکی از چالش‌های استفاده از این شبکه‌ها تبدیل شده است. درصورتی‌که پروتکل مسیریابی با توجه به شرایط مورداستفاده انتخاب نشود مشکلات متعددی را به‌وجود خواهد آورد. در این مقاله به بررسی شبکه‌های سیار موردی پرداخته و سپس یک پروتکل مسیریابی بهینه برای ارتباطات نظامی سیار پیشنهاد خواهیم داد. این پیشنهاد با توجه به ویژگی‌های یک ارتباط نظامی ارائه گردیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد بهینه این پروتکل در مقایسه با سایر پروتکل‌های موردنظر است.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های سیار موردی، پروتکل‌های مسیریابی، پروتکل ODMRP

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)
۲- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، (mrhasani@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- مقدمه

با توجه به سهولت استفاده از شبکه‌های بی‌سیم، سرعت برپایی بالا و عدم نیاز به زیرساخت و سایر ویژگی‌ها، شبکه‌های بی‌سیم مورد اهمیت و توجه زیادی قرار گرفته و به‌طور دائم در حال رشد می‌باشند. کار مربوط به شبکه‌های سیار موردی[1] در حال حاضر از بزرگ‌ترین موارد در مباحث مربوط به ارتباطات وایرلس است. منت یا شبکه سیار موردی یک شبکه است که می‌تواند خودبه‌خود برقرار گردد حتی اگر زیرساخت‌های محلی نابود شده باشند. این بدان معنا است که در یک سناریو بحران و بلایای طبیعی کلیه نیروهای آتش‌نشانی، اورژانس، پلیس و سایر سازمان‌ها می‌توانند در زمانی که کلیه زیرساخت‌های ارتباطی از بین رفته باشد با استفاده از این نوع شبکه به‌کار خود ادامه دهند. در اینجا بین گره‌ها هیچ‌گونه اتصال فیزیکی ازجمله کابل وجود نداشته و علاوه بر آن گره‌ها می‌توانند به‌صورت آزادانه به حرکت خود ادامه دهند. با وجود این مزایا این شبکه‌ها می‌توانند به‌جز در مواقع بحران در موارد تجاری، آموزشی و سایر مورد استفاده قرار گیرند که در این میان قطعاً کاربرد نظامی یکی از موارد استفاده مهم برای این شبکه‌ها خواهد بود. از لحاظ معماری شبکه‌های بی‌سیم را می‌توان به دو دسته شبکه‌های با زیرساخت و شبکه‌های بدون زیرساخت تقسیم‌بندی کرد. شبکه‌های بدون زیرساخت یا شبکه‌های سیار موردی [۱] تنها شامل گره‌های سیاری هستند که بدون وجود هیچ‌گونه ایستگاه مرکزی، اتصال سیمی و یا زیرساخت شبکه [۲] (نرم‌افزار یا سخت‌افزار)، به مبادله و مدیریت اطلاعات شبکه نیز می‌پردازند.

در شبکه‌های سیار موردی گره‌ها می‌توانند آزادانه در شبکه حرکت کنند. در این نوع شبکه‌ها برای ارسال اطلاعات از گره‌های موجود در شبکه به‌عنوان مسیریاب استفاده می‌شود. از اصلی‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های سیار موردی می‌توان به تغییرات پیاپی در پیکربندی این شبکه‌ها به‌دلیل متحرک بودن گره‌ها [۳] اشاره کرد؛ همچنین محدودیت در منابع شبکه همچون پهنای باند و منبع تغذیه از دیگر ویژگی‌های این نوع شبکه‌ها است.

با توجه به ناپایداری شبکه‌های سیار موردی موضوع کشف و نگهداری مسیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۴] و عامل فقدان پهنای باند زیاد و انرژی محدود در هر گره سبب می‌شود که به دنبال یک شیوه مسیریابی مقرون‌به‌صرفه 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 این است که یک بسته داده به‌صورت مطمئن از مبدأ به مقصد انتقال یابد [۵]. علاوه بر این به حداقل رساندن مدت‌زمان تأخیر نیز از اهداف یک مسیریابی است. الگوریتم‌های مسیریابی متعددی برای این شبکه‌ها ارائه گردیده است که هرکدام از این‌ها دارای معایب، مزایا و ویژگی‌های مخصوص به خود است. از نقطه‌نظر شیوه برنامه‌ریزی پروتکل‌های مسیریابی به دو نوع تقسیم می‌شوند [۶]:

۱-۱- مبتنی بر جدول[2]

در این روش مسیریابی، هر گره اطلاعات مسیریابی را با ذخیره اطلاعات محلی سایر گره‌ها در شبکه استفاده می‌کند و این اطلاعات برای انتقال داده از طریق گره‌های مختلف استفاده می‌شوند. این پروتکل شامل روش‌های DSDV و WRP و CSGR و STAR است.

۱-۲- مبتنی بر تقاضا[3]

در این روش مسیرهایی بین گره‌ها، تنها زمانی که برای مسیریابی بسته موردنیاز است ایجاد می‌گردد این پروتکل شامل روش‌های SSR و DSR و TORA و AODV و RDMAR است.

همچنین می‌توان نوع سومی را که ترکیبی از دو روش بالا است را با نام Hybrid Protocol در نظر گرفت در این پروتکل‌ها روش مسیریابی بردار-فاصله را برای پیدا کردن کوتاه‌ترین به‌کار می‌گیرند و اطلاعات مسیریابی را تنها وقتی تغییری در همبندی شبکه وجود دارد گزارش می‌دهد. در این پروتکل می‌توان به روش‌های SMR، AOMDV، AODVM، ZD-AOMDV و IZM-DSR اشاره کرد.

یکی از مشهورترین پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه‌های سیار موردی پروتکل ODMRP است. ODMRP پروتکل ODMRP توسط آزمایشگاه WAM در دانشگاه UCLA طراحی شده است [۷].

۲- شبکه‌های سیار موردی در ارتباطات نظامی

جنبه‌های نظامی در یک شبکه سیار موردی همواره دارای جذابیت و پیچیدگی بیشتری هستند. در یک سناریوی نظامی ویژگی‌ها و عناصر بیشتری نسبت به محیط‌های دیگر همچون

[1] MANET(Mobile ad hoc network)

[2] Table Driven Protocols
[3] On Demand Protocols

یک محیط کسب‌وکار، آموزشی و همایش وجود دارد. به‌عنوان مثال در یک سناریوی نظامی نیاز به امنیت اطلاعات بیشتری است. همان‌طور که از نام این شبکه پیداست گره‌ها می‌توانند تحرک و جابجایی داشته باشند و دور از دسترس سایر گره‌ها قرار بگیرند. علاوه بر این برای این‌که عملکرد شبکه بایستی به‌درستی صورت پذیرد بایستی هر گره علاوه بر این‌که باید قادر به ارسال و دریافت بسته‌های اطلاعات باشد به‌عنوان یک مسیریاب و یا ایستگاه تکرارکننده عمل نماید. بنابراین، مسیریابی باید به‌صورت صحیح و قابل‌اطمینان صورت پذیرد و ضمناً مسائلی مانند پهنای باند مصرفی، مصرف انرژی رنج فرکانس رادیویی هم بایستی در آن لحاظ شود. همچنین اطلاعات نباید در اختیار افراد غیرمجاز قرار داده شود، دستکاری‌شده و یا از بین برود. تمام موارد بالا حاکی از آن است که در یک ارتباط نظامی مبتنی بر شبکه موردی بایستی دقت و احتیاط بیشتری لحاظ شود زیرا در غیر این صورت ممکن است اطلاعات به‌دست دشمن افتاده و یا اینکه جان افراد در معرض خطر قرار بگیرد. ازاین‌رو، انتخاب یک الگوریتم مسیریابی مناسب به حل این مشکلات منجر می‌گردد.

۲-۱- کاربردهای نظامی[1]

امروزه تجهیزات نظامی جدید شامل تعداد زیادی از تجهیزات کامپیوتری است. شبکه‌بندی موردی در مقاصد نظامی برتری‌های زیادی به همبندی شبکه بی‌سیم قدیمی برای نگهداری اطلاعات شبکه بین سربازها، وسایل نقلیه و اطلاعات نظامی دارد و تکنیک اصلی شبکه‌های موردی برای این هدف پایه‌گذاری شده بود.

۲-۲- ویژگی‌های یک ارتباط نظامی

با توجه به خصوصیات جبهه نبرد و مواردی که در درگیری‌های نظامی به‌وجود می‌آید مدیریت و راهبری یک شبکه موردی نظامی از پیچیده‌ترین موارد ممکن است. یک شبکه موردی نظامی دارای ویژگی‌های زیر است:

- دشمن متخاصم: مداخله دشمن جهت توقف یا مختل کردن ارتباطات
- مدل اعتماد: میزان سطح اعتماد به یک گره و نیز چگونگی برخورد با گره‌های در معرض خطر و نیز چگونگی مقابله با به خطر افتادن گره‌ها
- کنترل کیفیت سرویس: عدم برابری اطلاعاتی همه گره‌ها و بسته‌های اطلاعاتی
- محدودیت‌های استفاده از قدرت رادیو: باتری، آشکارسازی موقعیت، زمان و اهمیت گره‌ها
- خطر فاش شدن موقعیت گره برای دشمن
- امنیت ارتباطات و قابلیت اطمینان
- نیاز به داشتن بهره بری بالا
- نیاز به استحکام: افزونگی گره‌ها، افزونگی مسیرها، قابلیت اصلاح و تعمیر خودکار پس از خرابی

۳- ویژگی‌های شبکه‌های موردی

شبکه‌های موردی دارای نیازمندی‌ها، خصوصیات و مشکلات ویژه‌ای هستند. این مشکلات ناشی از ماهیت و خواص شبکه‌های بی‌سیم است که در بررسی و ارائه هر راه‌حل باید به آن‌ها توجه نمود. با توجه به مطالب ذکرشده در ادامه به ذکر خصوصیات مهم برای شبکه‌های موردی پرداخته خواهد شد.

۳-۱- فقدان زیرساخت

در شبکه‌های موردی ساختارهای متمرکز و مجتمع مثل سرویس‌دهنده‌ها، مسیریاب‌ها لزوماً وجود ندارند [۸-۹]، به همین خاطر راه‌حل‌های مقابله با مشکلات آن‌ها هم معمولاً غیرمتمرکز، توزیع‌شده و مبتنی بر همکاری همه گره‌های شبکه است.

۳-۲- استفاده از لینک بی‌سیم

در این نوع شبکه‌ها ارتباطات از طریق امواج رادیویی صورت می‌پذیرد [۱۰] و بنا بر نوع استفاده از رنج فرکانسی مختلفی استفاده می‌گردد. به‌طور مثال شبکه‌های VANET[2] از رنج فرکانسی ۵/۹ گیگاهرتز برای این ارتباط استفاده می‌کنند.

۳-۳- چند پرشی بودن

در پروتکل‌های مسیریابی موردی، خود گره‌ها نقش مسیریاب را ایفا می‌کنند. طبیعتاً به هر گره‌ی برای وظیفه‌ای همچون مسیریابی نمی‌توان اعتماد داشت. انواع اصلی الگوریتم‌های مسیریابی موردی می‌تواند بر مبنای خصوصیات متفاوت لایه پیوند و پروتکل‌های مسیریابی به‌صورت تک‌پرشی[3] و چند پرشی[4] عمل کنند [۱۱].

۳-۴- خودمختاری گره‌ها در تغییر مکان

گره‌های سیار در شبکه بی‌سیم به‌خصوص در شبکه‌های بزرگ به‌دلیل تغییر محل به‌سختی قابل ردیابی هستند. از دیگر ویژگی‌های طبیعی شبکه بی‌سیم که منبع مشکلات امنیتی آن

[1] Military battlefield

[2] vehicular ad hoc network
[3] Single hop
[4] multihop

است می‌توان به فقدان همبندی ثابت و محدودیت‌های منابعی مثل توان، پردازنده و حافظه اشاره کرد.

۳-۵- همبندی پویا[1]

ازآنجایی‌که گره‌ها سیار هستند، همبندی شبکه ممکن است به‌سرعت و به‌صورت غیرقابل پیش‌بینی تغییر کند [۱۲] و اتصالات میان ترمینال‌ها ممکن است در یک زمان تغییر کند. شبکه‌های موردی باید ترافیک، شرایط انتشار و همچنین الگوهای حرکت گره‌های شبکه سیار را سازگار نماید. گره‌های سیار در شبکه به‌صورت پویا مسیریابی را از میان خودشان در حین حرکت ایجاد کرده و در ادامه خودشان شبکه را شکل می‌دهند.

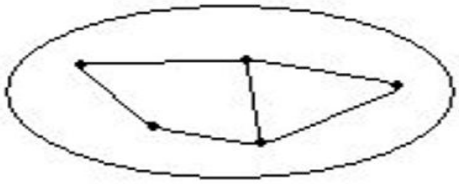
۴- مقایسه پروتکل‌های مسیریابی

در شبکه‌های سیار موردی چندین عامل و مسئله وجود دارد که باید به آن‌ها توجه شود. این عوامل از آنجایی مهم هستند که می‌توانند سناریو ما را تحت تأثیر قرار دهند به این معنا که با توجه به کارکرد و خصوصیات مورد نظر هر الگوریتم خصوصیات خاص آن نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. به‌عنوان مثال تعداد گام، تأخیر، توان عملیاتی، نرخ ریزش، استحکام و هزینه برخی از پارامترهای مسیریابی هستند [۱۳]. تا این زمان هنوز یک پروتکل مسیریابی مناسب که بتواند تمام حالات و انتظارات را برآورده سازد وجود نداشته و بنابراین، بایستی بنا بر احتیاجات و موارد موردنظر نسبت به انتخاب پروتکل مناسب اقدام نماییم. به‌طور مثال پروتکلی که در یک شبکه آموزشی بسیار کارآمد است ممکن است در یک شبکه نظامی هیچ‌گونه استفاده‌ای نداشته باشد. به‌طورکلی الگوریتم‌های مسیریابی در این شبکه‌ها به روش‌های گوناگونی تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به مقایسه آن‌ها خواهیم پرداخت.

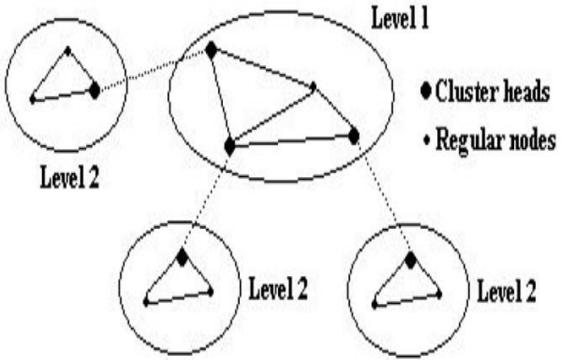
۴-۱- تخت در برابر سلسله مراتبی

در الگوریتم‌های مسیریابی با در نظر گرفتن ساختار تخت[2]، کلیه گره‌های موجود در شبکه در یک سطح قرار داشته و عملکرد مسیریابی یکسانی دارند. در این الگوریتم هر گره باید از همبندی کل شبکه آگاهی داشته باشد.

در مسیریابی سلسله مراتبی[3]، مسیریاب‌ها در گروه‌هایی به نام ناحیه[4] دسته‌بندی می‌شوند. هر مسیریاب فقط مسیریاب‌های درون ناحیه خود را می‌شناسد و هیچ اطلاعی از مسیریاب‌های درون نواحی دیگر ندارد. یکی از اشکالاتی که می‌توان برای روش سلسله مراتبی برشمرد، آن است که چون در این روش کل همبندی زیرشبکه برای هر مسیریاب مشخص نیست، لذا ممکن است مسیر انتخابی برای ارسال بسته به یک مسیریاب خاص درون یک ناحیه بهینه نباشد. در شکل (۱) شمای کلی معماری تخت و در شکل (۲) شمای کلی سلسله مراتبی ترسیم شده است.



شکل (۱): شکل معماری تخت



شکل (۲): معماری سلسله مراتبی

معماری تخت به نسبت معماری سلسله مراتبی دارای مزیت‌های افزایش قابلیت اطمینان، وجود مسیرهای جایگزین در شبکه[5]، مسیرهای بهینه بیشتر، پوشش بهتر (به معنای کاهش استفاده از منابع بی‌سیم) و تنوع مسیر (به معنای تعادل بار[6] بهتر) است. در معماری تخت هیچ نقطه شکستی[7] در شبکه برای رسیدن پیام وجود ندارد این بدان معنی است که اگر یک گره از دست برود بقیه شبکه هنوز عملکرد خود را حفظ می‌کند. در روش سلسه‌مراتبی اگر سردسته[8] از دست برود، آن بخش از شبکه تا زمان ازکارافتادگی سردسته قادر به ارسال یا دریافت پیام نخواهد

[1] Dynamic network topology
[2] Flat
[3] Hierarchical
[4] Area

[5] alternative Route
[6] Load Balancing
[7] single of failure
[8] Head Cluster

بود. یکی از موارد و عیوبی که باید برای الگوریتم مسیریابی تخت ذکر شود این است که این الگوریتم دارای مقیاس‌پذیری خوبی نیست و هنگامی‌که شبکه بزرگ شود سربار مسیریابی به‌شدت افزایش خواهد یافت. در صورت استفاده از معماری سلسله مراتبی به‌جای تخت پروسه مدیریت و اداره راحت‌تر (فقط سردسته سؤال می‌پرسد) حاصل می‌شود.

۴-۲- پیش‌کنشی در برابر واکنشی

در یک پروتکل مسیریابی تمام‌مسیرها در یک جدول مسیریابی که همیشه به‌روز است نگه‌داشته می‌شوند. هرگونه تغییراتی که در شبکه اتفاق بیفتد به‌صورت مستمر باعث به‌روزرسانی این جدول می‌شود. تفاوت در این دو نوع پروتکل در نحوه به‌روزرسانی جدول مسیریابی است.

در پروتکل‌های پیش‌کنشی[۱]، گره‌ها[۲] مدام در حال جستجوی اطلاعات مسیریابی جدید درون شبکه هستند به صورتی که حتی با تغییر مکان گره‌ها در صورت نیاز به‌راحتی می‌توان مسیر مناسبی را یافته و برای ارسال و دریافت اطلاعات بین هر دو گره استفاده کرد. به عبارت بهتر می‌توان گفت که در این شبکه‌ها مسیرها از قبل موجود هستند؛ و به‌محض آنکه یک گره اقدام به ارسال داده به گره دیگری کند قادر خواهد بود مسیر موجود را از روی اطلاعات از قبل جمع‌آوری‌شده شناسایی کرده و مورد استفاده قرار دهد و لذا تأخیری در این مورد متوجه گره نیست. در مسیریابی واکنشی[۳] یک ارتباط بین دو گره تنها زمانی ایجاد می‌شود که منبع درخواست آن را داده باشد. هنگامی‌که یک مسیر کشف شود تا زمانی که مسیر دیگری موردنیاز نباشد نگه‌داری می‌شود.

در پروتکل‌های پیش‌کنشی مسیر می‌تواند بدون تأخیر و بلافاصله انتخاب شود. این نوع مسیریابی دارای معایب تولید ترافیک کنترلی زیاد، استفاده از پهنای باند بالا، حجم قابل توجه داده‌هایی که باید نگه‌داری شوند، واکنش کند در برابر دوباره‌سازی ساختار شبکه و شکست‌ها است.

پروتکل واکنشی دارای مزایای استفاده از پهنای باند پایین برای حفظ جدول مسیریابی، مصرف بهینه انرژی، نگهداری مسیر به‌صورت مؤثرتر است. از سوی دیگر این پروتکل‌ها دارای معایب تأخیر بالا و صرف زمان طولانی برای کشف مسیر، حجم سیل‌آسای بسته‌های ارسالی و امکان ازدحام و مختل شدن شبکه است.

۴-۳- یک‌پخشی[۴] در برابر چندپخشی

هنگامی‌که از چندپخشی[۵] استفاده می‌شود یک بسته واحد به‌طور هم‌زمان به چندین دریافت‌کننده ارسال می‌شود. در مقابل در یک‌پخشی یک بسته واحد تنها برای یک دریافت‌کننده ارسال می‌شود [۱۴]. بنابراین، روش چندپخشی روشی مفید در زمانی که انرژی و پهنای باند محدود است می‌باشد.

۴-۴- یک مسیره[۶] در مقابل چندمسیره

در یک پروتکل مسیریابی که دارای قابلیت چندمسیره[۷] است بسته‌ها می‌توانند از مسیرهای مختلف بین مبدأ و مقصد فرستاده شوند [۱۵]. از آنجایی‌که چندین مسیر وجود دارد شانس بیشتری برای رسیدن بسته به‌طور صحیح به مقصد وجود دارد (به نسبت یک مسیره) ضمناً این بدین معناست که دفعات پیدا کردن مسیر پایین است که به‌خودی‌خود باعث کاهش ترافیک کشف مسیر می‌گردد. در پروتکل مسیریابی چندمسیره راه‌های مختلفی برای استفاده از مسیرها وجود دارد برخی از پروتکل‌ها فقط از یک مسیر در یک‌زمان استفاده می‌کنند [۱۶] این بدان معنی است که تنها زمانی از مسیرهای دیگر استفاده می‌کنند که مسیر فعلی از دست رفته باشد و تنها زمانی که تمام مسیرها از دست رفته باشد اقدام به پروسه مسیریابی مجدد می‌کنند. روش دیگر آن است که از هر دو مسیر در آن‌واحد استفاده می‌کنند و بسته‌ها در یک زمان واحد به هر دو مسیر ارسال می‌شوند.

۴-۵- ساختار درختی و ساختار مش

هنگامی‌که به دسته‌بندی پروتکل‌های چندپخشی پرداخته می‌شود این کار می‌تواند به دو روش متفاوت و بر اساس ساختار شبکه صورت بپذیرد [۱۷]. رویکرد مبتنی بر درخت[۸] و رویکرد مبتنی بر مش[۹]. این دو رویکرد خود دارای نقاط ضعف و قوت متفاوت است. روش مبتنی بر درخت دارای مزایای زیر است:

- رویکرد مبتنی بر درخت پهنای باند را به‌صورت کارآمدتر مصرف می‌کند زیرا از حداقل بسته‌ها برای گسترش استفاده می‌کند.

[1] Proactive
[2] nod
[3] Reactive

[4] Unicast
[5] Multicast
[6] Unipath
[7] Multipath
[8] Tree-based
[9] Mesh-based

- این رویکرد از لحاظ مصرف انرژی هم بهینه‌تر است زیرا هنگامی‌که فقط یک مبدأ وجود دارد تعداد کمتری از بسته‌ها درگیر مسیریابی برای بسته‌ها می‌شوند.

روش مبتنی بر درخت دارای معایب زیر است:

- رویکرد مبتنی بر درخت زمانی خوب است که میزان تحرک گره‌ها کم باشد و ساختار درختی پایدار باشد.
- شکست لینک باعث پیکربندی مجدد کل درخت می‌شود زیرا که تنها یک مسیر واحد بین دو گره ایجاد شده است.

روش مبتنی بر مش دارای مزایای زیر است:

- فراهم آوری چندین مسیر بین گره‌ها که آن‌ها را در مقابل شکست مسیر انعطاف‌پذیر می‌کند. این قابلیت باعث می‌شود که زمانی که تحرک بالاست و همبندی در حال تغییر است عملکرد خوبی داشته باشد.
- افزایش شانس بسته برای رسیدن به مقصد (توان عملیاتی بالاتر)

معایب روش مبتنی بر مش:

- مصرف پهنای باند زیاد: به این دلیل که هر بسته تکرار شده و به مسیرهای مختلفی فرستاده می‌شود.
- دارای سربار بالا: به‌این‌علت که بایستی مسیرها همواره بروز نگه‌داشته شوند.

با توجه به موارد بیان‌شده یک روش مبتنی بر درخت زمانی که مصرف بهینه انرژی مدنظر است برای هدف ما مطلوب‌تر است و زمانی که نیاز به تحرک بالا و نیز نرخ بالای تحویل بسته به مقصد موردنیاز است می‌توان گفت که روش مبتنی بر مش راه‌حل بهتری خواهد بود.

۵- انتخاب پروتکل بهینه

برای اینکه بتوانیم بگوییم که کدام یک از پروتکل‌ها برای سناریو ما مطلوب و قابل استفاده است بایستی به محدودسازی تعداد این پروتکل‌ها و سپس به مقایسه و بررسی این پروتکل‌ها بپردازیم. برای این منظور به تهیه جدول (۱) پرداخته و در این جدول مقایسه مورد نیاز را انجام می‌دهیم. در حال حاضر دسته‌بندی‌ها و گروه‌های مختلف و متفاوتی برای این پروتکل‌ها موجود است. برای این کار از هر گروه یک پروتکل را برای مقایسه انتخاب می‌نماییم. این انتخاب از همه گروه‌ها به‌جز گروه آگاه از انرژی صورت می‌پذیرد دلیل این کار هم این است که در سناریو ما که برای گروهی از تانک‌ها یا وسایل نقلیه طراحی شده است محدودیت انرژی مطرح نیست و برای همین هم مصرف انرژی برای ما اهمیتی نخواهد داشت. این انتخاب به شرح زیر است: فعال: WRP و TBRF واکنشی: AODV و DSR سلسله مراتبی: ZRP جغرافیایی: DREAM چندپخشی: ODMRP و MAODV. از دلایل انتخاب این پروتکل‌ها می‌توان به بیشتر در دسترس بودن این پروتکل‌ها، وجود مقالات متعدد در مورد این پروتکل‌ها اشاره نمود. این موارد باعث راحتی بیشتر بررسی این پروتکل‌ها خواهد گردید. با توجه به موارد گفته‌شده و خصوصیات پروتکل‌ها پروتکل مناسب برای ما باید دارای خصوصیات زیر باشد: چندپخشی باشد، واکنشی باشد، چند مسیری باشد. با توجه به موارد فوق پروتکل‌های ZRP و ODMRP انتخاب مناسبی بر اساس جدول (۱) خواهند بود. پروتکل‌های TBRPF و WRP پروتکل‌های پیش‌کنشی هستند علاوه بر این WRP از حافظه به میزان بالا استفاده می‌کند و TBRPF مناسب برای شبکه‌هایی با اندازه بزرگ است. دو پروتکل AODV و DSR پروتکل‌های واکنشی هستند این دو می‌توانند انتخاب مناسبی باشند اما AODV از فقدان قابلیت چندمسیری و DSR از فقدان قابلیت چندپخشی رنج می‌برد. در جدول فوق ZRP و ODMRP دارای خواص بسیار مشابه هستند. ZRP سلسله مراتبی و ODMRP مسطح است. در قسمت‌های قبل به این نتیجه رسیدیم که روش مسطح برای مقاصد ما مناسب‌تر است بنابراین، ODMRP را انتخاب می‌کنیم. علاوه بر این ZRP برای محیط‌های طبیعی بزرگ پیش‌بینی‌شده است و برای مقاصد ما مناسب نیست. DREAM دارای عملکرد خوب به‌جز زمانی که گره‌ها تحرک بالایی دارند است که این مشکل می‌تواند در به‌روزرسانی جدول مسیریابی آشکار شود.

جدول (۱): مقایسه پروتکل‌های انتخابی

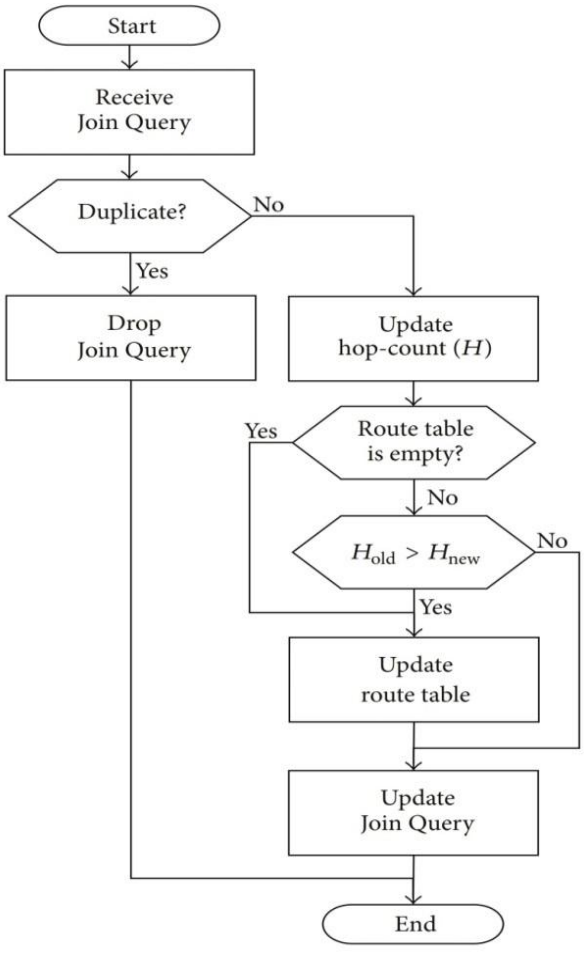
Parameters	TBRPF	WRP	AODV	DSR	ZRP	DREAM	ODMRP	MAODV
رویکرد مسیریابی	تخت	*تخت	تخت	تخت	سلسله مراتبی	/ تخت جغرافیایی	تخت- ساختار مش	تخت- ساختار درختی
طرح مسیریابی	فعال	فعال	واکنشی	واکنشی	**ترکیبی	فعال	واکنشی	واکنشی
ساختار تحویل	مسیریابی هاپ بعدی	مسیریابی مبدأ	مسیریابی هاپ بعدی	مسیریابی مبدأ	مسیریابی هاپ بعدی و مسیریابی مبدأ	مسیریابی سیل‌آسا یا مبدأ بر اساس موقعیت جغرافیایی	انتقال مبنی بر گروه	ساختار درختی مبتنی بر هسته
بدون حلقه	بله	بله، اما آنی نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله
مسیریابی چندمسیره	خیر	خیر	خیر	بله	بله	بله	بله	خیر
مشخصه مسیریابی	کوتاه‌ترین مسیر	کوتاه‌ترین مسیر	کوتاه‌ترین مسیر جدید	کوتاه‌ترین مسیر	کوتاه‌ترین مسیر محلی	کوتاه‌ترین مسیر	کوتاه‌ترین مسیر	کوتاه‌ترین مسیر
تکرار بروز رسانی	در فواصل معین و در صورت نیاز (تغییرات لینک)	در فواصل معین و در صورت نیاز	در صورت نیاز (ترافیک داده)	در صورت نیاز (ترافیک داده)	در فواصل معین و در صورت نیاز	در فواصل معین	در فواصل معین و در صورت نیاز	در صورت نیاز
قابلیت چندپخشی	خیر	خیر	بله	خیر	بله	خیر	بله	بله

۶- آشنایی با پروتکل ODMRP

این پروتکل یک پروتکل چندپخشی بوده و به روش مبتنی بر درخواست، کار می‌کند [۱۸]. این پروتکل از مفهوم گروه جلوبرنده برای ساختن یک توری برای هر گروه چندپخشی استفاده می‌کند [۱۹]. مهم‌ترین ویژگی‌های این پروتکل می‌توان به مواردی مانند انتشار پیام عضوگیری در کل شبکه، نگهداری و بهره‌برداری از مسیرهای چندگانه و تکراری، قابلیت افزایش تعداد گره‌های شبکه، عدم وابستگی به پروتکل‌های مسیریابی تک‌پخشی. از معایب این پروتکل می‌توان به موارد: ارسال تکراری داده به علت پیکربندی توری، وابستگی ترمیم مسیر به پیام‌های درخواست عضویت که متناوباً از سوی منبع منتشر می‌شوند، ارسال دائمی پیام‌های تازه‌سازی مسیر، اشاره کرد. ODMRP یک پروتکل multicast مبتنی بر مش است که در MANET ها استفاده می‌شود [۲۰] این پروتکل یک گروه حمل و نقل گره را با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین مسیرها میان اعضای گروه ایجاد می‌کند [۲۱]. سپس از گروه حمل و نقل تأسیس‌شده برای انتقال داده‌ها بین اعضای گروه استفاده می‌کند. گره‌ها در ODMRP می‌توانند به‌صورت آزادانه بدون هیچ پیام اطلاع‌رسانی به گروه بپیوندند یا گروه را ترک کنند [۲۲]. وقتی‌که یک منبع اقدام به ارسال سیل‌آسای پیام‌های درخواست مسیر می‌کند هر گره‌ای که یک درخواست مسیر غیرتکراری را دریافت کند آدرس گره بالادست را ذخیره می‌کند و بسته را دوباره پخش می‌کند. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که یک مسیر از مبدأ به مقصد کشف گردد. اگر یک گره مقصد چندپخشی پیام درخواست مسیر را دریافت کند، ابتدا یک پیام پاسخ مسیر[1] ایجاد می‌کند و سپس آن را دوباره پخش می‌کند. هر گره‌ای که این پاسخ مسیر را دریافت می‌کند آن را مورد بررسی قرار می‌دهد آیا در مسیر به منبع قرار دارد یا خیر. درصورتی‌که جواب مثبت باشد مجدداً به انتشار بسته می‌پردازد و این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود که بسته

[1] Join Reply

به منبع برسد [۲۳]. پروتکل ODMRP ایجاد و به‌روزرسانی مسیرها را با استفاده از انتشار سیل‌آسای پیام‌های درخواست مسیر[1] انجام می‌دهد. بااین‌حال، سیلاب‌های بیش از حد پهنای باند محدود شبکه‌های ad-hoc را خراب می‌کند و باعث ایجاد سربار بالای کنترل می‌شود. علاوه بر این، سیلاب اغلب باعث تراکم[2] و برخورد[3] می‌شود. بنابراین، پیدا کردن فاصله مطلوب ارسال سیلابی در عملکرد ODMRP بسیار مهم است. شکل (۱) عملکرد کلی پروتکل ODMRP را در ارسال پیام درخواست عضویت تشریح کرده است.



شکل (۲): عملکرد پروتکل ODMRP در ارسال پیام درخواست ضویت

در موارد فوق پروتکل ODMRP با یک رویکرد نرم به حفظ و نگه‌داری اعضای گروه چندپخشی اقدام می‌کند. هیچ پیام مدیریتی خاصی برای پیوستن و یا ترک گروه نیاز نیست و گره‌ها می‌توانند بدون هیچ‌گونه اعلام قبلی نسبت به ترک گروه اقدام کنند.

۷- شبیه‌سازی و مقایسه پروتکل پیشنهادی

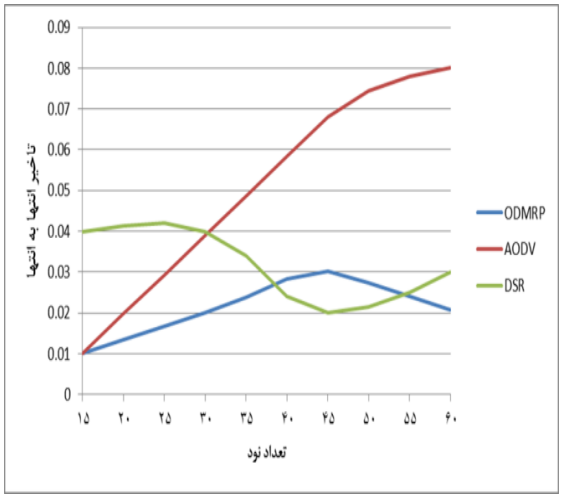
در این بخش پروتکل ODMRP در سه موضوع تأخیر انتها به انتها به‌عنوان تابعی از افزایش تعداد گره‌ها، تأخیر انتها به انتها به‌عنوان تابعی از افزایش سرعت و نرخ تحویل بسته به‌عنوان تابعی از تعداد گره‌ها، مورد شبیه‌سازی و مقایسه قرار می‌گیرد. نرم‌افزار مورداستفاده برای این شبیه‌سازی NS2 است. در این شبیه‌سازی پارامترهایی که افزایش و یا تغییر آن‌ها می‌تواند باعث به‌وجود آمدن اختلال یا مشکل در ارتباط شود مانند افزایش تعداد گره‌ها و یا افزایش سرعت گره‌ها به‌عنوان متغیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اثرات این تغییرات بر روی مواردی ازجمله تأخیر انتها به انتها و نرخ تحویل بسته، که برای داشتن یک ارتباط بهینه دارای اهمیت می‌باشند، شبیه‌سازی گردیده است. شبیه‌سازی در فضایی با وسعت ۵۰۰ *۵۰۰ متر صورت خواهد پذیرفت. ازآنجایی‌که وسایل نقلیه ما به سمت هدف خاصی درحرکت می‌باشند بنابراین، به‌صورت طبیعی حرکت‌های تصادفی نخواهند داشت و حرکات آن‌ها منظم و در یک مسیر مشخص خواهد بود. برای شرایط خاص و درگیری‌های موردی شبیه‌سازی می‌تواند برای چند گره که مجبور به انجام حرکات غیر پیش‌بینی‌شده بشوند صورت پذیرد. ازآنجایی‌که شبیه‌سازی برای وسایل نقلیه‌ای مانند تانک در نظر گرفته‌شده است لذا وجو د موانع طبیعی میان وسایل در این سناریو مطرح نبوده و شبیه‌سازی در یک محیط تقریباً عاری از مانع صورت پذیرفته است. اصولاً یکی از مواردی که در ارتباط وسایل نقلیه مطرح می‌شود موضوع سرعت جابجایی است؛ بنابراین، پروتکل انتخابی ما بایستی دارای جوابگویی قابل‌قبول در مواقع تحرک گره‌ها باشد و ارتباط گره‌ها با افزایش سرعت دستخوش تغییرات نگردد.

۷-۱- تأخیر انتها به انتها به‌عنوان تابعی از افزایش تعداد گره‌ها

مقدار زمانی که به‌طور متوسط طول می‌کشد تا یک بسته از یک نقطه شبکه به نقطه دیگر آن برود، تأخیر بسته را مشخص می‌کند . تأخیر انتها به انتهای بسته توسط پارامترهایی نظیر تأخیر هدایت پیشرو[4]، تأخیر صف‌بندی، تأخیر انتقال و تأخیر سری‌سازی، مشخص می‌شود. در اینجا ما به بررسی و شبیه‌سازی تأخیر انتها به انتهای سه پروتکل ODMRP،AODV و DSR پرداخته و میزان

[1] Join Queries
[2] congestion
[3] collision
[4] forwarding delay

این تأخیر را با توجه به افزایش تعداد گره‌ها محاسبه می‌نماییم. نتایج این بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است.

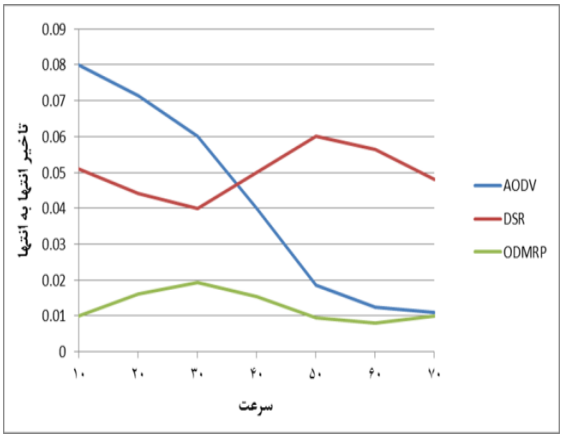


شکل (۳): تأخیر انتها به انتها با افزایش تعداد گره‌ها

همان‌طور که در شکل پیداست در پروتکل ODMRP با افزایش تعداد گره‌ها تأخیر انتها به انتها نیز کاهش می‌یابد. این کاهش به نسبت پروتکل AODV بیشتر مشهود بوده و تقریباً ۴ برابر کمتر شده است.

۷-۲- تأخیر انتها به انتها به‌عنوان تابعی از افزایش سرعت

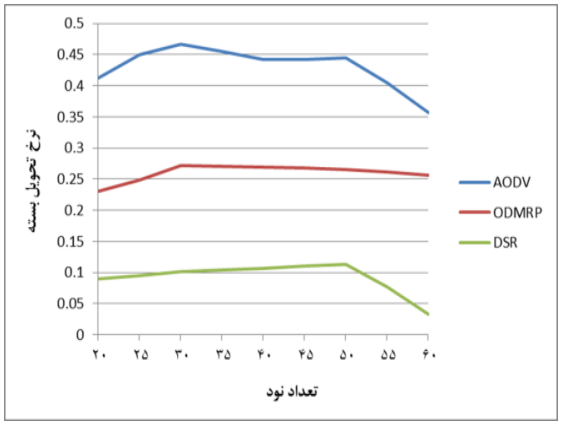
ازآنجایی‌که سرعت حرکت در وسایل نقلیه مهم است می‌بایستی با افزایش سرعت، سرعت تحویل بسته تغییر محسوسی نکرده و کاهش آن به میزان قابل قبولی باشد. در این شبیه‌سازی پروتکل ODMRP با دو پروتکل دیگر بدین گونه شبیه‌سازی می‌شود که در شرایط یکسان سرعت حرکت گره‌ها افزایش پیداکرده و خروجی مورد نظر که همان سرعت تحویل بسته یا تأخیر انتها به انتها است را با دیگر پروتکل‌ها مقایسه می‌گردد. همان‌طور که در شکل (۴) نیز مشخص است پروتکل ODMRP در سرعت‌های پایین و نیز در سرعت‌های بالا دارای تأخیر انتها به انتهای بهتر و پایین‌تری نسبت به دو پروتکل دیگر بوده و حتی با افزایش سرعت، این تأخیر به میزانی کاهش یافته است. این کاهش تأخیر در سرعت‌های بالا و در مقایسه با پروتکل DSR نزدیک به ۴ برابر کمتر شده و در سرعت‌های پایین و به نسبت پروتکل AODV حدود ۸ برابر کاهش داشته است.



شکل (۴): تأخیر انتها به انتها با افزایش سرعت گره‌ها

۷-۳- نرخ تحویل بسته به‌عنوان تابعی از تعداد گره‌ها

پروتکل باید به‌گونه‌ای باشد که با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه و انجام عملیات ارسال توسط، آن‌ها تغییر قابل‌ذکری در بسته‌های تحویلی رخ نداده و باعث از بین رفتن غیرقابل‌قبول بسته‌های ارسالی نگردد. البته در این سناریو تعداد افزایش گره‌ها با توجه به محدود بودن فضای درگیری زیاد نبوده و در تعداد کم این افزایش صورت می‌پذیرد. این مقایسه در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۵): نرخ تحویل بسته با افزایش تعداد گره‌ها

همان‌طور که در شکل (۵) نیز پیداست AODV در ابتدا و با تعداد گره کم دارای نرخ تحویل بسته بیشتری به نسبت سایر پروتکل‌ها است اما با افزایش تعداد گره‌ها این نرخ تحویل به‌سرعت کاهش پیدا کرده است؛ اما در پروتکل ODMRP نرخ تحویل بسته تقریباً ثابت بوده و حتی با افزایش تعداد گره‌ها به میزان قابل‌توجهی کاهش پیدا نکرده است.

۸- نتیجه‌گیری

پروتکل مسیریابی ODMRP با توجه به خصوصیات آن و نیز ویژگی‌های محیطی که این پروتکل در آن کار می‌کند دارای بهترین عملکرد در مقایسه با سایر پروتکل‌ها است. بعد از بررسی پروتکل‌های مختلف به این نتیجه رسیدیم که پروتکل ODMRP بهترین پروتکل برای سناریو نظامی مورد نظر است. در سناریو نظامی پایداری نرخ تحویل بسته و تأخیر انتها به انتها در برابر تغییرات سرعت گره و نیز افزایش تعداد گره‌ها از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. همچنین ازآنجایی‌که ODMRP مسیرهای چندگانه را در فرآیند مسیریابی فراهم می‌کند این پروتکل در برخورد با مشکلاتی مانند محوشدگی[1] و استحکام[2] مسیر دارای قابلیت بالایی است. شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که پروتکل‌هایی که دارای مسیریابی چندگانه هستند به‌خوبی در هنگام تحرک گره می‌توانند جوابگو باشند [۶]. شایان ذکر است این پروتکل در چندین مقاله [۲۴] و [۲۵] مورد بررسی قرار گرفته است و به این نتیجه کلی در این بررسی‌ها رسیده‌اند که ODMRP بهترین پروتکل مسیریابی در میان پروتکل‌های چندپخشی است. همچنین این پروتکل دارای ساختار مبتنی بر مش بوده و ثابت شده است که در زمانی که تحرک در گره‌ها وجود دارد یک ساختار مبتنی برمش بهتر از ساختار مبتنی بر درخت است. این پروتکل با دارا بودن خصوصیاتی ازجمله برحسب تقاضا بودن، دارای ساختار مش، پیش‌بینی چندین مسیر برای دسترسی به مقصد، دارا بودن خاصیت چندپخشی و تک‌پخشی، استفاده از کانال‌های کم و سربار ذخیره‌سازی پایین و سازگاری در برابر تحرک گره‌ها، به‌عنوان بهترین انتخاب برای شرایط مورد استفاده ما است.

۹- مراجع

1. K. Amresh, “A Survey on Current & Traditional Routing Protocols for Ad Hoc Wireless Networks,” IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 13, no. 10, October 2013.
2. C. S. R. Murthy and B.S. Manoj, “Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols,” PRENTICE HALL, 2004.
3. S. V. Albrecht, J. W. Crandall, and Ramamoorthy, “Belief and Truth in Hypothesised Behaviours,” Artificial Intelligence 235, pp. 63–94, 2016.
4. S. Yang and J. Wu, “New technologies of multicasting in MANET,” Design and Analysis of Wireless Networks, Y. Xiao and Y. Pan, Eds. Nova Science Publishers, Baltimore, MD, USA, 2005.
5. M. Weihua, “Research of multicast routing protocol in Ad Hoc network[D],” Beijing: master degree thesis of The national defense science and technology university, 2009.
6. L. M. Feeney, “A taxonomy for Routing Protocols in Mobile Ad-hoc Network,” www.sics.se/~lmFeeney/huc.pdf
7. S. J. Lee, M. Gerla, and C. C. Chiang, “On-Demand Multicast Routing Protocol,” Proceeding of IEEE WCNC, 1999.
8. C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, “Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols,” Pearson Education, 2nd Edition, 2005.
9. C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, “Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols,” Pearson Education, 2nd Edition, 2005.
10. U. D. Prasan and S. Murugappan, “An Analysis on Vehicular Ad-Hoc,” Networks: Research Issues, Challenges and Applications, International Journal of Applied Engineering Research, vol. 11, no. 6, pp. 4569-4575, 2016.
11. مزیدی، آرش، رجب‌زاده، مصطفی، تحلیل، ارزیابی و پیاده‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های موردی، مهندسی کامپیوتر و توسعه پایدار، مشهد، ۱۳۹۲.
12. K. U. R. Khan, R. U. Zaman, and A. V. Reddy, “Performance com-parison of on-demand and table driven ad hoc routing protocols usingnctuns,” pp. 336–341, 2008.
13. P. Laigar, “Analysis of Routing Algorithms for Mobile Ad-Hoc Networks,” Chalmers University of Technology, Department of Computer Engineering, Gothenburg, 2002.
14. Y. Chun, L. Qin, L. Young, and S. MeiLin, “Routing Protocols Overview and Design Issues for Self-Organized Network,” Proceedings of ICCT, 2000.
15. A. Nasipuri and S. R. Das, “On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks,” Proceedings of the 8th Int. Conf. On Computer Communications and Networks (IC3N), Boston, 1999.
16. K. Wu and J. Harms, “On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks,” Proceedings of European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC), Vienna, Austria, 2001.
17. C. Mantelis, “Multicasting in Ad Hoc Networks,” Columbia University, USA. [Electronic] Available:< http://comet.ctr.columbia.edu/~jaekwon/E6768/HarryMantelis-E6768Final.pdf, 2003.
18. K. Abdollahi and A. Shams Shafigh, “Improving performance of ODMRP by Deleting Lost Join Query Packets,” Spain, 2010,
19. Pathirana, “Resilient On Demand Multicast Routing Protocol,” Master of Science thesis, ROCHESTER Institute of Technolog, 2007.
20. Y. Yi, S.-J. Lee, W. Su, and M. Gerla, “Mobile ad hoc networking (manet),” Routing protocol performance issues and evaluation considerations, Internet-Draft (http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-manet-odmrp-04.txt), 2009.

[1] fading
[2] robustness

21. C. Chiang, M. Gerla, and L. Zhang, “Forwarding group multicast protocol (fgmp) for multihop, ” mobile wireless networks, Cluster Computing 1, 1998.

22. S.-J. Lee, W. Su, and M. Gerla, “Wireless ad hoc multicast routing with mobility prediction,” Mob. Netw. Appl., 2001.

23. X. M. Zhang, E. B. Wang, J. J. Xia, and D. Keun Sung, “An Estimated Distance-Based Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” Vehicular Technology, IEEE Transactions, 2011.

24. S. J. Lee, W. Su, and M. Gerla, “On-Demand Multicast Routing Protocol in Multihop Wireless Mobile Networks,” ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications, special issue on Multipoint Communications in Wireless Mobile Networks, 2009.

25. S. J. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla, and R. Bagrodia, “A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols,” Proceedings of IEEE INFOCOM, Tel aviv, 2000.

Title: Reviewing routing protocols in adhoc mobile networks and selecting the appropriate protocol for an adhoc mobile military case

S. A. Ghasemi, M. R. Hasani Ahangar[*], A. Ghafouri

Abstract

Regarding the limitations of wired networks, such as geographical constraints, positioning limitations, high cost of building the necessary infrastructure, and construction lag of infrastructures etc, wireless networks have received considerable attention. In the meantime, adhoc mobile networks have received special attention due to the features such as lack of central management and infrastructure, as well as high mobility. A mobile network is a network independent of router nodes connected to each other by wireless links. In this network, routers move randomly and independently organize themselves; therefore, the wireless network topology is changing frequently and unpredictably, which has become one of the challenges of using these networks. If the routing protocol is not selected according to the application's circumstances, it will cause many problems. In this paper, we explore mobile adhoc networks and then we will propose an optimal routing protocol for mobile military communications. This proposal has been presented with regard to the characteristics of a military connection. The simulation results demonetrate optimal performance of this protocol compared to other protocols.

Key Words: *Wireless networks, mobile adhoc networks, routing protocols, ODMRP protocols*

[*] Imam Hossein Comprehensive University - (mrhasani@ihu.ac.ir) - Writer-in-Charge