

مروری جامع بر الگوریتم‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های اقتضایی متحرک

سارا کاوئی^۱، بهرنگ برکتین^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

خلاصه

شبکه‌های اقتضایی متحرک بی سیم یکی از انواع شبکه‌های اقتضایی می باشد، که از گره‌های متحرک و مستقل با قابلیت خود پیکر بندی تشکیل شده و هیچ ساختار از پیش ساخته شده ای ندارد. اما به دلیل توپولوژی پویا، این شبکه‌ها با چالش‌های گوناگونی از جمله سربار، ازدحام و نامشخص بودن مسیر و سرعت حرکت گره‌ها روبرو هستند. ازدحام زمانی روی می دهد که حجم کلی ترافیک وارد شده به شبکه یا قسمتی از آن، از میزان منابع در دسترس تجاوز کند. تحقیقات زیادی در زمینه ازدحام در شبکه‌های ادهاک انجام شده و تکنیک‌های مختلفی برای کنترل ازدحام ارائه شده است. کنترل ازدحام به تکنیک‌ها و مکانیزم‌هایی اشاره می کند که می توانند از ازدحام جلوگیری و یا آنرا از بین ببرند. هدف این مقاله بررسی انواع الگوریتم‌های موجود جهت کنترل ازدحام و مقایسه آن‌ها می باشد. نتایج حاصل از این مطالعه، نشان می دهد استفاده از روش‌های ارائه شده بر محوریت پروتکل‌های واکنشی عملکرد بهتری به نسبت دیگر روش‌ها دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: خود پیکر بندی، توپولوژی پویا، سربار، ازدحام، پروتکل‌های واکنشی

¹ Skaveh2015@gmail.com

² Correspondence Author: Behrang_Barekatin@iaun.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه شبکه‌های اقتضایی متحرک^۱ وسیله‌ای ارتباطی در زندگی روزمره انسان به شمار می‌رود و کاربردهای آن به سرعت در حال رشد می‌باشد. این شبکه‌ها که در صنایع نظامی، تجاری و صنعتی کاربرد دارند، مزایای متعددی از جمله هزینه کم، نگهداری ساده و پوشش خدمات مناسب دارند [1]. شبکه‌های اقتضایی متحرک به خاطر ماهیت متحرک بودنشان نظر بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. از آنجایی که توپولوژی در این شبکه‌ها ثابت نیست، الگوریتم مسیریابی متفاوتی نیز برای آن، نسبت به شبکه‌های ثابت پیشنهاد شده است. پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های اقتضایی متحرک بر اساس مکانیزم به روز رسانی، اطلاعات مسیریابی‌شان را در سه گروه پروتکل پیش‌فعال^۲، واکنشی^۳ و ترکیبی^۴ جای می‌دهند [2,3]. برای هر کدام الگوریتم‌های متعددی در جهت افزایش کارایی این شبکه‌ها، افزایش طول عمر شبکه، کنترل ازدحام و تحمل پذیری خطا پیشنهاد شده است. شبکه‌های اقتضایی متحرک در مقایسه با سایر شبکه‌های بی‌سیم دارای پهنای باند و دامنه ارتباط محدود هستند، مسیریابی یکی از چالش‌برانگیزترین جنبه‌های شبکه‌های اقتضایی متحرک است و همه‌ی این محدودیت‌ها همراه با توپولوژی پویا شبکه باعث افزوده شدن بر پیچیدگی مسیریابی و ارسال اطلاعات در شبکه‌های اقتضایی متحرک شده است [4]. تلاش اکثر پروتکل‌های مسیریابی بر کنترل ازدحام بواسطه‌ی توزیع و توازن مناسب بار می‌باشد. در این مقاله ابتدا در مورد پروتکل‌های مسیریابی بحث خواهد شد و سپس پروتکل‌های مسیریابی تعادل بار کنترل ازدحام مورد بررسی و مطالعه قرار داده و ضمن مطالعه‌ی مقایسه‌ی این پروتکل‌ها به بحث در مورد این پروتکل‌ها خواهیم پرداخت.

۲. پروتکل‌های مسیریابی

ازدحام یکی از مقوله‌های مهم شبکه‌های اقتضایی است که وجود آن، مبتنی بر عملکرد پروتکل‌های مسیریابی است. عملکرد پروتکل‌های مسیریابی با توجه به نحوه انتخاب مسیر و انجام تبادلات خود دلیلی است بر ایجاد ازدحام، پس ما ابتدا بصورت اجمالی انواع پروتکل‌های مسیریابی در این شبکه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم و سپس به تفضیل در مورد پروتکل‌هایی بر مبنای این نوع پروتکل‌ها که با رویکرد کنترل ازدحام ارائه شده اند خواهیم پرداخت.

پروتکل‌های مسیریابی بین هر دو گره در این شبکه به دلیل اینکه هر گره‌ای می‌تواند بطور تصادفی حرکت کند و حتی می‌تواند در زمانی از شبکه خارج شده باشد، مشکل می‌باشند. به این معنی که مسیری که در حال حاضر بهینه است ممکن است چند ثانیه بعد وجود نداشته باشد. در زیر سه دسته از پروتکل‌های مسیریابی معرفی می‌گردد [5].

۱.۲. پروتکل‌های فعال

در این روش مسیریابی هر گره‌ای اطلاعات مسیریابی را با ذخیره اطلاعات محلی سایر گره‌ها در شبکه استفاده می‌کند و این اطلاعات سپس برای انتقال داده از طریق گره‌های مختلف استفاده می‌شوند. تلاش پروتکل‌های مسیریابی فعال حفظ

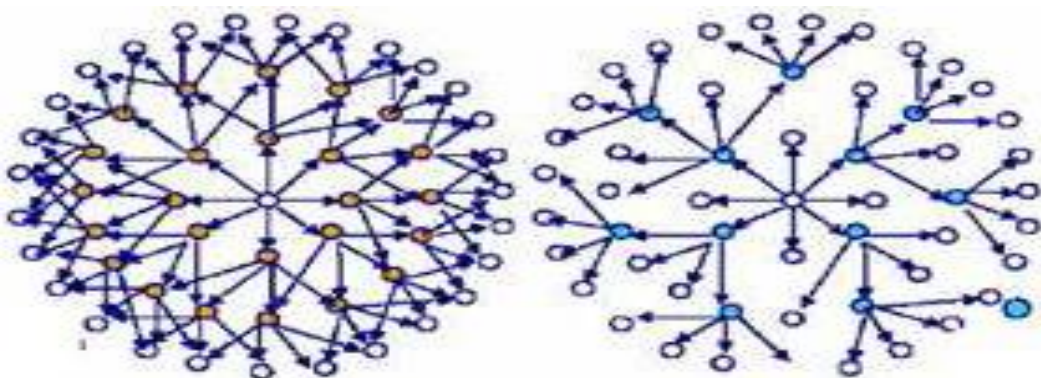
¹ Mobile ad hoc

² Pro active

³ Reactive

⁴ Hybrid

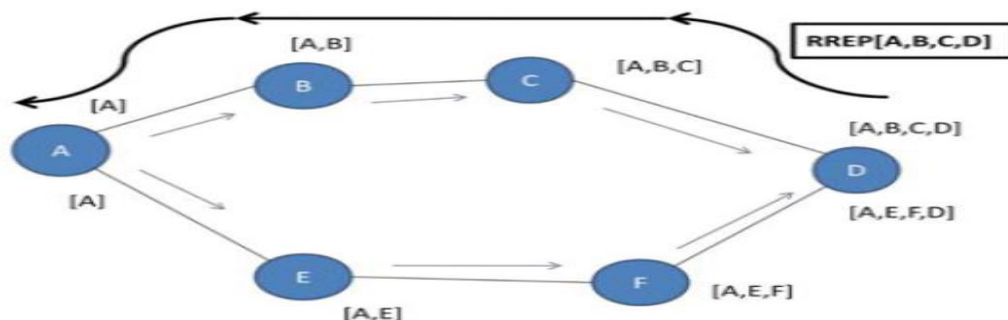
سازگاری اطلاعات مسیریابی در هر گره توسط تبلیغ آن در سراسر شبکه است. هر چند که همیشه می توان از یک مسیر به مقصد (در صورت وجود) با استفاده از اطلاعاتی که در سطح سراسری جمع آوری شده است، استفاده کرد. بطور کلی روش فعال نیاز به انتقال تعداد زیادی بسته دارد که باعث مصرف توان زیادی از گره ها می شود. در شکل ۱ چگونگی مسیریابی پروتکل های فعال نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می کنید هر گره اطلاعات مسیریابی را بصورت همه پخشی^۱ برای سایر گره ها ارسال می کند و اطلاعات مسیریابی را در هر گره، توسط تبلیغ آن در سراسر شبکه بدست می آورد [3].



شکل ۱- مثالی از نحوه مسیریابی پروتکل های فعال

۲.۲. پروتکل های واکنشی

در این دسته از پروتکل ها هیچ یک از گره های شبکه مسیری به مقصد ندارند و اگر در طول عمر شبکه گره مورد نظر به هیچ یک از گره های شبکه ارسال اطلاعات انجام ندهد تا انتهای عملیات شبکه به هیچ یک از گره های شبکه مسیری نخواهد داشت. در این دسته از پروتکل های مسیریابی، عملیات کشف مسیر تنها در صورتی انجام می گیرد که گره ای از شبکه قصد ارسال اطلاعات برای یکی دیگر از گره های شبکه را داشته باشد. در این صورت جهت عملیات کشف مسیر در گره مبدأ با همه پخشی بسته های درخواست مسیری^۲ و پاسخ این بسته توسط گره مقصد با بسته های پاسخ مسیری^۳، این امر صورت می پذیرد. در شکل ۲ چگونگی مسیریابی پروتکل های واکنشی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بعد از اینکه بسته درخواست مسیری، به صورت گره به گره از مبدأ A به مقصد D رسید، سپس مقصد در جهت معکوس، بسته پاسخ مسیری را برای مبدأ خواهد فرستاد [6].



¹ Multi casting

² RREQ :Road Request

³ RREP: Road Reply

شکل ۲- مثالی از نحوه مسیریابی پروتکل های واکنشی

۳.۲. پروتکل های ترکیبی

این دسته از پروتکل ها جهت مسیریابی و کشف مسیر از ترکیبی از خصوصیات هر دو دسته پروتکل های مسیریابی واکنشی و پیش فعال استفاده می کنند. عملکرد این دسته از پروتکل ها به این شکل می باشد که اطلاعات مسیریابی علاوه بر این که به صورت دوره ای ارسال می شود، مبدأ هنگامی که قصد ارسال اطلاعات دارد مسیریابی برحسب تقاضا نیز انجام می دهد. با این تفاوت که ارسال دوره ای اطلاعات در دوره های بلندتری انجام شده و مسیریابی برحسب تقاضا فقط در هنگامی که مسیر معتبری به مقصد وجود ندارد انجام می شود [7].

جدول ۱- بررسی پروتکل های مسیریابی

معایب	مزایا	نحوه مسیریابی	نوع پروتکل
در شبکه ها با تحرک بالا، سر بار و حافظه زیادی دارند.	مسیرها بدون تأخیر در دسترس هستند.	هر گره ای اطلاعات مسیریابی را با ذخیره اطلاعات محلی سایر گره ها در شبکه استفاده می کند و این اطلاعات سپس برای انتقال داده از طریق گره های مختلف استفاده می شوند.	پیش فعال
افزایش تأخیر	در شبکه های متحرک با تحرک بالا، نیاز به سر بار، حافظه و انرژی کمتری دارد	در این دسته از پروتکل های مسیریابی، عملیات کشف مسیر تنها در صورتی انجام می گیرد که گره ای از شبکه قصد ارسال اطلاعات برای یکی دیگر از گره های شبکه را داشته باشد.	واکنشی
وابسته به شرایط شبکه می تواند بصورت نامطلوب عمل کند.	کاربرد آن برای هر دو نوع شبکه های متحرک و ثابت بوده، و بنا بر کاربرد شبکه می تواند بصورت بهینه عمل کند.	جهت مسیریابی و کشف مسیر از ترکیبی از خصوصیات هر دو دسته پروتکل های مسیریابی واکنشی و پیش فعال استفاده می کنند	ترکیبی

همانطور که گفته شد پروتکل های مسیریابی به این سه دسته تقسیم می شوند. و با توجه به جدول ۱ و آنالیز معیارها در این جدول، پروتکل های واکنشی به نسبت عملکرد آن ها برای استفاده در شبکه های اقتضایی مطلوبتر می باشد، و به همین دلیل اکثر پروتکل ها بر مبنای پروتکل های واکنشی ارائه شده اند که در ادامه بصورت جزئی تر در مورد ازدحام و نحوه عملکرد این پروتکل ها خواهیم پرداخت.

۳- بررسی ازدحام و توازن بار در شبکه های اقتضایی

به منظور درک ازدحام و وابستگی آن به نحوه عملکرد پروتکل ها، بایستی یک دید کلی در مورد ازدحام داشته باشیم که در این قسمت خصوصیات ازدحام گفته می شود. عملکرد پروتکل های مسیریابی در شبکه های اقتضایی متحرک به روی انتخاب

مسیرهایی با کمترین تاخیر و همچنین کمترین میزان نرخ از دست رفتن بسته است. همین امر باعث بوجود آمدن ازدحام در یک سری مسیر مشخص می‌شود که اصطلاحاً مسیرهای میانی نامیده می‌شوند. در نتیجه وقوع ازدحام در این گونه شبکه‌ها قابل پیش‌بینی می‌باشد و به این صورت تعریف می‌شود که اگر بار ترافیکی شبکه (تعداد بسته‌هایی که در بستر شبکه ارسال می‌شوند) بیشتر از ظرفیت مسیری (تعداد بسته‌هایی که در مسیر مورد نظر می‌تواند تبادل شود) باشد ازدحام بوجود می‌آید. که وجود ازدحام باعث بروز مشکلات عدیده ای می‌شود از جمله افزایش تأخیر، از دست رفتن بسته‌ها، کاهش توان عملیاتی و پهنای باند همچنین هدر رفتن زمان و انرژی می‌شود [1,8].

زمانیکه پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های اقتضایی آگاهانه رفتار نکنند نتایجی از جمله تأخیر طولانی، سربار بالا و گم شدن بسته‌ها¹ را به همراه دارد [9,10,11].

کنترل ازدحام به تکنیک‌ها و مکانیزم‌هایی اشاره می‌کند که می‌تواند از ازدحام جلوگیری کند و تأثیرات منفی آن را کاهش دهد. هدف اصلی کنترل ازدحام، کاهش تاخیر تبادلات و سربار (در مسیر خاصی) بوده و همچنین شبکه را برای عملکرد بهتر آماده می‌کند. معیارهای تعیین کننده برای آنالیز ازدحام، نرخ بسته‌های از دست رفته به خاطر کمبود فضای بافر گره‌ها، میانگین طول صف بسته‌های منتظر برای سرویس، نرخ بسته‌ها بر اساس سرریز بافر، ارسال‌های مجدد و میانگین تأخیر بسته‌ها می‌تواند باشد [12].

برای از بین بردن ازدحام شبکه محققان زیادی، پیشنهاد استفاده از استراتژی مدیریت صف² و توازن بار³ در بستر شبکه را داده‌اند. ایده اصلی فراهم کردن راه‌کاری به منظور مدیریت یا حذف مشکلات ناشی از ازدحام می‌باشد. تکنیک تعادل بار تکنیک دیگریست که در برخی از الگوریتم‌ها استفاده شده است [13]. هدف اصلی از پروتکل‌های تعادل بار منحرف کردن ترافیک داده از مسیرها و گره‌هایی که در حال حاضر ازدحام در آن وجود دارد، و یا مقدار بزرگتر از داده‌ها در حال عبور از آن‌ها نسبت به گره‌های دیگر و یا سایر مسیرهاست، می‌باشد.

۳- الگوریتم‌های کنترل ازدحام

کنترل ازدحام روشی است که برای نظارت بر فرایند تنظیم مقدار کل داده‌هایی که به شبکه وارد شده، استفاده می‌گردد، بطوریکه سطح ترافیک را در سطح قابل قبولی نگه دارد. کنترل ازدحام برای جلوگیری از ازدحام و یا بهبود کارایی بعد از ازدحام نیاز است [12]. تکنیک‌های مختلفی جهت شناسایی و کنترل ازدحام پیشنهاد شده اند که در ادامه تعدادی از این الگوریتم‌ها آورده شده است.

در [1] تکنیکی پیشنهاد شده که ازدحام را پیش‌بینی کرده و سپس ترافیک با پیدا کردن یک مسیر بدون ازدحام سازگار می‌کند. در این الگوریتم (DCDR)⁴، کاهش ازدحام شبکه از طریق کاهش سیل آسهای غیر ضروری بسته‌ها و پیدا کردن یک

¹ Packet Lost

² Queue Management

³ Load Balancing

⁴ Dynamic congestion detection and control

مسیر بدون ازدحام بین مبدأ و مقصد انجام می‌گیرد. زمانی که منبع قصد ارسال بسته به مقصد را دارد، ابتدا یک CFS¹ (مجموعه بدون ازدحام) می‌سازد و سپس فرایند کشف مسیر را با استفاده از CFS برای شناسایی یک مسیر بدون ازدحام آغاز می‌کند. در حالتی که پروتکل DCDR بدلیل اینکه شبکه در حال حاضر در وضعیت ازدحام است، نتواند CFS بسازد نمی‌تواند فرایند کشف مسیر را آغاز کند. در نتیجه اینکار سربار سیل آسای بسته‌ها را کاهش می‌دهد. این تکنیک مزایای مختلفی شامل جلوگیری یا کاهش گم شدن بسته‌ها، کاهش تاخیر و بهبود کلی کارایی شبکه دارد. همچنین از محدودیت‌های این پژوهش، حجم اطلاعاتی که بین گره‌ها توزیع می‌کنند زیاد است و با افزایش تعداد گره‌ها سربار زیادی برای شبکه به‌همراه دارد در صورت شکست مسیر کشف مسیر دوباره باید انجام شود که باعث تأخیر می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی در [14]، زمانی که میانگین بار لینک موجود از حد آستانه تعیین شده افزایش پیدا می‌کند و پهنای باند در دسترس و انرژی باقی مانده باتری از حد آستانه تعیین شده کمتر شود، برای کاهش بار لینک متراکم شده ترافیک بین چند مسیر توزیع می‌شود. این الگوریتم (CAMRLB)² مسیریابی با خرابی امن را محاسبه می‌کند. از مزایای این الگوریتم، افزایش توان عملیاتی، افزایش نرخ ارسال پکت و کاهش تأخیر می‌باشد. همچنین از محدودیت‌های این پژوهش این است که، بعلاوه اینکه توزیع بار در حین ارسال داده انجام می‌شود، در صورتیکه مسیر مناسبی یافت نشود امکان از بین رفتن داده‌ها وجود دارد.

در [9] الگوریتمی پیشنهاد شده که در این الگوریتم (ABCC)³، کلیه اطلاعات مربوط به شبکه توسط عامل‌های متحرک جمع‌آوری و به منبع تحویل داده می‌شود. نود منبع بهترین مسیر را انتخاب کرده و داده‌ها را ارسال می‌کند. از مزایای این الگوریتم می‌توان به نرخ دریافت بالا و افزایش توان عملیاتی با کاهش تأخیر اشاره کرد. و از جمله محدودیت‌های الگوریتم این است که، سربار مناسب با تعداد عامل‌های متحرک زیاد می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی در [15] که پروتکل AOMDV⁴ را بهبود می‌بخشد، مسیرها بر اساس سایز صف گره‌ها انتخاب می‌شوند. منبع در پیام درخواست مسیر خود، مقداری را برای ازدحام تعیین می‌کند. زمانی که گره‌های میانی پیام درخواست مسیر را دریافت می‌کنند. اگر سایز صف مناسب باشد، گره می‌تواند در ارتباطات شرکت کند در غیر این صورت گره از ارتباطات حذف می‌شود. گره منبع ازدحام را در هر گره محاسبه کرده و بهترین مسیر را انتخاب می‌کند. مسیرهای دیگر بعنوان مسیر ثانویه برای پشتیبانی در زمانی که مسیر اصلی دچار شکست می‌شود در نظر گرفته می‌شود. از جمله مزایای الگوریتم می‌توان به تأخیر کم، توان عملیاتی زیاد و کاهش گم شدن بسته اشاره کرد. و از محدودیت‌های این الگوریتم، امکان پیدا نشدن مسیری متناسب با میزان تعیین شده توسط منبع، وجود دارد.

در [16] الگوریتمی بنام CRP⁵ ارائه شده که سعی در سازگاری ازدحام دارد. در این الگوریتم زمانی که یکی از گره‌ها در مسیر اصلی دچار ازدحام شده، با آگاه کردن گره قبلی باعث می‌شود تا گره قبلی به دنبال یک مسیر جایگزین با دور زدن گره

¹ Congestion Free Set

² Congestion Adaptive Multipath Routing Load Balancing

³ Agent Based Congestion Control

⁴ Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector

⁵ Core-zone Routing Protocol

متراکم بگردد و در ادامه ارسال بسته‌ها را از مسیر جایگزین پیش بگیرد. در این الگوریتم یک گره سه حالت سبز (حجم بافر کمتر از نصف آن است و گره متراکم نیست)، زرد (حجم بافر بیشتر از نصف است و ممکن است متراکم شود) و قرمز (بافر بسته شده و در حال حاضر پر است) قرار می‌گیرد. مسیر جایگزین مسیری از یک گره به گره سبز بعدیش می‌باشد. از مزایای این الگوریتم می‌توان به بهبود تأخیر، کاهش تأخیر و کاهش گم شدن بسته اشاره کرد. و از محدودیت‌های این پژوهش این است که، تغییر مسیر در حین ارسال پکت‌ها انجام می‌شود که ممکن است پکت‌ها هدر رود.

در [17] الگوریتمی بنام RED¹ پیشنهاد شده که از تکنیک AQM² استفاده می‌کند. این مکانیزم که بر اساس این ایده طراحی شده است که ازدحام را قبل از اتفاق افتادن تشخیص دهد، مکانیزمی مفید بویژه در شبکه‌هایی با سرعت انتقال بالا است. روش کار الگوریتم به این صورت است که اگر بافر خالی باشد همه ی بسته‌های ورودی تصدیق می‌شوند. با افزایش سایز صف احتمال دور انداختن بسته‌ها بالا می‌رود. زمانی که صف پر شود، احتمال ۱ شده و بسته‌های ورودی حذف می‌شوند. از مزایای این الگوریتم می‌توان به کاهش از دست رفتن بسته‌ها و تأخیر صف، جلوگیری از همگام شدن سراسری منابع، حفظ سودمندی بالای لینک اشاره کرد. و از محدودیت‌های این الگوریتم ای است که، زمانیکه صف در روتر شروع به پر شدن می‌کند در صد کمی از بسته‌ها حذف می‌شوند.

در [18] الگوریتمی بنام AOMDV-C³ برای تعادل بار ارائه شده است. در این الگوریتم بعد از اینکه گره منبع پیام درخواست مسیر را برای همسایگانش ارسال کرد. با استفاده از یک الگوریتم تأخیر، تأخیر بازگشت پاسخ‌ها را محاسبه می‌کند. گره‌هایی که زودتر از زمان در نظر گرفته شده پاسخ ندهند، بعنوان گره متراکم شناخته شده و در ارتباطات سهمی ندارند. با این روش گره نسبتاً بیکار شناسایی می‌شود. از مزایای این الگوریتم می‌توان به کاهش تأخیر، کاهش نرخ از دست رفتن بسته‌ها و بهبود کلی کارایی اشاره کرد. و از محدودیت‌های این پژوهش این است که امکان در نظر گرفتن مسیرهای طولانی با این وجود که دچار ازدحام هستند وجود دارد.

در [19] یک پروتکل مسیریابی چندمسیری برحسب تقاضا تحت عنوان پروتکل SMR⁴ با رویکرد ایجاد مسیرها با حداکثر از هم گسستگی را ارائه می‌نماید. در این پروتکل مقصد دو مسیر را انتخاب می‌نماید به طوری که حداکثر گسستگی را از هم داشته و همچنین مسیر اصلی یا اولیه دارای حداقل تأخیر بین مسیرهای موجود باشد تا روش ارائه شده برای کاربردهای حساس به تأخیر نیز مؤثر باشد. در ادامه داده‌های ارسالی در سطح مسیرها توزیع شده تا ازدحام با انتشار داده‌ها در دو مسیر در سطح شبکه منتشر شود. همچنین با توجه به مسیرهای بهینه منابع شبکه به صورت مطلوب استفاده شود. مزیت اصلی این پروتکل این است که از مسیریابی چند مسیری استفاده می‌کند و برای کاربردهای حساس به تأخیر مناسب است و محدودیت این روش این است که در این پروتکل نیز مسیرهای افزونه با مدیریت مطلوبی ایجاد نگردیده و افزونگی با هدف پشتیبانی نمی‌گردد. در واقع با توزیع ترافیک در مسیرهای میانی شبکه مواجه خواهیم بود که ازدحام را در این مسیرها افزایش داده و همچنین اتمام طول عمر گره‌های میانی را در ادامه عملکرد شبکه به همراه دارد.

¹ Random early detection

² Active Queue Management

³ Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector-congestion

⁴ Split Multipath Routing

در [20] پروتکلی مبتنی بر ERASURE CODING ارائه شده است که جهت بهره‌وری از اتصالات شبکه، توزیع بار و کنترل ازدحام از مفهوم مسیریابی چند مسیری به همراه استفاده از مقوله Erasure Coding با بهره‌گیری از ماتریس دو بعدی استفاده شده است. جهت کنترل ازدحام و توزیع بار در شبکه، بسته‌های ارسالی در مبدأ با تکیه بر Erasure Coding و ماتریس دو بعدی به n قسمت شکسته شده و این سهم‌ها از مسیرهای چندگانه برای مقصد ارسال می‌شوند. در مقصد یک فرآیند تشکیل مجدد فراخوانی شده و با قرار دادن سهم‌های دریافتی در ماتریس و ضرب ماتریسی بسته اصلی را بازسازی می‌کند. مزیت اصلی این پروتکل این است که با توجه به اینکه بسته‌های ارسالی به چند سهم شکسته می‌شود برای کنترل ازدحام و توزیع بار مناسب است ولی محدودیت‌های این پژوهش نبود راه‌کاری به منظور آنالیز ترافیک مسیرها و هر گرهی شبکه می‌باشد و با توجه به این که توزیع بار در شبکه صورت می‌گیرد ولی این توزیع بار به صورت مدیریت شده با هدف کنترل ازدحام نبوده و تعداد خاصی از مسیرهای میانی را به منظور توزیع بار درگیر کرده و ازدحام را در این مسیرها افزایش می‌دهد. از دیگر محدودیت‌های این روش افزایش محاسبات و تأخیر ارسال‌ها را می‌توان نام برد.

در [21] پروتکلی مبتنی بر REED-SOLOMON ارائه شده است که جهت کنترل ازدحام و توزیع بار از روشی مشابه با مرجع پیش، مبدأ با استفاده از کدهای Reed-Solomon بسته اصلی را به n سهم کد کرده و سهم‌ها را از مسیرهای مستقل از هم (که در هنگام عملیات مسیریابی توسط مبدأ کشف شده‌اند) به سمت مقصد ارسال می‌کند. با توجه به ماهیت کدهای Reed-Solomon مقصد می‌تواند با دریافت m سهم که $(m < n)$ است، بسته اصلی را بازسازی کند. در این مفهوم توزیع بار با افزایش حجم بسته‌های ارسالی با توجه به روش پیشنهادی انجام می‌گیرد. مزیت اصلی این پروتکل این است که با توجه به m سهم کد شدن بسته، توزیع بار در شبکه بوجود می‌آید و از محدودیت‌های این پژوهش توزیع بار نامتوازن شبکه و افزایش ترافیک برخی مسیرهای خاص شبکه می‌باشد. از طرفی روش پیشنهادی با مصرف میزان انرژی بالای مسیریابی و ارسال همراه است. همچنین در صورت افزایش گره‌ها سرعت شبکه به صورت نمایی کاهش می‌یابد.

در [22] پروتکلی با طرح مسیریابی چندمسیری گره به گره تحت عنوان MDR¹ ارائه گردید. هدف اصلی این کار کنترل ازدحام و افزایش نرخ تحویل بسته می‌باشد که برای رسیدن به این امر سعی بر آن بوده که میزان ترافیک سطح کلی شبکه را در حد پایینی نگه داشت. همچنین سعی بر آن بوده تا با استفاده از مفهوم کدهای پاک‌شدگی افزایش نرخ تحویل به خوبی پشتیبانی گردد. مزیت اصلی این پروتکل این است که با توجه به اینکه از طرح مسیریابی چند مسیری استفاده می‌کند کنترل ازدحام و افزایش نرخ تحویل بسته را به خوبی پوشش می‌دهد و از محدودیت‌های این روش این است که کنترل ازدحام به شدت منابع شبکه از جمله منبع انرژی، ترافیک شبکه و دیگر منابع شبکه را تحت تأثیر منفی خود قرار می‌دهد، به طوری که این افزونگی بدون مدیریت لازم نبوده و ضرورت ندارد.

در [23] پروتکلی مبتنی بر حساسیت ارائه گردید که به بهینه کردن توازن بار در کاربردهای مختلف، بر روی کیفیت سرویس ارائه شده برای جریان داده‌های مختلف تأکید می‌گردد. در این روش، دو ترافیک مختلف BE² که حساسیت زمانی

¹ Multipath On-Demand Routing

² Best Effort

خاصی ندارد و ترافیک RT¹ (زمان حقیقی) که به تأخیر زمانی حساس می‌باشد، معرفی می‌گردد و برخورد گره‌های میانی در طول یک مسیر با این دو جریان متفاوت است. گره‌ها در برخورد با جریان‌های BE، گره‌های بعدی را از روی گره‌هایی با حداکثر انرژی موجود انتخاب می‌نمایند تا احتمال از دست رفتن بسته به دلیل عدم کارایی را در شبکه کاهش دهند. ولی در مورد جریان‌های RT، گره‌هایی با حداقل فاصله با مقصد ترجیح داده شده تا تأخیر ناشی از ارسال اطلاعات به حداقل مقدار ممکن برسد. البته در این روش برای هر دو جریان، توازنی میان کاهش از دست رفتن بسته و حداقل فاصله با مقصد ایجاد گردیده است. مزیت اصلی این پروتکل این است که با توجه به استفاده از ترافیک‌های حساس به تأخیر زمانی، سعی در به حداقل رساندن نرخ تأخیر بسته دارد. محدودیت این روش در این است که تمرکز روی کنترل بهینه ازدحام در شبکه نشده و به دلیل کاهش تأخیر مسیرهای میانی با ازدحام بالا مواجه خواهند شد.

در [24] پروتکلی بنام AMODV ارائه شد که تمرکز عملیاتی این پروتکل بر روی گسترش پروتکل پایه AODV به همراه استفاده از مفهومی تحت عنوان مسیریابی چندمسیری اتصال گسسته و خالی از حلقه می‌باشد. این فرایند به پروتکل قابلیت یافتن مسیرهای چندمسیری از هم گسسته با هزینه برابر بین مبدأ و مقصد را می‌دهد. مزیت اصلی این پروتکل این است که با توجه به اینکه تمرکز این پروتکل بر پروتکل پایه AODV است در نتیجه از مسیر یابی چند مسیری استفاده می‌کند که به نحوی کنترل ترافیک را در بر دارد و از محدودیت‌های این روش این است که مفهوم کنترل ازدحام با بهره‌وری از اتصالات موجود در شبکه به صورت مطلوبی پشتیبانی نگردیده و تنها تمرکز بر روی یافتن مسیرهای چندگانه بین مبدأ و مقصد می‌باشد.

در [25] پروتکلی بر پایه‌ی تشکیل درخت پوشا هنگام کشف مسیر استفاده شده است. تمرکز این پژوهش در این راستا استوار است که سعی در انتقال کارا با کمترین میزان از دست رفتن بسته در شبکه را دارد. روش کار به این صورت است که گره‌ای که بیشترین انرژی باقی‌مانده را دارد به‌عنوان ریشه انتخاب می‌گردد و تبادلات با استفاده از این گره در مسیر شبکه انجام می‌گیرد. در این روش یک مدیریت پویا نیاز است تا انتخاب گره‌ها را به صورت مؤثر در سطح شبکه انجام دهد. مزیت اصلی این پروتکل در این است که با توجه به انتخاب کردن مسیرهایی با بیشترین انرژی سعی در کاهش نرخ از دست رفتن بسته در شبکه را دارد و اما محدودیت این روش این است که در این روش پیچیدگی بالا به دلیل آگاهی گره‌ها از میزان کارایی گره‌های شبکه در طول عمر شبکه وجود دارد. همچنین روش پیشنهادی توجهی به کنترل ازدحام کلی شبکه نداشته و تنها کاهش از دست رفتن بسته به منظور پیش‌گیری از ازدحام را پشتیبانی می‌نماید و کنترل ازدحام کلی شبکه را به همراه ندارد.

در [26] پروتکلی تحت عنوان MSR² ارائه گردید تمرکز این پروتکل بر روی توزیع بار به همراه تصدیق گام به گام می‌باشد. در ادامه عملکرد هر مرحله به تفکیک توضیح و ارائه گردیده است:

¹ Real Time

² A multipath secure reliable routing protocol for WSNs

۱- مسیریابی چندگانه برحسب تقاضا: فرآیند کشف مسیر با ارسال بسته‌های درخواست مسیر انجام می‌شود. مقصد بعد از دریافت اولین بسته درخواست مسیر برای مدت زمان مشخصی صبر می‌کند تا تمام بسته‌های درخواست مسیر برسند. سپس هر بسته دریافتی درخواست مسیر را با یک بسته پاسخ مسیر از طریق مسیر معکوس پاسخ می‌دهد.

۲- افزودن تأیید غیرفعال: اشاره دارد به این که هر گره بعد از ارسال بسته به حالت بی‌قاعده رفته و به خط گوش می‌دهد که گره دریافت‌کننده بسته، بسته را برای گام بعدی ارسال می‌کند یا خیر. اگر گره‌ای بسته دریافتی را ارسال نکند گره ارسال‌کننده بسته بعد از زمان مشخصی مجدداً بسته را برای گره مورد نظر ارسال می‌کند.

۳- توزیع بار شبکه در بین اتصالات کشف شده. در این کار بهره‌وری هر اتصال با پخش کردن عملیات بین اتصالات بالا می‌رود.

مزیت اصلی این روش در این است که با توجه به این که تمرکز این پروتکل بر روی توزیع بار به همراه تصدیق گام به گام می‌باشد در نتیجه سعی در توزیع مناسب بار در شبکه گردیده است. از محدودیت‌های این روش می‌توان به افزایش سربار و ازدحام با توجه به نحوه عملکرد پروتکل در فرایند توزیع بسته در مبدأ اشاره نمود

در [27] پروتکلی تک مسیره و چند مسیره بر حسب تقاضا ارائه گردید که به روی مفهوم کنترل ازدحام به همراه افزایش قابلیت اطمینان تمرکز گردیده است. در این کار عملکرد پروتکل‌های تک مسیره و چندمسیره برحسب تقاضا مورد بررسی قرار گرفته و کارایی این پروتکل‌ها با مسیرهای متفاوت تحلیل گردیده است. در این پژوهش دو مفهوم کلی منظور گردیده که اساس این مقاله بر این دو مفهوم استوار است.

۱- بسته‌ها باید با کمترین تأخیر و با اطمینان بالا به دست مقصد برسند.

۲- ارسال بسته‌ها باید با صرف کمترین انرژی و ازدحام همراه باشد.

مزیت اصلی این روش در این است که راه‌کارهای ارائه شده با هدف افزایش کارایی مسیر ارسال و کاهش داده‌های از دست رفته و ارسال‌های مجدد است و در واقع تمرکز بر روی تعداد مسیرها کمینه بین مبدأ و مقصد با حداکثر بازدهی می‌باشد. محدودیت این روش این است که بر روی آنالیز بار ترافیکی و ازدحام شبکه هیچ راه‌کاری ارائه نشده است.

در [28] پروتکلی به نام RAS¹ بر مبنای پروتکل پایه DSR² ارائه شده که اساس و زیربنای ایده آن بر مبنای انتخاب قابل اطمینان‌ترین مسیر ارسال به منظور افزایش اطمینان و کاهش از دست رفتن بسته‌ها می‌باشد. در این راه کار بسته درخواست مسیر متناسب با برقراری قابل اطمینان‌ترین مسیر تغییر داده شده و پارامترهای مورد نیاز را در بر دارد. جهت انتخاب مسیر مطمئن گره مبدأ حداقل اطمینان مورد نیاز به منظور ارسال بسته‌هایش را در بسته درخواست مسیر مشخص کرده و فرایند کشف مسیر شروع می‌گردد. در ادامه تنها گره‌هایی در فرایند مسیریابی شرکت می‌کنند که قابلیت اطمینانی بیشتر حد آستانه مشخص شده در بسته درخواست مسیر را دارا هستند. از این رو تنها مسیرهای قابل اطمینان کشف می‌شوند. هر گره

¹ Reliable routing protocol for enhanced reliability and security in mobile Ad hoc and Sensor networks

² Dynamic Source Routing

میانی مقدار قابلیت اطمینان خود را به مقدار تجمعی لحاظ شده در بسته درخواست مسیر اضافه کرده و در میان همسایه‌های تک گامی خود، بسته درخواست مسیر را تنها برای همسایه‌هایی که دارای میزان اطمینان بیشتری نسبت به مقدار آستانه اطمینان مشخص شده در بسته می‌باشند ارسال می‌کند. این فرایند ادامه می‌یابد تا بسته درخواست مسیر را مقصد دریافت کرده و در ادامه گره مقصد از تقسیم میزان تجمعی موجود در بسته به تعداد گره‌های مسیر، مسیری که دارای بیشترین میزان اطمینان است را به عنوان مسیر اصلی انتخاب کرده و از طریق مسیر معکوس پاسخ می‌دهد و بقیه مسیرها به عنوان مسیرهای پشتیبان ذخیره گردیده تا در هنگام بروز ازدحام از این مسیرهای پشتیبان استفاده گردد. گرچه پروتکل ارائه شده دارای کارایی بالا در کاهش سربار شبکه و کاهش میزان از دست رفتن بسته در شبکه می‌باشد. مزیت اصلی این پروتکل در این است که کارایی بالا، کاهش سربار شبکه و میزان از دست رفتن بسته‌ها را دارا می‌باشد. و اما بزرگترین محدودیت این روش نبود تدابیر لازم جهت مقابله با ازدحام در شبکه می‌باشد و همچنین همیشه قابل اطمینان‌ترین مسیر دلیل بر کم ازدحام‌ترین مسیر نمی‌باشد.

در جدول ۲ الگوریتم‌های فوق محاسبه شده و عملکرد، پروتکل پایه، نحوه مسیریابی و محدودیت هر کدام بیان شده.

جدول ۲: مقایسه الگوریتم‌های کنترل ازدحام

نام الگوریتم	عملکرد	پروتکل پایه	نحوه مسیریابی	محدودیت
DCCR	پیدا کردن یک مسیر بدون ازدحام، ساختن یک CFS و سپس استفاده از CFS برای فرایند کشف مسیر	واکنشی	تک مسیره	حجم اطلاعاتی که بین گره‌ها توزیع می‌کنند زیاد است و با افزایش تعداد گره‌ها سربار زیادی برای شبکه به همراه دارد در صورت شکست مسیر کشف مسیر دوباره باید انجام شود که باعث تأخیر می‌شود
CAMRLB	بر اساس پروتکل مسیریابی SMORT که مسیرهایی با خرابی امن را محاسبه می‌کند می‌باشد.	واکنشی	چند مسیره	بعلت اینکه توزیع بار در حین ارسال داده انجام می‌شود، در صورتیکه مسیر مناسبی یافت نشود امکان از بین رفتن داده‌ها وجود دارد.
ABCC	کلیه اطلاعات مربوط به شبکه توسط عامل-های متحرک جمع آوری و به منبع تحویل داده می‌شود. نود منبع بهترین مسیر را انتخاب کرده و داده‌ها را ارسال می‌کند.	پیش فعال	تک مسیره	سربار مناسب با تعداد عامل‌های متحرک زیاد می‌شود.
Congestion Based AMODV	بر اساس گره‌های میانی می‌باشد. اگر سائز صف مناسب باشد گره می‌تواند در ارتباطات شرکت کند در غیر اینصورت از ارتباطات حذف می‌شود.	واکنشی	چند مسیره	امکان پیدا نشدن مسیری متناسب با میزان تعیین شده توسط منبع وجود دارد.
CRP	زمانیکه یکی از نودها در مسیر اصلی دچار ازدحام شده، با آگاه کردن گره قبلی باعث می‌شود تا گره قبلی به دنبال یک مسیر جایگزین با دور زدن گره متراکم بگردد	واکنشی	تک مسیره	تغییر مسیر در حین ارسال پکت‌ها انجام می‌شود که ممکن است پکت‌ها هدر رود

زمانیکه صف در روتر شروع به پر شدن می کند در صد کمی از بسته‌ها حذف می شوند	تک‌مسیره	واکنشی	این الگوریتم بر اساس این ایده طراحی شده است که ازدحام را قبل از اتفاق افتادن تشخیص می دهد	RED
امکان در نظر گرفتن مسیرهای طولانی با این وجود که دچار ازدحام هستند وجود دارد.	چند مسیره	واکنشی	بعد از اینکه گره منبع پیام درخواست مسیر را ارسال کرد. با استفاده از یک الگوریتم تأخیر، تأخیر بازگشت پاسخ‌ها را محاسبه می کند	AMODV-C
مسیرهای افزونه با مدیریت مطلوبی ایجاد نگردیده و افزونگی با هدف پشتیبانی نمی‌شود	چندمسیره	واکنشی	یک روش مسیریابی چندمسیری برحسب تقاضا با رویکرد ایجاد مسیرهایی با حداکثر از هم گسستگی	SMR
نبود راه‌کاری به منظور آنالیز ترافیک مسیرها و هر گرهی شبکه	چند مسیره	واکنشی	یک روش مسیریابی چند مسیری به همراه توزیع بار و کنترل ازدحام با استفاده از مقوله Erasure Coding	پروتکل مبتنی بر Erasure Coding
مصرف میزان انرژی بالای مسیریابی و ارسال و کاهش سرعت شبکه در صورت افزایش گره‌ها	چند مسیره	واکنشی	روشی جهت کنترل ازدحام و توزیع بار با استفاده از کدهای Reed-Solomon مشابه روش Erasure Coding	پروتکلی مبتنی بر Reed-Solomon
کنترل ازدحام به شدت منابع شبکه از جمله منبع انرژی، ترافیک شبکه و دیگر منابع شبکه را تحت تأثیر منفی خود قرار می‌دهد	چند مسیره	واکنشی	روش مسیریابی چندمسیری گره به گره با هدف کنترل ازدحام و افزایش نرخ تحویل بسته	MDR
نبود تمرکز لازم بر روی کنترل بهینه ازدحام در شبکه و همچنین ازدحام بالا در مسیرهای میانی باعث تأخیر	چندمسیره	واکنشی	روشی برای بهینه کردن توازن بار در کاربردهای مختلف که بر روی کیفیت سرویس ارائه شده و برای جریان داده‌های مختلف می باشد	پروتکلی مبتنی بر حساسیت
مفهوم کنترل ازدحام با بهره‌وری از اتصالات موجود در شبکه به صورت مطلوبی پشتیبانی نگردیده است	چند مسیره	واکنشی	روشی بر روی گسترش پروتکل پایه AODV به همراه استفاده از مفهومی تحت عنوان مسیریابی چندمسیری اتصال گسسته و خالی از حلقه	AMODV
پیچیدگی بالا به دلیل آگاهی گره‌ها از میزان کارایی گره‌های شبکه در طول عمر شبکه	تک مسیره	واکنشی	روشی بر پایه‌ی تشکیل درخت پوشا هنگام کشف مسیر، در این پژوهش سعی در انتقال کارا با کمترین میزان از دست رفتن بسته در شبکه است	پروتکلی مبتنی بر درخت پوشا
افزایش سربار و ازدحام با توجه به نحوه عملکرد پروتکل در فرایند توزیع بسته در مبدأ	چند مسیره	واکنشی	روشی سه مرحله‌ای که تمرکز این روش بر روی توزیع بار به همراه تصدیق گام به گام می باشد	MSR
افزایش ترافیک برخی مسیرهای میانی و تأخیر محاسبات بالا	تک مسیره و چند مسیره	واکنشی	استفاده از مفاهیم توزیع بسته‌ها با هدف افزایش اطمینان و کاهش ازدحام	پروتکلی مبتنی بر تقاضا
نبود تدابیر لازم جهت کنترل ازدحام مسیرها و سربار بالا	تک مسیره	واکنشی	روشی مبتنی بر درخواست مسیر جهت کشف مسیر قابل اطمینان با هدف کاهش از دست رفتن بسته‌ها و ترافیک	RAS

۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله به بررسی و مقایسه تعدادی الگوریتم‌های کنترل ازدحام پرداخته شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد هر یک از الگوریتم‌ها نسبت به محدودیت‌های شبکه‌های اقتضایی متحرک از جمله محدودیت پهنای باند، فضای بافر و طول صف به شکلی به بهبود کار این شبکه‌ها کمک کرده اند. از مهمترین تکنیک‌های استفاده شده به منظور کنترل ازدحام، روش‌های توازن بار با توجه به نحوه مسیریابی با لحاظ نمودن معیارهای مختلف و آنالیز ازدحام می‌باشد. به منظور ادامه تحقیق در زمینه کنترل ازدحام، پیشنهاد می‌گردد، ایده استفاده از مسیر یابی با توجه به معیارهای مختلف از جمله تأخیر، انرژی، از دست رفتن بسته و آنالیز بافر گره‌های موجود در مسیر یابی به جای استفاده از مسیرهای کم تأخیر یا مسیرهای کم ازدحام استفاده گردد که با آنالیز معیارهای مختلف توأم با آنالیز ازدحام گره‌های موجود در مسیر می‌توان توازن بار بهینه ایجاد کرد.

منابع

- [1] T. Senthilkumarana, and V. Sankaranarayanan, "Dynamic congestion detection and control routing in ad hoc networks," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 25, pp. 25-34, 2013.
- [2] D.B Johanson , "Routing in ad hoc networks of mobile hosts," in proc .IEEE Workshop Mobile Computing Systems and Applications ,pp . 158-163, Dec 1994.
- [3] Liana Khamis Qabajeh, Dr.Miss Laiha Mat Kiah, Mohammad Moustafa Qabajeh, " A Qualitative Comparison of Position-Based Routing Protocols for Ad hoc Networks", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.9NO.2 February 2009.
- [4] L. Abusalah, A. Khokhar, and M. Guizani, "A survey of secure mobile ad hoc routing protocols," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 10, no. 4, pp. 78-93, 2008.
- [5] Partibah Chandra, Munesh Chandra , "An Application of Routing Protocol for Adhoc network", 2010 International Conference on Networking and Information Technology.
- [6] C.E. Perkins and E.M.Royer, "Ad hoc On-demand Distance Vector Routing", *Proceeding of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Application* 1999, pp.90-100, February 1999.

[7] S.S.Dorle, Bhushan Vidhale , Megha Chakole,"Evaluation of Multipath, Unipath and Hybrid Routing Protocols for Vehicular Ad hoc networks"2011 Fourth International Conference on Emerging Trends in Engineering &Technology.

[8] B. Dezfouli, et al., "Improving broadcast reliability for neighbor discovery, "link estimation and collection tree construction in wireless sensor networks," *Computer Networks Elsevier Journal*, Vol. 62, pp. 101-121, 2014.

[9] V. Sharma, and S. Bhadauria, "Mobile Agent Based Congestion Control Using AODV Routing Protocol Technique for Mobile AD-HOC Network, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Vol. 4, pp. 299-314. April 2012.

[10] G. Maheshwari, and M. Gour, and U. Kumar, "Survey on Congestion Control in MANET," (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 5, No. 2, pp.998-1001, 2014.

[11] K. Bhupinder, and P. Vaibhav, "A Survey on Congestion Control Techniques in MANETs," *International Journal of Advanced Research in computer science and Software Engineering*, Vol.5, No.5, May 2015.

[12] K. Jung-Yoon, and S. Geetam, and SH. Laxmi, and S. Sarita, and L. Won-Hyoung, "Load Balanced Congestion Adaptive Routing for Mobile Ad Hoc Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.13, pp. 141-152, 2014.

[13] Y. Yan, L. Ci, R. Zhang, and Z. Wang, "Load Balancing Routing Algorithm among Multiple Gateways in MANET with Internet Connectivity," *Journal of Advances in Information Technology*, Vol. 13, pp. 388-392, 2014.

[14]Ali.M, and B. Stewat, and A. shahrabi, and A. Vallavaraj, "Congestion Adaptive Multipath Routing for Load Balancing in Mobile ADHOC Network," *International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, 99. 336-342, 2012.

[15] S. Onkar, and B. Supratik, "Congestion based Route Discovery AOMDV Protocol," *International Journal of Computer Trends and Technology*, Vol.4 , No.1, pp.54-58, 2013.

[16] A. Duc, and R. Harish, "Congestion Adaptive Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 17, No. 11, pp.1294-1305, November 2006.

- [17] D. Lin, R. Morris, "Dynamics of Random Early Detection," *In Proceedings of ACM Sigcomm*, pp. 127-137, 1997.
- [18] X. Li, S. Zhi, S. Xin, W. Zhiyuan, L. Qilong, "Ad-hoc multipath routing protocol based on load balance and location information," *In Wireless Communications & Signal Processing International Conference on IEEE*. pp. 1-4, 2009.
- [19] S. J. Lee, and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," *in IEEE International Conference on Communications*, Vol. 10, pp. 3201–3205, 2001.
- [20] S. Kim, "Efficient erasure code for wireless sensor networks," *available from:(visited in Nov of 2008), <http://www.cs.berkeley.edu>, 2004.*
- [21] M. Lu and J. Wu, "Erasure-coding based utility routing in multi-hop wireless networks," *in Mobile Adhoc and Sensor Systems. MASS'09. IEEE 6th International Conference on, IEEE*, 2009, pp. 168-177.
- [22] P. H. J. Wu, S. Dulman, and T. Nieberg, "Multipath Routing with Erasure Coding for Wireless Sensor Networks," *in ProRISC, 15th Annual Workshop on Circuits*, pp. 263-269, 2004.
- [23] M. Chen, T.Kwon, and Y. Choi, "Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) for real-time traffic in wireless sensor networks," *Computer Communications*, May 2005.
- [24] M. K. Marina¹, and S. R. Dasn, "Ad hoc on-demand multipath distance vector routing," *in Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 6, no. 7, pp. 969–988, 2006.
- [25] M. Lee, and V.W.S. Wong, "An Energy-aware Spanning Tree Algorithm for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," *IEEE PacRim 2005*, Canada, Aug 2005.
- [26] M. A. Moustafa, M.A. Youssef, and M.N. El-Derini, "MSR: A multipath secure reliable routing protocol for WSNs," *in Computer Systems and Applications (AICCSA), 9th IEEE/ACS International Conference on*, 2011, pp. 54-59.
- [27] S. Muhammad, I. Ullah, A. Khayam, and M. Farooq, "On the reliability of ad hoc routing protocols for loss-and-delay sensitive applications," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, pp.285-299, 2011.
- [28] I. Jawhar, Z. Trabelsi, and J. Jaroodi, "Towards More Reliable and Secure Routing in Mobile Ad Hoc and Sensor Networks," *Telecommunication Systems Springer*, Vol. 16, pp. 1-10, 2014.



سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در
مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات



3rd International Conference on Applied Research in **Computer & Information Technology**