JIPET | Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology/Vol. 11/No. 41/Autumn 2020
P-ISSN: 2322-3871, E-ISSN: 2345-5594, http://jipet.iaun.ac.ir/

A Road-Aware Routing Protocol for Inter-Vehicle Ad-Hoc Networks

Bahareh Mazloumi-Fard, *M.Sc*, Abdolreza Hatamlou, *Associate Professor*

Department of Computer Engineering, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran
baharehmazloumib@gmail.com
hatamlou@iaukhoy.ac.ir

Abstract:
Vehicle ad-hoc networks are examples of mobile ad-hoc networks where vehicles are the mobile nodes. In these networks, vehicles are interconnected and can send messages to each other, but also to the roadside infrastructure. In such networks, routing is essential for network design. Poor design causes serious problems for vehicle networks. Multi-hop data transmission over VANET networks is a complex task, since network nodes are very mobile and therefore very likely to be disconnected. Therefore, information dissemination techniques in car networks are very important and have received special attention in recent years. In this research, we present a distributed routing protocol with end-to-end delay computation approach to the generated paths before sending the data packet. This protocol creates a stable backbone on the road components and connects them through bridge nodes. Bridge nodes allocate weight to road components, which it does on the basis of information gathered from delays in routes and communication quality. The simulation results show the success of the proposed protocol compared to two well-known vehicle network protocols including AODV and AOMDV.

Keywords: vehicle networks, information propagation, road-aware routing protocols

Received: 8 March 2020
Revised: 28 June 2020
Accepted: 31 August 2020

Corresponding Author: Dr. Abdolreza Hatamlou

Citation: B. Mazloumi-Fard, A. Hatamlou, "A road-aware routing protocol for inter-vehicle ad-hoc networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 43, pp. 1-12, Autumn 2020 (in Persian).

یک پروتکل مسیریابی آگاه از جاده برای شبکه‌های موردی بین خودرویی

بهاره مظلومی‌فرد، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، عبدالرضا حاتم‌لو، دانشیار

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران
baharehmazloumib@gmail.com
hatamlou@iaukhoy.ac.ir

چکیده: شبکه‌های خودرویی موردی نمونه‌ای از شبکه‌های سیار موردی هستند که خودروها نقش گره‌های متحرک را ایفا می‌کنند. در این شبکه‌ها خودروها با یکدیگر ارتباط دارند و می‌توانند به یکدیگر پیام ارسال کنند که با زیرساخت کنار جاده‌ای نیز ارتباط دارند. به‌طور مثال در هنگام بروز تصادف از این تبادل پیام برای آگاهی سایر خودروها استفاده می‌شود. در چنین شبکه‌هایی، مسیریابی موضوع اساسی برای طراحی شبکه است. طراحی‌های ضعیف باعث ایجاد مشکلات جدی در شبکه‌های خودرویی می‌شود. انتقال داده به‌صورت Multi-hop در شبکه‌هایVANET کاری است پیچیده، زیرا گره‌های شبکه (وسایل نقلیه) بسیار متحرک بوده و به همین دلیل احتمال قطع شدن ارتباط بسیار زیاد است. از این رو تکنیک‌های ارسال اطلاعات در شبکه‌های خودرویی بسیار حائز اهمیت هستند و در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. در این مقاله یک پروتکل مسیریابی توزیع شده با رویکرد محاسبه تاخیر انتها به انتها در مسیرهای ایجاد شده، قبل از ارسال بسته داده ارائه شده است. این پروتکل بر روی قطعات جاده‌ای، ستون فقرات پایدار ایجاد کرده و آنها را از طریق گره‌های پل به یکدیگر وصل می‌کند. گره‌های پل به قطعات جاده‌ای وزن اختصاص می‌دهد که آن را از روی اطلاعات جمع‌آوری شده از تاخیر موجود در مسیرها و کیفیت ارتباط انجام می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده موفقیت پروتکل پیشنهادی در مقایسه با دو پروتکل معروف شبکه‌های خودرویی AODV و AOMDV است.

کلمات کلیدی: شبکه خودرویی، پروتکل مسیریابی آگاه از جاده، تاخیر انتها به انتها.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸
تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۴/۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۶/۱۰

نام نویسنده مسئول: دکتر عبدالرضا حاتم‌لو
نشانی نویسنده مسئول: خوی، بلوار ولایت فقیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی.

۱- مقدمه

ایمنی در حرکت وسایل نقلیه همواره به‌عنوان محرکی برای ایده‌ها و طرح‌های جدید ترافیکی مطرح است. در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های حاصل در زمینه تکنولوژی به ویژه در بعد دیجیتال، کنترل ترافیکی برای افزایش ایمنی هم به این سمت حرکت کرده است. سیستم مانیتورینگ ترافیکی که در حال حاضر هم از آن استفاده می‌شود، دارای معایبی از جمله تأخیر در رسیدگی و عدم انتقال اطلاعات به سایر رانندگان است. لذا در همین راستا ایده‌های جدیدتری در سال‌های اخیر در حال پیگیری است، که از آن جمله شبکه خودرویی است که با نام VANET[1] شناخته می‌شود. به‌طور کلی شمار زیادی از تصادفات به علت خطاهای انسانی و عدم آگاهی راننده از وضعیت شرایط جاده در پیش رو ناشی می‌شود. حال آنکه با کمک این شبکه می‌توان کنترل وسایل نقلیه را به سمت سیستم‌های کنترل اتوماتیک سوق داد و نیز با انتقال اطلاعات میان وسایل نقلیه در مقطع مشخصی از راه می‌توان درصد قابل توجهی از تصادفات را کم کرد. به‌طور مثال خودروهایی که در جاده جلوترند می‌توانند سایر رانندگان را با انتقال اطلاعاتی راجع به لغزندگی جاده، وجود یخبندان، نقاط کور و یارخداد تصادفی آگاه کنند، تا فرصت بیشتری برای انجام عکس‌العمل مناسب و یا تغییر مسیر برای آنها وجود داشته باشد. با توجه به ماهیت بسیار پویای این شبکه، مسیریابی و انتشار اطلاعات بین خودروها موضوعی چالش برانگیز در آن است.

شبکه‌های خودرویی تکنولوژی جدیدی هستند که هدفشان یکپارچه کردن توانایی و امکانات نسل جدید شبکه‌های بی سیم خودروها است[۳-۱]. انتظار می‌رود که شبکه‌های خودرویی در آینده از جایگاه وسیعتری برخوردار شده و مورد توجه بسیاری قرار گیرند. این شبکه‌ها به خودروها اجازه ارتباط بین یکدیگر و همچنین با زیرساخت‌های شبکه خودرویی را می‌دهند. شبکه‌های خودرویی نوعی از شبکه‌های بدون ساختار بی سیم متحرک هستند که توسط خودروها ایجاد می‌گردد و امکان شکل‌گیری سریع آن در هر مکانی وجود دارد. غیر متراکم بودن این شبکه مزایای زیادی از جمله مقیاس‌پذیر بودن و توسعه ساده را به وجود می‌آورد. مزیت عمده این شبکه‌ها ارتباط مستقیم خودروها در آنها است. از این رو از آنجایی که ارتباطات بین خودروها بدون هیچ ساختار خارجی میانی و به‌صورت مستقیم فراهم می‌آید، تأخیر ارتباطی کمی بین خودروها وجود دارد و در نتیجه برای توزیع اطلاعاتی مانند اخطارهای فوری مناسب تر هستند [۶-۴].

استفاده از فن‌آوری اطلاعات در خودورها نیز از چندین سال پیش آغاز شده است. تلفن‌های داخل خودروها، استفاده از فن‌آوری-هایی مانند دسترسی به اینترنت و بلوتوث نمونه‌هایی از آنها هستند. با این وجود ارتباط مستقیم بین خودروها با استفاده از شبکه‌های ارتباطی بین خودروها یک موضوع جدید تحقیقاتی است. با استفاده از فناوری ارتباطی بین خودروها، بدون نیاز به هیچ‌گونه ساختار ثابت مثل نقاط دسترسی و ارتباطات ماهواره‌ای، امکان برقراری ارتباط بین خودروها به سادگی با استفاده از فناوری بی سیم وجود دارد و می‌توان در ناحیه‌هایی که تجهیزات ارتباطی بین خودروها در کنار جاده‌ها وجود ندارند، ارتباط بین خودروها را برقرار نمود [۱۰-۷].

به همین منظور اخیرا، ارتباط بین خودروها، توجه زیادی را از سوی موسسات تحقیقاتی و صنایع اتومبیل‌سازی به خود جلب نموده است، زیرا با تجهیز خودروها به وسایل ارتباطی و محاسباتی و با استفاده از ارتباط مستقیم بین خودروها می‌توان وابستگی به ساختارهای خارجی را در بسیاری از موارد حذف نمود. از این رو بسیاری از تولید کنندگان خودروها، برنامه‌ریزی ساخت وسایل ارتباطی در درون خودروها را برای کاربردهای مختلفی مانند بهبود در تجربه رانندگی، افزایش ایمنی، کاهش اتلاف منابع، تفریحات و راحتی را آغاز کرده‌اند. در هر صورت مشخصه‌های چنین شبکه‌هایی بر این نکته دلالت دارد که تحقیقاتی که تا کنون بر روی شبکه‌های موردی صورت گرفته است نمی‌تواند مستقیماً جهت این نوع از شبکه‌ها به‌کار روند. همچنین مساله محدودیت منابعی همچون منابع تغذیه، میزان حافظه و توان محاسباتی در خودروها وجود ندارد (این مسائل در شبکه‌های سیار موردی دارای اهمیت هستند). به علاوه عوامل دیگری همچون ابعاد شبکه و وابستگی به موقعیت جغرافیایی همچون اتصالات نامنظم به چالش‌های این نوع شبکه‌ها افزوده می‌شود. راه حل‌های پیشنهادی باید مسأله استقرار و پیاده‌سازی را نیز مشخص سازند به‌طوری که در ابتدا ممکن است تعداد خودروهایی که می‌تواند در ارتباطات بین خودرویی شرکت کنند، بسیار کم باشند که این تعداد با گذشت زمان بیشتر می‌شود. واقعیت این است که تحرک بالای نودها در شبکه خودرویی منجر به ساختار شبکه

پویا می‌شود. تعدادی از همسایه‌های مستقیم یعنی همسایه‌هایی که به‌طور مستقیم یک پیام را دریافت می‌کنند می‌تواند خیلی سریع تغییر کند. بنابراین یک نود در شبکه خودرویی باید خیلی سریع رفتارش را به‌صورت پویا تنظیم کند [۱۳-۱۱].
همه این مسائل بر این نکته دلالت دارند که تحقیقات زیادی باید انجام شود تا راه‌حل‌های موجود برای شبکه‌های موردی عمومی را با شبکه‌های خودرویی تطبیق داد یا به جای آن از روش‌های کاملاً جدیدی برای این نوع شبکه‌ها استفاده کرد. در این مقاله یک پروتکل مسیریابی توزیع شده با رویکرد محاسبه تاخیر انتها به انتها در مسیرهای ایجاد شده، قبل از ارسال بسته داده ارائه شده است. این پروتکل بر روی قطعات جاده‌ای، ستون فقرات پایدار ایجاد کرده و آنها را از طریق گره‌های پل به یکدیگر وصل می‌کند. گره‌های پل از روی اطلاعات جمع‌آوری شده از تاخیر موجود در مسیرها و کیفیت ارتباط به قطعات جاده‌ای وزن اختصاص می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد پروتکل پیشنهادی در مقایسه با دو پروتکل معروف شبکه‌های خودرویی عملکرد بهتر و قابل قبولی را دارا است. ساختار ادامه مقاله بدین صورت است: در بخش ۲ تحقیقات پیشین مرور شده و راه‌کار و پروتکل پیشنهادی در بخش ۳ ارائه شده است. در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی بررسی و ارائه گردیده است. و در نهایت مقاله با نتیجه‌گیری در بخش ۵ پایان یافته است.

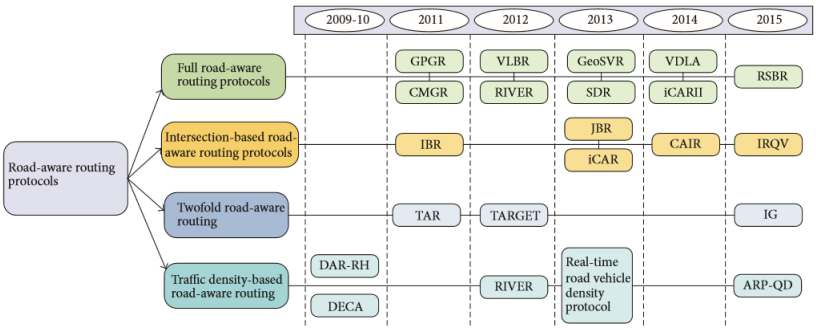
۲- مروری بر تحقیقات انجام‌شده

این بخش درباره پروتکل‌های مسیریابی[۲]جغرافیایی آگاه از جاده که اخیرا ارایه شده‌اند بحث می‌کند و آنها را از نظر موضوعات مهم و عملکردی مقایسه می‌نماید. پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی آگاه از جاده به عنوان قابل اطمینان‌ترین و موثرترین روش برای شبکه‌های خودرویی شناخته شده‌اند. عملکرد و قابلیت‌های پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی در شبکه‌های خودرویی به دلیل خصوصیات خاص این نوع از شبکه‌ها محدود است. در این نوع خاص از شبکه‌ها نودهای محدود شده به‌وسیله جاده، حجم ترافیک کم و زیاد بر روی طول عمر انتقال تاثیر می‌گذارد و منجر به قطعی‌های مکرر و سربار شبکه می‌گردد. در مسیریابی جغرافیایی [۱۴]، از موقعیت‌های مکانی خودروهای فرستنده، خودروهای گیرنده و خودروهای واسط برای انتقال اطلاعات استفاده می‌شود. در این روش، خودروی فرستنده، شناسه و موقعیت مکانی خود و شناسه و موقعیت مکانی خودروی گیرنده را در بسته ارسالی قرار می‌دهد و سپس آن را ارسال می‌نماید [۱۵]. در اکثر پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی، زمانی که یک خودرو پیامی را دریافت می‌نماید که مقصد آن پیام نیست، آن را برای خودرویی ارسال می‌نماید که در بین همسایگانش، نسبت به خودش کمترین فاصله را با خودروی مقصد دارد. به این روش ارسال حریصانه گفته می‌شود. مشکل این روش گرفتار شدن در بیشینه محلی است [۱۶].
پروتکل[۳]GPSR برای رفع ایراد بیشینه محلی، روش ارسال حریصانه را با روش مسیریابی پیمایش محیط ترکیب می‌نماید [۱۷]. این پروتکل در یک منطقه شهری و پرتراکم، با مشکلات فراوانی مواجه می‌گردد. پروتکل GYTAR برای کاربردهای حساس به تاخیر ارائه شده است [۱۸]. در این پروتکل انتخاب تقاطع بعدی بر اساس تخمین تراکم خودروها در جاده و فاصله تا مقصد است. در این روش، در بخش‌های بین دو تقاطع از مکانیزم ارسال حریصانه استفاده می‌شود. در پروتکل[۴]ICAR ارزیابی هر بخش از جاده بین دو تقاطع بر اساس تخمین تراکم ترافیکی خودروها در آن بخش، تاخیر و تعداد گام مسیر صورت می‌گیرد [۱۹]. در پروتکل BAHG[۵]، از ساختار ستون فقرات برای تسهیل مسیریابی در شبکه استفاده شده است [۲۰] و در انتخاب مسیر بین مبدا و مقصد بر اساس نقشه دیجیتال، مسیری انتخاب می‌گردد که تعداد تقاطع‌هایی که پیام در آن ها تغییر جهت می‌دهد، حداقل باشد. در مرجع [۲۱]،پروتکل[۶]SCRP ارائه شده است. طراحان SCRP در مرجع [۲۲]، در ابتدا روشی با نام[۷]SVB-CDS ارائه نمودند تا با تشکیل یک ساختار ثابت از خودروهای ستون فقرات در شبکه و ارسال پیام با استفاده از روش همه پخشی، تاخیر کمتر شود و اتصال خودروها در محیط‌های با تراکم کمتر میسر شود. سپس در مرجع [۲۳]، روشی که برمبنای این ساختارعمل کند ارائه نمودند و در نهایت با تکمیل آن روش، پروتکلSCRP که از دو معیار اتصال و تاخیر جهت انتخاب مسیر استفاده می‌کند ارائه گردید. در این پروتکل، خودروهای پل در هر تقاطع با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دو معیار اتصال و تاخیر، به ارزیابی و وزن‌دهی مسیرهای متصل به تقاطع می‌پردازند. همچنین این پروتکل با یافتن چندین مسیر بین مبدا و مقصد مانع از به وجود آمدن ترافیک می‌گردد و با این امر باعث کاهش احتمال برخورد بسته‌ها در شبکه می‌شود. این پروتکل از دو مشکل اصلی افتادن

در بیشینه محلی و ازدحام داده که در پروتکل‌های قبلی، به ترتیب در اثر مسیریابی حریصانه و استفاده از مسیرهای مشابه بین مبدا و مقصد های متفاوت رخ می داد، اجتناب می‌کند.

اطلاعات بلادرنگ جاده به‌منظور چک کردن تراکم ترافیک برای تصمیمات مسیریابی بسیار مهم و حائز اهمیت است. پروتکل‌های مسیریابی آگاه از جاده، خصوصیات جاده و وضعیت شبکه از قبیل تقاطع‌ها، حجم ترافیک، توزیع خودروها، بار ارتباطی، کیفیت ارتباط، فاصله و جهت را برای مسیریابی مورد استفاده قرار می‌دهند. از این رو پروتکل‌های مسیریابی آگاه از جاده امکانات بیشتری را در تصمیمات مسیریابی بر اساس پارامترهای آگاه از جاده در اختیار پروتکل‌های مسیریابی که از این متد استفاده می‌کنند قرار می‌دهد. پروتکل‌های مسیریابی آگاه از جاده از سه مرحله تشکیل شده‌اند. در مرحله اول محاسبه پارامترهای مسیریابی و بروز رسانی یا محاسبه مجدد مسیرها بر اساس وضعیت‌های جدید صورت می‌گیرد. در مرحله دوم اندازه‌گیری پارامترهای مسیریابی برای تعیین شاخص‌های واقع بینانه درباره وضعیت جاده و مسیر موثر انجام می‌شود و در نهایت در مرحله سوم سازگار نمودن الگوریتم ارسال به جلو حریصانه به‌منظور ارسال به جلو بسته‌ها، در حالتی که هیچ نود همسایه‌ای پیدا نشود یک استراتژی ریکاوری به‌منظور مسیریابی اجرا می‌شود.

در مرحله اول این پروتکل‌ها پارامترهای مسیریابی را به‌منظور محاسبه مسیرها با کمک وضعیت شبکه تعریف می‌کنند که این اطلاعات به‌صورت مداوم بروزرسانی و تغییر می‌یابد. پارامترهای مسیریابی برای کنترل ترافیک و وضعیت شبکه استفاده می‌گردند. در مرحله دوم پروتکل ها ،پارامترهای مسیریابی را برای وضعیت ترافیک واقعی مورد ارزیابی قرار می دهند و سپس بسته به تقاطع دیگر یا به گام دیگر به‌منظور ارسال رو به جلو داده ارسال می‌گردد. ساده‌ترین روش ارسال رو به جلو ارسال رو به جلوی حریصانه است که در آن بسته به گره نزدیکتر به مقصد ارسال می‌شود به هر حال این روش دارای ایراداتی است که به همین منظور روش‌های ارسال رو به جلوی جدیدتری ارایه شده است که در آن‌ها پارامترهایی مانند جهت، سرعت وسیله نقلیه و مسافت نیز لحاظ شده‌اند. در مرحله سوم اگر گرهی در نزدیکی مقصد برای ارسال رو به جلو وجود نداشت، این پروتکل‌های یک مکانیزم بازیابی را اجرا می‌نمایند. انواع مختلفی از استراتژی‌های بازیابی با این پروتکل‌ها سازگار شده‌اند که از آن جمله می‌توان به قانون دست راست، حمل و ارسال و محاسبه مجدد مسیر ارسال اشاره کرد. قانون دست راست این چنین عمل می‌کند: به محض دریافت یک بسته از گره قرار گرفته بر روی لبه‌ها، گره بسته را به لبه قرار گرفته در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت ارسال می‌کند و این روند تا زمان پیدا شدن یک گره ارسال کننده نزدیک به مقصد ادامه می‌یابد. این راهکار با موضوع Loop به دلیل تبادل سریع گراف شبکه مواجه می‌شود. استراتژی بازیابی محاسبه مجدد مسیر ارسال منجر به تاخیر زیاد و سربار شبکه می‌گردد. پروتکل‌های مسیریابی آگاه از جاده در چهار گروه کاملا جاده آگاه، مسیریابی آگاه از تقاطع، مسیریابی تصمیم دو قسمتی و مسیریابی بر اساس حجم ترافیک طبقه‌بندی می‌شوند [۲۴].



شکل (۱): طبقه‌بندی پروتکل‌های مسیریابی آگاه از جاده

Figure (1): Road-aware routing protocols classification

۳- روش پیشنهادی

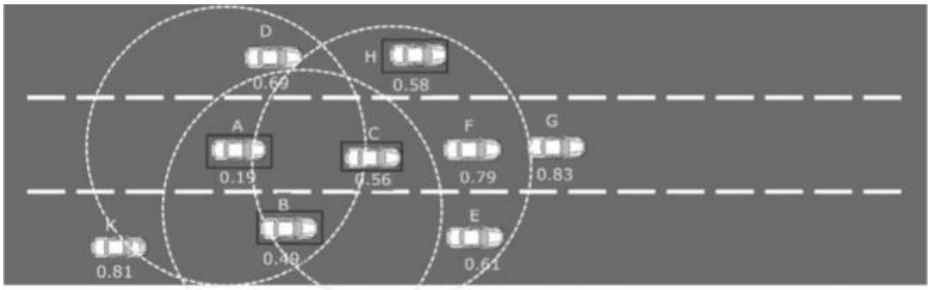
مدل شبکه در شبکه‌های بین خودرویی شامل جاده‌ها و تقاطع‌ها به‌منظور شبیه‌سازی محیط شهری واقعی است. در پروتکل پیشنهادی $S_{i,j}$ به عنوان قطعه جاده ایی بین تقاطع I_i و I_j تعریف می‌شود. هر قطعه جاده‌ایی دارای ویژگی‌های خاص خود مانند: طول، عرض، تعداد راه‌ها و حجم ترافیکی است. ستون‌های فقرات بر روی این قطعات جاده‌ایی که شامل مجموعه‌های غالب متصل

شده (CDS) که به‌صورت ذیل تعریف می‌شود، شکل می‌گیرند: هر گراف غیرمستقیم G(V,E) که در آن V مجموعه راس‌ها و E مجموعه لبه‌ها (برای مثال ارتباطات بی سیم موجود در زمان t) تعریف می‌شود.

در پروتکل پیشنهادی هر وسیله نقلیه یا خودرو ستون فقرات[۸](BV) بوده و یا خودروی عادی[۹](NV) است. هر خودرو دارای یک شماره شناسایی منحصر به فرد (ID) بوده و مجهز به GPS به منظور تهیه اطلاعات موقعیت، سرعت و جهت حرکت است. علاوه بر این یک نقشه دیجیتالی که شامل اطلاعات دقیق قطعات جاده و تقاطع ها است بر روی تمامی خودروها نصب شده و هر گره مبدأ به‌منظور ارسال بسته‌های داده از این خدمات به‌منظور پیدا کردن موقعیت دقیق مقصد در هر لحظه استفاده می‌نماید. در مقایسه با راه‌کارهای پیشین، روش پیشنهادی از دو عامل جهت بهبود عملکرد شبکه‌های بین خودرویی استفاده می‌کند: بهره‌برداری از توپولوژی شبکه عمومی بوسیله سازماندهی ستوان فقرات پایدار بر روی قطعات جاده و جمع‌آوری اطلاعات ارتباط و اطلاعات تاخیر از طریق گره‌های پل. تعیین مسیرهای مختلف بین منبع و مقصد به‌منظور تعادل بار و در نتیجه کاهش تاخیر انتها به انتها. این پروتکل برای سرویس‌دهی مستمر حساس به تاخیر نظیر: سرویس دست‌رسی به اینترنت، به اشتراک گذاری فیلم و صوت و آگهی‌های بازگانی و ... در محیط‌های دارای حجم ترافیکی متوسط طراحی شده است. پروتکل پیشنهادی را (RPUS) نامگذاری کرده‌ایم که از شش مرحله اصلی تشکیل شده است: ایجاد ستون فقرات، تخمین طول عمر لینک، انتخاب گره پل، تعیین و ارزیابی قطعات جاده‌ایی، انتخاب تقاطع مفصل و ساختن جدول مسیریابی. در ادامه هر یک از مراحل روش پیشنهادی شرح داده می‌شود.

۳-۱- ایجاد ستون فقرات

ایجاد ستون فقرات بر روی هر قطعه جاده‌ایی صورت می‌گیرد. ما فرض می‌کنیم که فرآیند ایجاد ستون فقرات از ابتدای شکل‌گیری قطعه جاده‌ایی آغاز شده و تا رسیدن به یک تقاطع ادامه می‌یابد. شکل (۲) نحوه شکل‌گیری ستون فقرات را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مکانیزم ایجاد ستون فقرات در پروتکل پیشنهادی

Figure (2): The backbone creation mechanism in proposed protocol

در ابتدا یک پیغام راهنما که آن‌را Beacon نامگذاری کرده‌ایم و به شکل <ID,x,y,v,d,b,SF> در بین خودروها تبادل می‌شود که در این پیام ID شماره شناسایی منحصر به فرد خودرو، x,y مختصات خودرو، v سرعت خودرو، d جهت خودرو، b یک Flag برای نشان دادن نوع خودرو (عادیFlag=0 یا ستون فقراتFlag=1) است. SF فاکتور پایداری (Stability Factor) خودرو است که با استفاده از معادله شماره (۱) محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$SF_i=\alpha[\max(\frac{1}{3}\frac{R-d_{nb}}{R})]+\beta(\frac{v^t_{nb}}{v^t_i}) \quad (1)$$

در این فرمول R برد انتقال، V_{nb}میانگین سرعت گره‌های همسایه گره i ام، d_{nb} میانگین فاصله بین گره i ام و همسایه‌هایش بوده و α و β فاکتورهای وزنی هستند. d_{nb} بوسیله پیش‌بینی موقعیت‌های آتی خودروهای همسایه با استفاده از اطلاعات موجود در Beacon ها (سرعت، موقعیت و ...) محاسبه می‌گردد. استفاده از d_{nb} موجب جلوگیری از تغییرموقعیت‌های ناگهانی خودرو و تشخیص آن در فواصل رد و بدل Beacon است. .همان‌طور که مشاهده می‌کنید قسمت اول فاکتور پایداری یعنی α خودروهایی را که فاصله زیادتری از همسایگان خود دارند را جریمه می‌کند چونکه خودروهایی که فاصله زیادتری از همدیگر دارند کیفیت ارتباطی ضعیف‌تری دارند و قسمت دوم فرمول سرعت ارتباطی بین خودرو و همسایگانش را منعکس می‌کند.

هر گره به محض دریافت پیغام Beacon لیست همسایگان خود را ایجاد می‌نماید که این اطلاعات از Beacon استخراج می‌گردد. زمانی که یک گره همسایه قطع ارتباط می‌کند یک ورودی به همراه زمان قطع ارتباط به لیست اضافه شده و به اندازه دو پیام Beacon منتظر می‌شود اگر در طی این مدت هیچ پیغامی از همسایه مورد نظر دریافت نشود آن همسایه از لیست حذف می‌گردد. بعد از تشکیل لیست همسایگان هر خودرو SF خودش را با همسایگان مقایسه می‌نماید. خودرو با کمترین SF برای مثال در شکل (۲) خودرو A به عنوان ستون فقرات انتخاب شده و Flag، خود را مساوی با ۱ کرده و گره همسایه با کمترین SF در شکل (۲) گره B را انتخاب می‌کند. سپس گره A یک پیغام به گره B ارسال کرده و به او اعلام می‌کند که به عنوان گره خودرو ستون فقرات انتخاب شده است. به محض دریافت این پیام گره B فلگ b خود را ۱ کرده و خودرو بعدی را برای اضافه‌کردن به ستون فقرات انتخاب می‌کند [در شکل (۲) خودرو C] این مکانیزم تا پوشش کامل قطعه جاده ایی تکرار می‌شود.

۳-۲- تخمین طول عمر لینک

در این قسمت طول عمر لینک[۱]خودروهای ستون فقرات محاسبه می‌شود و در واقع هدف پیش‌بینی مدت زمان سپری شده قبل از قطع ارتباط است. به همین منظور دو خودرو BV_i و BV_j را به عنوان خودرو ستون فقرات در نظر می‌گیریم و برای محاسبه طول عمر ارتباط، در ابتدا جهت این دو خودرو را مقایسه می‌کنیم، اگر هم جهت بودند، قطعی ارتباط زمانی اتفاق می‌افتد که BV_j از برد انتقال BV_i خارج شود و فرمول محاسبه طول عمر در این حالت به‌صورت معادله (۲) است [۱۶]:

$$LLT=\frac{R-d_{ij}}{|v_i-v_j|} \quad (۲)$$

در حالتی که دو خودرو در جهت مخالف یکدیگر در حال حرکت هستند با دو سناریوی مختلف مواجه هستیم:

۱) BV_i و BV_j در حال نزدیک شدن به یکدیگر هستند در این حالت قطعی ارتباط زمانی اتفاق می‌افتد که در خودرو از یکدیگر عبور کرده و به اندازه R متر از یکدیگر فاصله می‌گیرند و فرمول طول عمر در این حالت به شکل معادله (۳) خواهد بود:

$$LLT=\frac{R+d_{ij}}{|v_i+v_j|} \quad (۳)$$

۲) دو خودرو در حال دور شدن از یکدیگر هستند. در این حالت قطعی ارتباط زمانی اتفاق می‌افتد که هر دو وسیله نقلیه به اندازه R متر از یکدیگر فاصله بگیرند یا از برد انتقال یکدیگر خارج شوند، در این حالت طول عمر ارتباط با استفاده از معادله (۴) محاسبه خواهد شد:

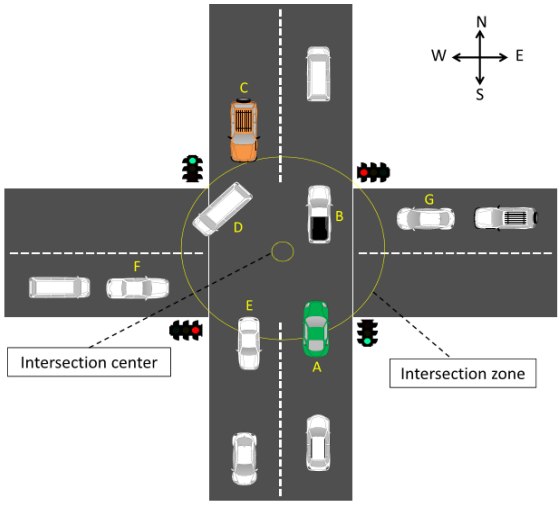
$$LLT=\frac{R-d_{ij}}{|v_i+v_j|} \quad (۴)$$

بعد از محاسبه طول عمر لینک آن‌را در کنار ورودی لیست همسایگان خودرو، ذخیره می‌نمائیم. طول عمر ارتباط در بازه بین هر Beacon محاسبه مجدد و بروزرسانی می‌گردد.

۳-۳- انتخاب گره پل

بعد از تشکیل ستون فقرات نوبت به کاندید نمودن برخی از گره‌های موجود بر روی تقاطع‌ها به‌منظور انتخاب گره پل[۲]می‌رسد. همانگونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود در ابتدای کار تمامی خودروهای موجود در ناحیه یک تقاطع کاندیدای انتخاب به عنوان گره پل هستند (گره‌های A,B,C,D,E).

خودروهایی که در حال دور شدن از مرکز تقاطع هستند یعنی در حال ترک منطقه تقاطع هستند حذف می‌شوند (خودروهای B، D، E). از کاندیداهای باقی‌مانده خودروهایی که به محدوده چهارراه نزدیک هستند یا در حال نزدیک شدن هستند انتخاب می‌شوند (خودروهای A و C). از بین این خودروها، خودرویی که قبلا گره ستون فقرات یا BV بوده نگه‌داشته می‌شود. اگر بیش از یک خودرو گره BV بودند در اینصورت خودرویی که سرعت کمتری دارد انتخاب می‌شود. برای مثال در شکل (۳) فرض می‌کنیم هر دو گره A و C گره BV هستند و خودرو C سرعت کمتری دارد. در این صورت خودرو C به عنوان گره پل انتخاب می‌شود چرا که هدف انتخاب خودرویی است که بیشتر در تقاطع می‌ماند.



شکل (۳): مکانیزم انتخاب گره پل در تقاطع

Figure (3): The bridge node selection mechanism

زمانی که یک خودرو پل در حال خروج از تقاطع است در این‌صورت بایستی به فکر انتخاب جانشین برای گره پل باشیم. در این حالت گره پل شروع به محاسبه t_{cross} تمامی گره‌های همسایه که گره BV هستند می‌نماید. t_{cross} در واقع مدت زمان لازم برای خروج از تقاطع را نشان می‌دهد. سپس این t_{cross} با مدت زمان باقی ماندن در چراغ سبز t_{rem} که با استفاده از معادله (۵) محاسبه می‌شود مقایسه می‌گردد:

$$T_{rem}= t_g-[(t_a \bmod t_c) – (t_c-t_g)] \quad (۵)$$

T_g طول بازه زمانی روشن‌بودن چراغ سبز، t_a مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک گره BV به چراغ سبز برسد، t_c چرخه چراغ راهنمایی (ابتدای زمان روشن شدن چراغ سبز تا روشن‌شدن مجدد همان چراغ) است. در این فرمول t_g و t_c ثابت در نظر گرفته می‌شود. درحالتی که $t_{rem}>t_{cross}$ گره پل خودرویی را که دارای بیشترین مقدار t_{cross} است را به عنوان گره پل بعدی انتخاب می‌کند. به عبارت دیگر خودروی BV که در چراغ قرمز متوقف شده است را انتخاب می‌کند. در حالت ایده‌آل بایستی گرهی که به محدوده تقاطع نزدیک است انتخاب شود [گره F و G در شکل (۳)].

۳-۴- تعیین قطعات جاده‌ایی

ارزیابی قطعات جاده‌ایی[۳] یا (RSA) یک فرآیند توزیع شده به‌منظور ایجاد اطمینان خاطر از انتخاب قطعات جاده‌ایی به عنوان مسیر انتخابی است و جداول مسیریابی بر روی گره‌های پل به‌منظور هدایت بسته داده به مسیرهای بعدی ایجاد می‌گردد. زمانی که یک گره پل انتخاب می‌شود فرآیند RSA اجرا می‌گردد. در ابتدا گره پل یک بسته تعیین جاده[۴] یا (RAP) ایجاد کرده و آن‌را بر روی قطعات جاده‌ایی همه پخشی می‌کند. این پیغام RAP اطلاعات را از روی قطعات جاده‌ایی با توجه به تاخیر ارتباط و تعداد گام جمع آوری می‌کند. فرمت این پیام در شکل (۴) آورده شده است که timestamp زمان تولید پیام RAP، Cells تعداد خانه‌های طی شده زمانی که از تکنیک حمل و ارسال استفاده می‌کنیم، option اطلاعات اختیاری اضافی مربوط به مسیریابی است.

d_p میانگین تاخیرانتقال یک بسته جدید بر روی قطعه جاده‌ایی است که به‌صورت جمع تاخیرهای تحمیل شده بر هر گره (d_{hi}) BV است و با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود:

$$d_p=\sum_i^h d_{hi} \quad (۶)$$

بر طبق محاسبات انجام شده، d_{hi} دارای دو پارامتر محاسباتی است، T_{tx} (مدت زمان تاخیر انتقال) و T_q (مدت زمان تاخیر انتظار در صف) که در نهایت با معادله (۷) محاسبه می‌شود:

Road Assessment Packet	
Instruction ID	Timestamp
Packet Delay: d_p	
Number of hops: h	
Cells	
Options	

شکل (۴): فرمت بسته ارزیابی جاده‌ایی
Figure (4): Road assessment packet format

$$d_{hi}=E[T_{tx}+T_q] \quad (۷)$$

E در اینجا امید ریاضی است، T_q مدت زمان سپری شده از لحظه ورود بسته به صف تا زمان رسیدن به اول صف است در حالی‌که T_{tx} مدت زمان دریافت خدمات انتقال بسته یعنی از لحظه ورود به اول صف تا زمانی که انتقال آن کامل می‌شود، است. بنابراین این دو با همدیگر در ارتباط هستند، در واقع مدت زمان در صف ماندن بسته برابر با مدت زمان ارسال همه بسته‌های جلوتر از بسته فعلی است. بنابراین اگر فرض کنیم یک بسته به یک صف که K بسته در آن قرار دارد برسد d_{hi} می‌تواند به‌صورت معادله (۸) نیز نوشته شود:

$$d_{hi=}(k+1)E[T_{tx}] \quad (۸)$$

زمانی که یک گره پل یک پیام RAP دریافت می‌کند h خود را یک واحد اضافه کرده و d_h خود را محاسبه و آنرا به مقدار d_p اضافه می‌کند و سپس RAP را به ارسال کننده بعدی می‌فرستد. این فرآیند تا رسیدن RAP به تقاطع بعدی ادامه می‌یابد. در این تقاطع گره پل مدت زمان تاخیر دریافت RAP یا d_{rap} را با معادله (۹) محاسبه می‌کند:

$$d_{rap}=t_{rx}- \text{TimeStamp} \quad (۹)$$

که در این فرمول t_{rx} زمان دریافت RAP بعد از محاسبه d_{rap} با دو حد آستانه T_{bc}وT_{cf} مقایسه می‌شود. T_{bc} حد بالای زمان مورد نیاز برای طی کردن پیام RAP از روی قطعه جاده ایی از یک ستون فقرات است و با معادله (۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$T_{bc}=\sum_{i=1}^{h_{max}} T_{tx} \quad (۱۰)$$

h_{max} ماگزیمم تعداد گره BV که قطعه جاده‌ایی می‌تواند در خود نگه دارد، است و با معادله (۱۱) محاسبه می‌گردد:

$$h_{max}=\left\lceil \frac{3L}{2R} \right\rceil \quad (۱۱)$$

L طول قطعه جاده‌ایی است، در آن سو T_{cf} ماکزیمم زمان، زمان انتظار برای RAP موقعی که از روش حمل و انتقال استفاده می‌کنیم است. T_{cf} به t_{cross} گره‌های پل وابسته است در نتیجه T_{cf} با استفاده از معادله (۱۲) محاسبه می‌گردد:

$$T_{cf}= t_{cross}-T_{bc} \quad (۱۲)$$

دلیل کم کردن t_{bc} از t_{cross} دادن فرصت به گره‌های پل برای پردازش پیام‌های RAP دریافتی است. زمانی که $d_{rap}< T_{bc}$ گره پل می‌فهمد که قطعه جاده‌ایی یک ستون فقرات را در خود نگه داشته است. در حالتی که $T_{bc}<d_{rap}<T_{cf}$ گره پل فرض می‌کند که قطعه جاده‌ایی به‌طور موقت قطع ارتباط کرده و از تکنیک حمل و ارسال در میانه‌های راه برای ارسال استفاده کرده است. به عبارت دیگر گره پل نتیجه می‌گیرد که قطعه جاده‌ایی کاملا قطع شده است. بر این اساس گره‌های پل وزن‌ها را بر روی قطعات جاده‌ایی مطابق معادله (۱۳) تخصیص می‌دهند.

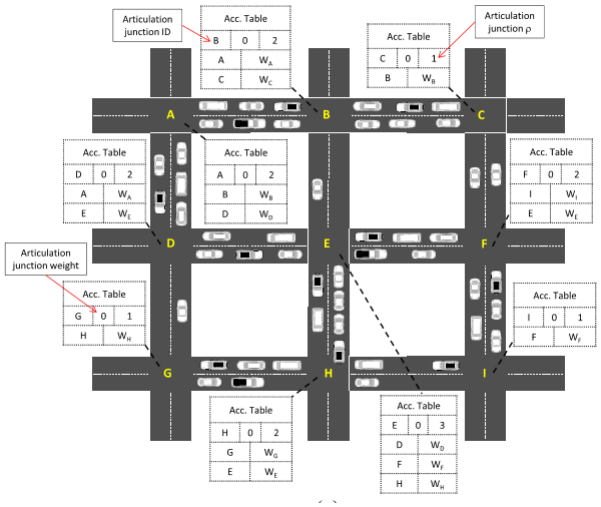
$$W_{s(i,j)}=\begin{cases} d_p & \text{if } d_{rap} < T_{bc} \\ d_{cf} * P_{cf} + d_p & \text{if } T_{bc} < d_{rap} < T_{cf} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۱۳)$$

d_{cf} زمان تاخیر وارد آمده در زمان استفاده از تکنیک حمل و انتقال است که برای محاسبه ما L را بر n زیر قطعه به طول R تقسیم می‌کنیم.

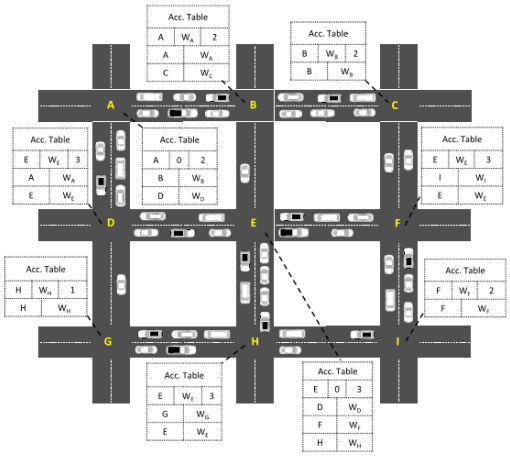
۳-۵- انتخاب تقاطع مفصل

داشتن اطلاعات عمومی از توپولوژی شبکه با توجه به سایز شهرهای مدرن کار بسیار مشکلی است. ما در این تحقیق شهر را به دو ناحیه تقسیم کرده و در هر کدام یک تقاطع مفصل انتخاب می‌کنیم. اندازه هر ناحیه را یک بلوک ۳×۳ با هدف محدودکردن توزیع RAP و کنترل اندازه آن‌ها، در نظر می‌گیریم.

یک تقاطع مفصلی[۵]تقاطعی است که از طریق آن تقاطع‌های زیادی به هم متصل شده‌اند از اینرو یک نگاه کلی از توپولوژی شبکه را برای ما فراهم می‌نماید. شکل (۵) نحوه انتخاب یک تقاطع مفصل را بیان می‌کند. در ابتدا هر گره پل تقاطع مربوط به خود را به عنوان چهار راه مفصل انتخاب کرده و تعداد تقاطع‌هایی که به آن متصل شده است را P و مقدار اولیه آن‌را صفر در نظر می‌گیرد. بعد از تبادل اولین دور از پیام RAP گره‌های پل P مربوط به خودشان را از روی تعداد RAP های دریافتی مطابق شکل (۵-الف) به روزرسانی می‌نمایند. در دور دوم گره‌های پل جدول‌های مسیریابی شان را به RAP (با استفاده از فیلد Option) قبل از همه پخشی آن، اضافه می‌نمایند. وقتی این پیام به گره پل رسید، گره پل جدول مسیریابی را با مال خودش مقایسه می‌کند. تقاطع با بزرگترین P به عنوان تقاطع مفصل انتخاب می‌گردد.در شکل (۵-ب) گره‌های پل در تقاطع‌های C، G و I به ترتیب تقاطع های I و B و H را به عنوان تقاطع مفصل انتخاب می‌کنند در حالی‌که تقاطع های D و H و F تقاطع E را به عنوان چهارراه مفصل انتخاب می‌کنند. در مورد تقاطع‌های A و B که P یکسانی دارند، تقاطع با کمترین مقدار جمع وزنی به در این مورد تقاطع A به عنوان چهارراه مفصل انتخاب می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل (۵): مکانیزم انتخاب تقاطع مفصل

Figure (5): Joint intersection selection mechanism

۶-۳- ساختن جدول مسیریابی

زمانی که یک گره مبدا می‌خواهد بسته داده‌ایی را به سمت مقصد ارسال نماید یک پیام جستجوی مسیر[۱۶](RQ) شامل ID منبع، ID مقصد و موقعیت مقصد تولید می‌نماید. گره مبدا پیام را به نزدیک‌ترین گره پل ارسال می‌کند و گره پل به محض دریافت این پیام، جدول مسیریابی آن را کنترل می‌کند تا بفهمد که آیا می‌تواند به مقصد برسد یا نه. در صورت مثبت بودن پاسخ یک پیام نتیجه مسیریابی (RR) که در آن مسیر مورد نظر قرار دارد تولید می‌گردد و اگر پاسخ منفی باشد، گره پل پیام RQ را به یک چهارراه مفصل تحویل می‌دهد. گره پل در تقاطع مفصل کنترل می‌کند که آیا مقصد در این ناحیه قرار دارد، اگر بله مسیر با کمترین وزن به عنوان مسیر مقصد انتخاب می‌گردد، اگر نه زیر مسیرها با کمترین وزن بین مبدا و مقصد محاسبه شده و به پیام RQ اضافه می‌گردد و به تقاطع مفصل همسایه تحویل داده می‌شود. این روند تا رسیدن به مقصد ادامه پیدا می‌کند. ممکن است گره مقصد چندین پیام RQ دریافت نماید که دلالت بر وجود چندین مسیر مختلف است. در این حالت گره مقصد همه مسیرها را در جدول مسیریابی‌اش ذخیره نموده و مسیر با کمترین وزن را انتخاب کرده و آنرا به RR اضافه کرده و به سمت مبدا ارسال می‌کند و گره مبدا به محض دریافت آن شروع به ارسال بسته‌های داده می‌نماید.

۴- نتایج شبیه سازی

پروتکل پیشنهادی بر روی محیط NS2 و فریم ورک Cygwin شبیه‌سازی شده است. عملکرد پروتکل پیشنهادی با دو[۱۸](AODV) [۲۵] و[۱۹](AOMDV) [۲۶] مقایسه گردیده است. پارامترهای شبیه‌سازی پروتکل‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

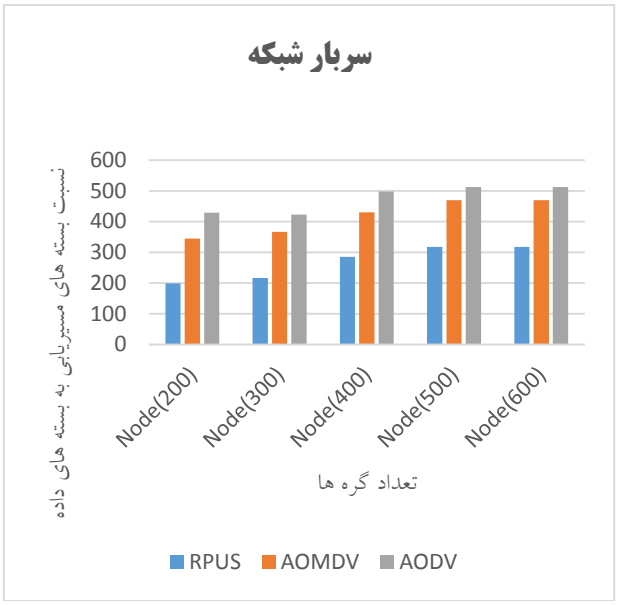
Table (1): Simulation parameters

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Value
R	250 m
Node Density	4096 node/km^2
Data Rate	0.5Mbps
Beacon interval	1 second
Packet size	512 byte
d_s	3m

عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس سه معیار سربار شبکه، نرخ تحویل بسته و تاخیر انتها به انتها مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است [۱۶]. نتایج برای تعداد ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ گره نشان داده شده است.

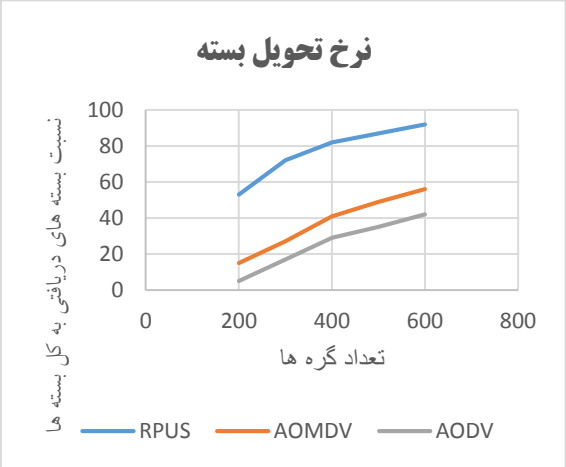
سربار شبکه بیانگر نسبت تعداد بسته های مسیریابی ارسال شده به بسته‌های داده‌ای تحویل داده شده به مقصد است که در آن به ازای هر انتقال گام از بسته، یک واحد به بسته‌های مسیریابی اضافه می‌شود. همان‌طور که در شکل (۶) دیده می‌شود، نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی برای این معیار بهبود قابل توجهی نسبت به پروتکل‌های AODV و AOMDV داشته است.



شکل (۶): مقایسه سربار پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های AOMDV و AODV

Figure (6): Overhead of proposed protocol vs AODV and AOMDV protocols

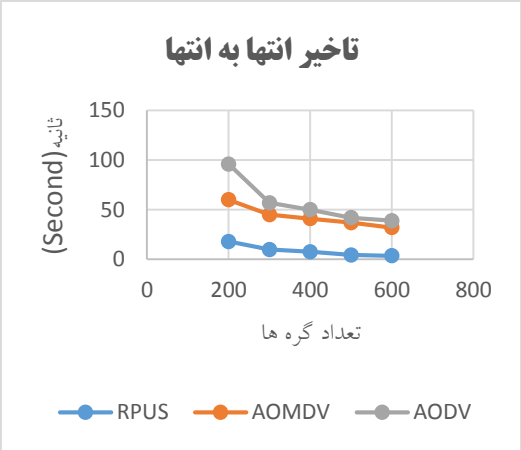
نرخ تحویل بسته[1]نسبت بسته‌های دریافت شده توسط گره مقصد به بسته‌های ارسال شده توسط گره منبع است. شکل (۷) نشان دهنده مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با دو روش دیگر بر اساس این معیار است. همچنان‌که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی عملکرد بهتری دارد و میزان نرخ تحویل بسته در آن نسبت به دو روش دیگر بالا هست.



شکل (۷): مقایسه نرخ تحویل بسته پروتکل پیشنهادی با AOMDV و AODV

Figure (7): Packet delivery ratio of proposed protocol vs AODV and AOMDV protocols

تاخیر انتها به انتها[2]میانگین زمان ارسال داده از گره منبع تا زمان رسیدن بسته به گره مقصد است که این تأخیر شامل کل تأخیرهای ممکن ازجمله تأخیر زمان انتقال و انتشار پیام، تأخیر ناشی از بافرینگ در طول ایجاد مسیر و تأخیر پردازش است. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، در هر سه روش با افزایش تعداد گره‌ها میانگین تاخیر انتها به انتها کاهش می‌یابد. میزان تاخیر در روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش دیگر در تمامی حالات پایین تر است.



شکل (۸): مقایسه میانگین تاخیر انتها به انتها پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های AODV و AOMDV

Figure (8): Average end-to-end delay of proposed protocol vs AODV and AOMDV protocols

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی آگاه از جاده به منظور کاهش تاخیر انتها به انتها برای شبکه‌های بین خودرویی ارایه گردید. پروتکل پیشنهادی اطلاعات توپولوژی شبکه را استخراج کرده و در محیط‌های ترافیکی با حجم متوسط قابل بهره‌برداری است. در ابتدا یک ستون فقرات جاده‌ایی بر روی قطعات جاده‌ایی ساخته شده و از طریق گره‌های پل در تقاطع ها به یکدیگر متصل می‌شوند. سپس مقدار وزنی بر روی قطعات جاده ایی از طریق جمع‌آوری اطلاعات پیام RAP الصاق می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده عملکرد بهتر پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل‌های AODV و AOMDV است.

References

مراجع

[1] S. Al-Sultan, M.M. Al-Doori, A. H. Al-Bayatti, H. Zedan, "A comprehensive survey on vehicular ad hoc network", Journal of Network Computing and Applications, vol. 37, pp. 380–392, Jan. 2014 (doi: 10.1016/j.j-nca.2013.02.036).

[2] R. Barskar, M. Chawla, "Vehicular ad hoc networks and its applications in diversified fields", International Journal of Computer Applications, vol. 123, no. 10, pp. 7-11, 2015 (doi: 10.5120/IJCA2015905510).

[3] R. G. Engoulou, M. Bellaïche, S. Pierre, A. Quintero, "VANET security surveys", Computer Communications, vol. 44, pp.1-13, March 2014 (doi: 10.1016/j.comcom.2014.02.020).

[4] J. Kakarla, S. Siva Sathya, B. Govinda Laxmi, R. Babu B, "A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET", International Journal of Computer Applications, vol. 28, no. 4, pp. 38–44, Aug. 2011 (doi: 10.5120-/3373-4663).

[5] Y. Sun, X. Lin, R. Lu, X. Shen, J. Su, "Roadside unit's deployment for efficient short time certificate updating in vanets", Proceeding of the IEEE/ICC, Cape Town, South Africa, pp.1-5, May 2010 (doi: 10.1109/icc.201-0.5502183)

[6] K. C. Lee, U. Lee, M. Gerla. "Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks", In Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges. edited by Mohamed Watfa, Hershey, PA: IGI Global, pp. 149-170, 2010 (doi:10.4018/978-1-61520-913-2.ch008).

[7] Z. Lu, G. Qu, Z. Liu, "A Survey on recent advances in vehicular network security, trust, and privacy", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 20, no. 2, pp. 760–776, Feb. 2019 (doi: 10.1109/tits.201-8.2818888).

[8] M. Arif, G. Wang, M. Z. A. Bhuiyan, T. Wang, J. Chen, "A survey on security attacks in VANETs: communication, applications and challenges," Vehicular Communications, vol. 19, p. 100179, 2019 (doi: 10.1016/j.vehcom.2019.100179).

[9] M. S. Sheikh, J. Liang, "A comprehensive survey on VANET security services in traffic management system", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2019, pp. 1–23, Sept. 2019 (doi: 10.1155/2019/2423-915).

[10] A. Mahmood, B. Butler, W. E. Zhang, Q. Z. Sheng, S. A. Siddiqui, "A hybrid trust management heuristic for VANETs", Proceedings of the IEEE/PERCOM, pp. 748–752, March 2019 (doi: 10.1109/percomw.2019.8-730675).

[11] Y. He, F. R. Yu, Z. Wei, V. Leung, "Trust management for secure cognitive radio vehicular ad hoc networks", Ad Hoc Networks, vol. 86, pp. 154–165, 2019 (doi:1 0.1016/j.adhoc.2018.11.006).
[12] A. Boualouache, S.-M. Senouci, S. Moussaoui, "A survey on pseudonym changing strategies for vehicular ad-hoc networks", IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 20, no. 1, pp. 770–790, 2018 (doi: 10.1109/comst.2017.2771522).
[13] S. Boussoufa-Lahlah, F. Semchedine, L. Bouallouche-Medjkoune, "Geographic routing protocols for vehicular ad hoc networks (VANETs): A survey", Vehicular Communications, vol. 11, pp. 20–31, 2018 (doi: 10.1016/j.vehcom.2018.01.006).
[14] M. T. Garrosi, M. Kalac, T. Lorenzen, "Geo-routing in urban Vehicular Ad-hoc Networks: A literature review", Proceeding of the IEEE/ICNC), Santa Clara, CA, pp. 865-871, 2017 (doi: 10.1109/ICCNC.2017.7-876245).
[15] N. Goel, G. Sharma, I. Dhyani, "A study of position based VANET routing protocols", Proceeding of the IEEE/ICCCA, pp. 655-660, Noida, India, April 2016 (doi:10.1109/ccaa.2016.7813803).
[16] J. Liu, J. Wan, Q. Wang, P. Deng, K. Zhou, Y. Qiao, "A survey on position-based routing for vehicular ad hoc networks", Telecommunication Systems, vol. 62, pp. 15-30, 2016 (doi:10.1007/s11235-015-9979-7).
[17] B. Karp, H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks", Proceeding of the AICMCN, pp. 243–254, Aug. 2000 (doi:10.21236/ada440078).
[18] M. Jerbi, S. M Senouci, R. Meraihi Y. GhamriDoudane, "An improved vehicular ad hoc routing protocol for city environments", Proceeding of the IEEE/ICC, pp. 3972–3979, Glasgow, UK, June 2007 (doi: 10.11 09/icc.2007.654).
[19] N. Alsharif, S. Cespedes, X. Shen, "iCAR: Intersection-based connectivity aware routing in vehicular ad hoc networks", Proceeding of the IEEE/ICC, pp. 1736–1741, Budapest, Hungary, June 2013 (doi: 10.1109/ic-c.2013.6654769).
[20] P. Sahu, E. Wu, J. Sahoo, M. Gerla, "BAHG: Back-bone-assisted hop greedy routing for VANET's city environments", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 1, pp. 199–213, 2013 (doi: 10.1109/tits.2012.2212189).
[21] M. A. Togou, A. Hafid, L. Khoukhi. "SCRP: stable CDS-based routing protocol for urban vehicular ad hoc networks", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 17, no. 5, pp. 1298-1307, 2016 (doi:10.1-109/tits.2015.2504129).
[22] M. A. Togou, A. Hafid, P. Sahu, "A stable minimum velocity CDS-based virtual backbone for VANET in city environment", Proceeding of the IEEE/LCN, pp. 510–513, Edmonton, AB, Canada, Sept. 2014 (doi:10.1109/lcn.2014.6925829).
[23] M. A. Togou, A. Hafid, L. Khoukhi, "A novel CDS-based routing protocol for vehicular ad hoc networks in urban environments", Proceeding of the IEEE/GLOBECOM, pp. 1–6, San Diego, CA, USA, Dec. 2015 (doi: 10.1109/glocom.2015.7417266).
[24] K. N. Qureshi, A. H. Abdullah, J. Lloret, A. Altameem, "Road-aware routing strategies for vehicular ad hoc networks: characteristics and comparisons", International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 12, no. 3, pp. 1-16, Jan. 2016 (doi:10.1155/2016/1605734).
[25] C. E. Perkins, E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing", Proceedings of the IEEE/WMCSA, pp. 90-100, New Orleans, LA, USA, USA, Feb. 1999 (doi: 10.1109/MCSA.1999.749281).
[26] M. K. Marina, S. R. Das, "Ad hoc on-demand multipath distance vector routing", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 6, no. 3, pp. 92–93, Jun. 2002 (doi:10.1145/581291.581305).

زیرنویس‌ها:

1. Vehicular ad hoc network
2. Routing protocols
3. Greedy perimeter stateless routing
4. Intersection-based connectivity aware routing
5. Back-bone-assisted hop greedy
6. Stable CDS-based routing protocol
7. Stable minimum velocity CDS-based virtual backbone
8. Backbone vehicles
9. Normal vehicles
10. Routing protocol for urban scenarios
11. Link life time
12. Bridge node
13. Road segment assessment

14. Road assessment packet
15. Joint intersection
16. Route query
17. Route result
18. Ad hoc on distance vector
19. Ad hoc on demand multipath distance vector
20. Network overhead
21. Packet delivery ratio
22. End to end delay