Scientific Journal of Electronic & Cyber Defense
Vol. 12, No. 2, Summer 2024, Serial No. 46
ISSN: 2322-4347 , E-ISSN: 2980-8979

Improving the Geo-LU routing algorithm by considering the lifetime of links in selecting the next hop toward the destination in VANETs

R. Ghafouri Vayghan[1]*, M.H Lotfi nekoo [2]
Assistant Professor, Computer Department, Faculty of Technology and Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
(Received: 2024/04/09, Revised: 2024/07/10, Accepted: 2024/08/03, Published: 2024/08/31)
DOR:

ABSTRACT

Routing algorithms in VANETs are classified into two categories: topology-based algorithms and position-based algorithms. Position-based algorithms are more suitable for VANETs due to their scalability. In these algorithms, the nodes obtain information about their neighbors using Hello messages, and then based on the information obtained from the neighbors, the next hop towards the destination is selected. The Geo-LU (Geographical Link Utility) algorithm is a position-based routing algorithm in which nodes collect the information of two-hop neighbors in addition to one-hop neighbors information. In this way, they expand their local view in selecting the next hop towards the destination. According to the information obtained from one-hop and two-hop neighbors, a pair consisting of one one-hop neighbor and one two-hop neighbor is selected towards the destination. In this algorithm, among the candidate pairs, a pair is selected which, while having a shorter distance to the destination, has a better link quality (a link with a higher delivery rate) and more bandwidth. In the Geo-LU algorithm, one of the most important challenges of VANETs, which is the short lifetime of links due to the mobility of nodes, is not considered in the selection of the next pair. Therefore, in this paper, the efficiency of the Geo-LU algorithm is improved by considering the lifetime of links when selecting the next pair. In this way, the proposed method can perform better than the Geo-LU algorithm against the mobility of nodes and the loss of connections in VANETs. The proposed method has been simulated using NS2 and several experiments have been conducted to check and evaluate its performance. The simulation results show that the proposed method compared to the Geo-LU protocol in scenarios with different density of vehicles increases 3% the packet delivery ratio and decreases 6% the end to end delay. Also the proposed method in scenarios with different speed of vehicles increases 5% packet delivery ratio and reduces 20% end to end delay .

Keywords: VANETs, .Geographic routing Geo-LU algorithm Links lifetime.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

*Corresponding Author Email: autcomp@yahoo.com

"پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۵۲-۴۱

علمی – پژوهشی

بهبود الگوریتم مسیریابی Geo-LU با درنظرگرفتن طول عمر پیوندها در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد در شبکه‌های بین خودرویی

ربابه غفوری وایقان [۱*]، محمدحسین لطفی نکو [۲]

۱- کارشناسی‌ارشد. ۲- استادیار، گروه کامپیوتر، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳، انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰)

DOR:

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) نویسندگان

چکیده

الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی به دو دستهٔ الگوریتم‌های مبتنی بر توپولوژی و الگوریتم‌های مبتنی بر موقعیت دسته‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های مبتنی بر موقعیت به دلیل مقیاس‌پذیر بودن، برای شبکه‌های بین خودرویی مناسب‌تر هستند. در این الگوریتم‌ها گره‌ها با استفاده از پیام‌های Hello اطلاعات مربوط به همسایگان خود را به دست می‌آورند و سپس بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از همسایگان، گام بعدی به سمت مقصد انتخاب می‌شود. الگوریتم Geo-LU(Geographical Link Utility) یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر موقعیت است که در آن گره‌ها علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دو گامی را نیز گردآوری می‌کنند و به‌این‌ترتیب دید محلی خود را در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد وسیع‌تر می‌کنند. باتوجه‌به اطلاعات به‌دست‌آمده از همسایگان یک گامی و دو گامی، در هر مرحله زوجی متشکل از یک همسایهٔ یک گامی و یک همسایهٔ دو گامی به سمت مقصد انتخاب می‌شود. در این الگوریتم از بین زوج‌های کاندید، زوجی انتخاب می‌شود که ضمن داشتن فاصلهٔ کمتر با مقصد، دارای کیفیت پیوند بهتر (پیوندی با نرخ تحویل بالاتر) و پهنای باند بیشتری باشد. در الگوریتم Geo-LU یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی که طول عمر کوتاه پیوندها به دلیل تحرک بالای گره‌ها است در انتخاب زوج بعدی (گام بعدی) در نظر گرفته نشده است؛ لذا در این مقاله کارایی الگوریتم Geo-LU با درنظرگرفتن طول عمر پیوندها در انتخاب زوج بعدی بهبود داده می‌شود. به‌این‌ترتیب روش پیشنهادی در مقابل تغییرات مداوم توپولوژی و قطعی اتصالات می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم Geo-LU داشته باشد. روش پیشنهادی با استفاده از NS2 شبیه‌سازی شده و آزمایشات متعددی برای بررسی و ارزیابی عملکرد آن انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل Geo-LU در سناریوهایی با تراکم متفاوت خودروها به طور متوسط باعث افزایش ۳ درصدی نرخ تحویل بسته و کاهش ۶ درصدی تأخیر انتها به انتها شده و همچنین در سناریوهایی با سرعت متفاوت خودروها، باعث افزایش ۵ درصدی نرخ تحویل بسته و کاهش ۲۰ درصدی تأخیر انتها به انتها می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های بین خودرویی، مسیریابی جغرافیایی، الگوریتم Geo-LU ، طول عمر پیوندها

۱- مقدمه

در طول سالیان اخیر، شبکه‌های بین خودرویی VANET برای بهبود ایمنی جاده‌ها و سرگرمی مسافران توجهات بسیار زیادی را به خود جلب کرده‌اند. در شبکه‌های بین خودرویی خودروها مجهز به تجهیزاتی مانند OBU [۲] و AU [۳] هستند و توانایی برقراری ارتباط با خودروهای اطراف (V2V) و واحدهای کنار جاده‌ای (RSU [۴]ها) را دارند (V2I) [۱]. خودروها با برقراری این ارتباطات امکان به‌اشتراک‌گذاری و مبادله اطلاعات را به دست می‌آورند و می‌توانند برای بهبود ایمنی جاده‌ها و مدیریت ترافیک با یکدیگر یا واحدهای کنار جاده‌ای در حال تعامل باشند[۲]. در شبکه‌های بین خودرویی، به دلیل حرکت گره‌ها و تغییرات زیاد توپولوژی، شکست مداوم پیوندها پدیده‌ای رایج است که باعث

* رایانامه نویسنده مسئول: autcomp@yahoo.com

[2] On-Board Unit
[3] Application Unit
[4] RoadSide Unit

می‌شود تبادل اطلاعات بین گره‌ها با مشکل مواجه شده و منجر به ازدست‌رفتن بسته‌ها و یا ایجاد تأخیر انتها به انتها گردد.

در رسیدن آنها به مقصد شود. همچنین در این شبکه‌ها پهنای باند محدود رسانهٔ اشتراکی نیز می‌تواند باعث ایجاد تصادم و برخورد بسته‌ها شده و منجر به ازدست‌رفتن آنها و افزایش تأخیر انتها به انتها گردد.

باتوجه‌به اینکه در اغلب کاربردهای شبکه‌های بین خودرویی، نیاز است که داده‌ای از طرف یک خودروی مشخص ارسال شده و توسط خودرو مقصد دریافت گردد، طراحی پروتکل‌های مسیریابی قابل‌اطمینان که بتوانند توپولوژی پویا، توزیع ناهمگن گره‌ها، اتصالات ناپایدار و پهنای باند محدود را در نظر بگیرند دارای اهمیت زیادی است.

به‌طورکلی الگوریتم‌های مسیریابی ارائه شده در شبکه‌های بین خودرویی به دو دستهٔ پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی و پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت (جغرافیایی) تقسیم‌بندی می‌شوند. در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی اطلاعات پیوند بین گره‌ها از قبل در جداول مسیریابی ذخیره می‌شوند و دنباله‌ای از خودروها بین مبدأ و مقصد از قبل تعیین می‌شوند. در مقابل، پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی یا موقعیتی وابسته به اطلاعاتی که از قبل در جداول مسیریابی ذخیره شده باشند نیستند و در آنها مسیریابی باتوجه‌به موقعیت هر گره (که از طریق GPS به دست می‌آید) انجام می‌گیرد [۳]؛ بنابراین مسیریابی همیشه بر اساس به‌روزترین شرایط انجام می‌گیرد. پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی به‌جای اطلاعات کامل از گراف شبکه با اطلاعات محلی همسایگان کار می‌کنند، لذا دارای مقیاس‌پذیری وسیع‌تری بوده و برای توپولوژی پویای شبکه‌های بین خودرویی مناسب‌تر هستند [۴-۵].

عملیاتی که در پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی انجام می‌شوند به دو مرحلهٔ مهم تقسیم می‌شوند. کارایی این پروتکل‌ها به چگونگی انجام این دو مرحله بستگی دارد. مراحل عبارت‌اند از:

۱. پخش پیام Hello توسط هر گره: این کار به‌منظور دست‌یافتن گره‌ها به اطلاعات همسایگان خود و به‌دست‌آوردن دید محلی انجام می‌گیرد. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پیام‌های Hello، هر گره همسایگان خود را می‌شناسد و اطلاعات کاملی از آنها به دست می‌آورد. از اطلاعات به‌دست‌آمده جهت انتخاب گام بعدی به سمت مقصد استفاده می‌کند.

۲. استراتژی و قوانین انتخاب گام بعدی: بر اساس این قوانین و استراتژی‌ها، در هر مرحله از مسیریابی، گره یا گام بعدی به سمت مقصد انتخاب می‌شود. این انتخاب بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پیام‌های Hello انجام می‌گیرد.

پژوهش‌ها و کارهای انجام شده توسط محققان به‌منظور ارائه پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی با کارایی بالاتر، بر روی این دو عمل متمرکز شده‌اند. برخی از پژوهش‌ها به مشکلاتی که پخش دوره‌ای و متناوب پیام‌های Hello ایجاد می‌کند (مانند ایجاد ترافیک و برخورد و اتلاف منابع شبکه) پرداخته‌اند و تلاش کرده اند تا با ارائهٔ راه‌حل‌هایی تا جای ممکن از فرا پخش بسته‌های Hello بکاهند [۶-۸]. برخی دیگر از پژوهش‌ها به تدوین قوانین و راهبُردهایی برای انتخاب بهترین گام بعدی به سمت مقصد پرداخته‌اند[۹-۱۱]. الگوریتم مسیریابی Geo-LU [۱۲] یکی از الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی ارائه شده برای شبکه‌های بین خودرویی است که در این الگوریتم تمرکز اصلی بر قوانین و استراتژی‌های انتخاب گام بعدی به سمت مقصد است.

الگوریتم Geo-LU برای انتخاب گام بعدی به سمت مقصد علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی از اطلاعات همسایگان دو گامی نیز استفاده می‌کند و در هر مرحله به‌جای انتخاب فقط یک گره به‌عنوان گام بعدی، دو گره را به‌عنوان زوج بعدی برای رسیدن به مقصد انتخاب می‌کند. به‌عبارت‌دیگر به‌جای یک گره به‌عنوان گام بعدی، دو گره به‌عنوان زوج بعدی به‌عنوان بخشی از مسیر از مبدأ به مقصد انتخاب می‌شود. استفاده از اطلاعات همسایگان دو گامی در کنار اطلاعات همسایگان یک گامی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد مسیریابی شود. زیرا اطلاعات بیشتری در تصمیم‌گیری‌های مسیریابی و انتخاب گام بعدی مورداستفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند بر روی نرخ تحویل و تأخیر تأثیرگذار بوده و آنها را بهبود دهد. الگوریتم Geo-LU از بین زوج‌های کاندید که می‌توانند به‌عنوان گام بعدی به سمت مقصد انتخاب شوند زوجی را انتخاب می‌کند که فاصلهٔ کمتری با گره مقصد داشته، دارای کیفیت پیوند بهتری بوده و پهنای باند باقیماندهٔ بیشتری داشته باشد.

همان‌طور که اشاره شد الگوریتم Geo-LU، در انتخاب زوج بعدی از بین زوج‌های کاندید، فاصله با مقصد،کیفیت پیوند و پهنای باند باقیمانده را در نظر می‌گیرد و زوجی را انتخاب می‌کند که باتوجه‌به فاصله، کیفیت پیوند و پهنای باند، بالاترین سودمندی را داشته باشد. ولی در الگوریتم Geo-LU، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی که طول عمر پیوندها (به دلیل متحرک بودن گره‌ها) است، در قوانین انتخاب زوج بعدی در نظر گرفته نمی‌شود؛ لذا در این مقاله هدف بهبود کارایی الگویتم Geo-LU با درنظرگرفتن طول عمر پیوندها در انتخاب زوج بعدی به سمت مقصد است. انتظار می‌رود با درنظرگرفتن طول عمر پیوندها در انتخاب زوج بعدی، کارایی الگوریتم Geo-LU در شرایطی که تحرک گره‌ها زیاد باشد و طول عمر پیوندها کم باشد و همچنین در شرایطی که تراکم گره‌ها در شبکه زیاد باشد بهبود یابد و نرخ تحویل بسته بهتر

شده و تأخیر انتها به انتها کاهش یابد.

در ادامه، ابتدا خلاصه‌ای از کارهای انجام شده توسط محققان در حوزهٔ الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی در شبکه‌های بین خودرویی آورده شده است. در بخش ۳، الگوریتم Geo-LU بطور کامل بررسی می‌شود. در بخش ۴، روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم Geo-LU شرح داده می‌شود. در بخش ۵، روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم Geo-LU با استفاده از فرایند شبیه سازی و انجام آزمایشات متعدد در شرایط مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- پژوهش‌های مرتبط

در این بخش خلاصه‌ای از مهم‌ترین کارهای انجام شده توسط محققان در زمینه مسیریابی مبتنی بر موقعیت (جغرافیایی) در شبکه‌های بین خودرویی آورده شده است.

پروتکل[۱۳] GPSR یکی از اولین پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی است که محدودیت‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی را حذف کرده است و با استفاده از اطلاعات دقیق حرکتی (مانند موقعیت جغرافیایی گره‌ها) با کمک سیستم‌های موقعیت‌یاب مانند دستگاه‌های GPS مسیریابی را انجام می‌دهد. در این پروتکل گام بعدی بر اساس موقعیت همسایگان یک گامی و موقعیت مقصد نهایی انتخاب می‌شود. GPSR گرهی را به‌عنوان گام بعدی انتخاب می‌کند که دارای فاصلهٔ دورتر از مبدأ یا فاصلهٔ نزدیک‌تری به مقصد باشد.

در مرجع [۱۴] بهبودی برای الگوریتم GPSR با نام KF-GPSR ارائه شده است که در آن هر خودرو با استفاده از الگوریتم فیلترینگ کالمن موقعیت همسایگان خودش را تخمین می‌زند. این الگوریتم تلاش می‌کند با به کارگیری تکنیک تخمین، فرکانس پخش پیام‌های Hello را با حفظ دقت اطلاعات موقعیتی کاهش دهد.

الگوریتم مسیریابی جغرافیایی [۱۰] Geo-CAP نمونه‌ای از الگوریتم‌هایی است که تلاش می‌کند با انتخاب گره بهتر به‌عنوان گام بعدی برای ارسال بسته‌ها به سمت مقصد، نرخ تحویل بسته را بهبود داده و تأخیر را کاهش دهد. این الگوریتم با انتخاب پیوندهای قابل اطمینان‌تر و واکنش به موقع به تغییرات بار گره‌ها و تغییرات شرایط شبکه، تلاش می‌کند بهترین گره همسایه را به‌عنوان گام بعدی در مسیریابی انتخاب کند. باتوجه‌به اینکه این الگوریتم جهت مقایسه با روش پیشنهادی در این مقاله مورداستفاده قرار گرفته است لذا در ادامه این الگوریم با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شود.

الگوریتم Geo-CAP، در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد، برای هر یک از گره‌های کاندید، مقدار FWDmesure را محاسبه می‌کند و بر اساس آن گرهی را از بین گره‌های کاندید به‌عنوان گره بعدی انتخاب می‌کند که دارای کمترین مقدار برای FWDmesure باشد. مقدار FWDmesure برای هر یک از گره‌های کاندید با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$FWDmesure_{V_n,V_i}(V_d) = \beta \times UM(V_n,V_i) + (1-\beta)\times LDB_u(V_n,V_i) \quad (۱)$$

در این رابطه V_d گره مقصد، V_n گره ارسال کننده‌ی جاری، V_i گره کاندید برای گام بعدی و β برای تعیین میزان تاثیرگذاری هر یک از معیارها استفاده شده است. $UM(V_n,V_i)$ معیاری از فاصلهٔ گره کاندید V_i (باتوجه‌به موقعیت فعلی و جهت حرکت آن) نسبت به گره مقصد V_d است و هر قدر عدد کمتری باشد بهتر است. $LDB_u(V_i,V_n)$ معیار رفتار دینامیکی پیوند بی‌سیم بین گره V_i و V_n را نشان می‌دهد. مقدار LDB برای یک لینک هر قدر مقدار کمتری باشد نشان دهنده‌ی مناسب بودن لینک u است. LDB_u با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$LDB_u(V_i,V_n) = ETX_u(V_i,V_d) - LTI_u(V_i,V_d) \quad (۲)$$

ETX_u کیفیت پیوند بین گره انتقال فعلی V_n و گره کاندید V_i را نشان می‌دهد و هر قدر عدد کمتری باشد نشان دهنده‌ی کیفیت بهتر پیوند است. به‌عنوان مثال اگر ETX برای یک پیوند برابر با ۲ باشد به این معنی است که باید دو بار بسته در آن لینک ارسال شود تا بتواند با موفقیت از لینک عبور کند. $LTI(V_i,V_d)$ برای تخمین پهنای باند پیوند به کمک توان عملیاتی و تداخل فیزیکی پیوند است و هر قدر عدد بیشتری باشد نشان دهنده‌ی مناسب بودن پیوند است.

پروتکل مسیریابی جغرافیایی [Geo-2hop[۱۲]، برای انتخاب گام بعدی، علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دو گامی را نیز در نظر می‌گیرد. در این الگوریتم، در هر مرحله به‌جای انتخاب یک گره به‌عنوان گره بعدی، یک جفت گره به‌عنوان زوج بعدی به سمت مقصد انتخاب می‌شود. در انتخاب زوج بعدی به سمت مقصد، تنها فاصلهٔ باقیمانده تا مقصد مورد توجه قرار می‌گیرد و بر همین اساس زوج بعدی انتخاب می‌شود. در این الگوریتم به جز فاصله با مقصد، معیار دیگری جهت انتخاب زوج بعدی مدنظر قرار نمی‌گیرد.

پروتکل مسیریابی جغرافیایی [Geo-LU[۱۲، همانند الگوریتم Geo-2hop، برای انتخاب گام بعدی، علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دو گامی را نیز در نظر می‌گیرد و به‌جای انتخاب یک گره به‌عنوان گره بعدی، یک جفت گره را به‌عنوان زوج بعدی به سمت مقصد انتخاب می‌کند. در این الگوریتم، در انتخاب زوج بعدی به سمت مقصد، علاوه بر فاصلهٔ باقیمانده تا مقصد، معیاری به نام سودمندی پیوند (LU:Link Utility) برای زوج‌های کاندید محاسبه شده و زوجی انتخاب

می‌شود که دارای سودمندی بیشتر باشد. گره‌هایی که دارای پیوندهایی با پهنای باند بیشتر و نرخ اتلاف بسته کمتری باشند، مقدار Lu (سودمندی پیوند) برای آنها مقدار بزرگ‌تری خواهد بود.

در مرجع [۱۵] در مورد GPS و عوامل محیطی که می‌توانند روی آن اثرگذار باشند و باعث خطا در اعلام موقعیت گرهها شوند، بحث شده است. در این پژوهش برای کاهش اثر خطای موقعیتی بر روی مسیریابی، از فیلتر کالمن و توسعه یافته آن استفاده شده است تا مسیریابی با حداقل خطای مکان‌یابی انجام گیرد.

در الگوریتم M-GEDIR[۹]، یک تکنیک مسیریابی جغرافیایی چند معیاره برای انتخاب گام بعدی پیشنهاد شده‌است. در این الگوریتم برای انتخاب گام بعدی پارامترهایی مانند قدرت سیگنال دریافتی و موقعیت آینده خودروها در نظر گرفته می‌شوند. همه‌ی همسایگان اطلاعات مهم از جمله سرعت، موقعیت وجهت را از طریق پیام‌های Hello با یکدیگر مبادله می‌کنند.

پروتکل مسیریابی چندمعیاره جغرافیایی با نام[۱۶] AMGPR از معیارهای تحرک، تراکم و وضعیت گره‌ها برای انتخاب گام بعدی در فرایند مسیریابی استفاده می‌کند. در این روش گره مبدأ وزن همسایگان یک گامی خودش را با درنظرگرفتن پارامترهای ذکر شده محاسبه می‌کند. همسایه یک گامی با حداقل وزن به‌عنوان ارسال‌کننده بعدی که داده باید از طریق آن ارسال شود، انتخاب می‌شود.

در پروتکل PGRP[۱۷] ، بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از همسایگان با استفاده از پیام‌های Hello، گام بعدی برای ارسال بسته‌ها انتخاب می‌شود. این پروتکل از معیارهای فاصلهٔ تخمین زده شده تا مقصد و جهت یا زاویهٔ حرکت گره‌ها برای انتخاب گام بعدی استفاده می‌کند. به‌این‌ترتیب از بین همسایگان، گرهی که فاصله و اختلاف جهت حرکتی کمتری را با مقصد داشته باشد، به‌عنوان گام بعدی انتخاب می‌شود.

پروتکل REMR [۱۸] یک الگوریتم مسیریابی جغرافیایی است که برای انتخاب گام بعدی از اطلاعات موقعیت مکانی آینده گره‌های همسایه استفاده می‌کند. این الگوریتم با درنظرگرفتن اطلاعات فاصله و موقعیت اقلیدسی، موقعیت‌های نسبی وسایل نقلیه همسایه را پیش‌بینی می‌کند و به‌این‌ترتیب همسایگان ناپایدار را از لیست نامزدهای گام بعدی حذف می‌کند. این الگوریتم از اطلاعات حرکتی وسایل نقلیه (مانند موقعیت، تغییرات سرعت، و زاویه حرکت) استفاده می‌کند تا گره بهتری به‌عنوان گام بعدی برای ارسال بسته به سمت مقصد انتخاب کند.

الگوریتم DABFS[۱۱] یک پروتکل مسیریابی جغرافیایی است که برای انتخاب گام بعدی جهت ارسال بسته به سمت مقصد، جهت، موقعیت و فاصله‌ی نسبی گره‌ها را در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند پیام‌های هشدار و ضروری را از طریق انتخاب بهترین گام بعدی در سریعترین زمان به مقصد برساند.

الگوریتم TGRV[۱۹]، یک الگوریتم مسیریابی جغرافیایی است که در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد، علاوه بر فاصله، جهت و سرعت همسایگان، از معیارهایی به نام اعتماد مستقیم و اعتماد توصیه شده برای هر گره نیز استفاده می‌کند. مقادیر مربوط به اعتماد مستقیم و اعتماد توصیه شده از نرخ انتقال صحیح بسته‌ها بین گره‌ها به دست می‌آیند و گره‌هایی که دارای نرخ انتقال بالاتری باشند معیار اعتماد برای آن گره‌ها بیشتر است. در نتیجه در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد، شانس بیشتری برای انتخاب‌شدن دارند.

الگوریتم[CDM-GRP۲۰]، یک پروتکل مسیریابی دیگر مبتنی بر موقعیت است که شناسایی حفره‌های شبکه، نسبت اشغال بافر و نرخ تغییر پیوند را در انتخاب گره بعدی به سمت مقصد مورد توجه قرار می‌دهد. در مرجع [۲۱]نیز برای بهبود یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های سیار موردی به نام AODV از شناسایی گره‌ها و مسیرهای امن در شبکه استفاده شده است. در این الگوریتم گره‌های ناامن شناسایی و حذف می‌شوند تا در انتخاب گره بعدی به سمت مقصد انتخاب نشوند.

۳- مروری بر الگوریتم Geo-LU

همان‌طور که اشاره شد در الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت در شبکه‌های بین خودرویی یکی از مهم‌ترین مراحل، انتخاب گرهی از بین گره‌های همسایه است تا ارسال بسته به آن گره انجام گیرد که اصطلاحاً به این عمل انتخاب گام بعدی گفته می‌شود. گره انتخاب شده نیز به‌نوبهٔ خود موظف است گام بعدی را انتخاب کرده و فرآیند ارسال را ادامه دهد تا بسته به مقصد برسد.

الگوریتم Geo-LU یکی از الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی است که علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دو گامی را نیز در نظر گرفته و به‌جای انتخاب یک گره به‌عنوان گام بعدی، یک زوج متشکل از دو گره را برای انتقال بسته‌ها به سمت مقصد انتخاب می‌کند.

فرض بر این است که هر گره از موقعیت خودش با استفاده از GPS و همچنین از موقعیت مقصد با استفاده از خدمات مکان‌یابی مطلع است. گره‌ها اطلاعات همسایگان یک گامی را از طریق مبادله پیام‌های Hello به دست می‌آورند؛ بنابراین هر گره از اطلاعات همسایگان یک گامی خود از جمله موقعیت آنها و اطلاعات پیوند آنها مطلع می‌باشد. برای به‌دست‌آوردن اطلاعات همسایگان دو گامی، هر گره پیام‌های Hello را که از همسایگان یک گامی خود دریافت می‌کند در داخل پیام‌های Hello که خودش پخش می‌کند قرار می‌دهد. بدین‌وسیله بسته‌های Hello که توسط هر گره دریافت می‌شود علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی حاوی اطلاعات همسایگان دو گامی نیز می‌باشند.

فرض کنید قرار است بستهٔ k از مبدأ $V_s(k)$ به مقصد $V_d(k)$ ارسال شود. برای این منظور لازم است تا در خصوص انتخاب گره بعدی که بسته باید به آن ارسال شود (گام بعدی) تصمیم گیری انجام شود. آخرین گرهی که بستهٔ k را دریافت کرده است و باید ارسال را به سمت گام بعدی انجام دهد، گره ارسال کنندهٔ جاری بستهٔ k نامیده می‌شود و به صورت $V_f(k)$ نشان داده می‌شود. در ابتدا گره مبدأ، گره ارسال کنندهٔ جاری یا $V_f(k)$ است.

مجموعهٔ همسایگان یک گامی V_f به صورت $N(V_f)$ نشان داده می‌شود. آن دسته از همسایگان یک گامی که فاصلهٔ آنها با مقصد، کوتاهتر از فاصلهٔ V_f با مقصد باشد در مجموعهٔ کاندیداهای یک گامی قرار می‌گیرند و بصورت زیر نمایش داده می‌شوند.

$$FCS_{hop1}(v_f(k)) = \{v_i \mid Dis(v_i, v_d) < Dis(v_f, v_d), v_i \in N(v_f)\} \quad (۳)$$

یک خودرو مانند v_i در مجموعهٔ کاندیداهای یک گامی $(FCS_{hop1}(v_f(k)))$ از ارسال کننده جاری v_f قرار دارد، اگر فاصله v_i تا گره مقصد v_d، کمتر از فاصله ارسال کننده جاری v_f با مقصد v_d باشد.

مجموعهٔ کاندیداهای همسایگان دو گامی از گره $v_f(k)$ به صورت $FCS_{hop2}(v_f, v_i)$ تعریف می‌شود و برابر است با:

$$FCS_{hop2}(v_f, v_i) = \left\{ \begin{array}{l} v_m \mid Dis(v_m, v_d) < Dis(v_i, v_d), \\ v_m \in N(v_i), v_i \in FCS_{hop1}(v_f(k)) \end{array} \right\} \quad (۴)$$

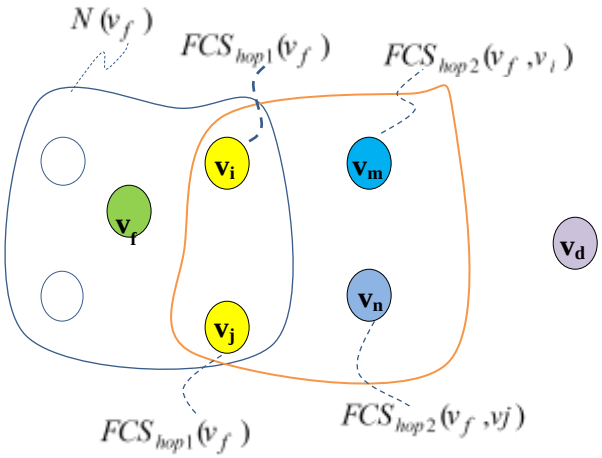
یک خودروی v_m در مجموعه کاندیداهای همسایگان دو گامی v_f قرار دارد، اگر گره v_m در مجموعهٔ کاندیداهای یک گامی از گره v_i باشد و گره v_i نیز در مجموعه کاندیدهای یک گامی v_f باشد.

شکل (۱) مجموعه همسایگان، مجموعهٔ کاندیداهای یک گامی و مجموعهٔ کاندیداهای دو گامی گره v_f را به تصویر کشیده است. بر اساس شکل، مجموعهٔ $\{v_i, v_j\}$ کاندیداهای یک گامی گره v_f هستند و کاندیداهای دو گامی گره v_f نیز به صورت زیر هستند:

$$FCS_{hop2}(v_f, v_i) = \{v_m\}$$

$$FCS_{hop2}(v_f, vj) = \{v_n\}$$

گره v_f بعد از به دست آوردن FCS_{hop1} و FCS_{hop2}، زوج‌های مربوط به گام بعدی را بصورت $\{FCS_{hop1}(v_f), FCS_{hop2}(v_f, v_i)\}$ به دست می‌آورد.



شکل (۱): کاندیداهای یک گامی و دو گامی گره v_f در الگوریتم Geo-LU

به‌عنوان مثال در مورد شکل (۱) زوج‌های کاندید برای گام بعدی عبارتند از: (v_i, v_m) و (v_j, v_n).

از بین زوج‌های کاندید برای گام بعدی، زوجی انتخاب می‌شود که طبق رابطهٔ زیر دارای کمترین هزینه باشد:

$$cost_{v_f}(v_i, v_m) = Dis(v_m, v_d) - LU(v_f, v_m) \quad (۵)$$

باتوجه‌به فرمول (۵)، هزینه‌ی زوج (v_i, v_m) باتوجه‌به فاصلهٔ بین v_m و v_d و همچنین میزان مفید بودن (Link Utility) زوج (v_i, v_m) محاسبه می‌شود. نحوه‌ی محاسبه‌ی Dis و LU در ادامه ذکر شده است. هرقدر فاصلهٔ بین v_m و v_d کمتر باشد احتمال انتخاب شدن زوج (v_i, v_m) افزایش می‌یابد. هر قدر میزان مفیدبودن (LU) زوج (v_i, v_m) بیشتر باشد هزینه‌ی آن زوج ($cost(v_i, v_m)$) کاهش می‌یابد و احتمال انتخاب شدن آن زوج به‌عنوان گام بعدی افزایش می‌یابد.

$Dis(v_m, v_d)$ فاصله بین همسایهٔ دو گامی گره ارسال‌کنندهٔ جاری (v_m) و مقصد (v_d) بصورت زیر محاسبه می‌شود[۱۲]:

$$Dis(v_m, v_d) = \frac{(x_m - x_d) + (y_m - y_d)}{R} \quad (۶)$$

$LU(v_f, v_m)$، که میزان مفید بودن زوج (v_i, v_m) را نشان می‌دهد با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$LU(v_f, v_m) = \frac{RBW_{link}}{Quality_{link}} \quad (۷)$$

منظور از RBW_{link} مقدار پهنای باند باقیمانده است و هر قدر مقدار بزرگتری باشد میزان مفید بودن زوج بیشتر خواهد بود. RBW_{link} برای زوج کاندید (v_i, v_m) با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$RBW_{link} = min\{RBW_{v_i}, RBW_{v_m}\} \quad (۸)$$

نحوهٔ محاسبهٔ RBW برای یک لینک در [۱۲] آورده شده است.

منظور از $Quality_{link}$، تعداد دفعات مورد نیاز برای انتقال یک بسته‌ی داده است تا بتواند با موفقیت از لینک عبور کند. به‌عنوان مثال اگر $Quality_{link}$ برابر با ۱ باشد به این معنی است که برای انتقال موفقیت آمیز یک بسته از یک لینک یکبار انتقال کافی است. اگر این عدد ۲ باشد باید بسته دو بار منتقل شود تا بتواند با موفقیت از لینک عبور کند. بنابراین هرقدر مقدار $Quality_{link}$، عدد کمتری باشد نشان دهنده‌ی کیفیت بهتر لینک است. کیفیت پیوند برای زوج (v_i, v_m) مطابق فرمول (۹) از مجموع کیفیت پیوند بین v_f و v_i که با $ETX\ (v_f, v_i)$ نشان داده می‌شود و کیفیت پیوند بین v_i و v_m که با $ETX\ (v_i, v_m)$ نشان داده می‌شود به دست می‌آید. نحوه‌ی محاسبه ETX برای هر پیوند در مرجع [۱۲] آورده شده است.

$$Quality_{link} = ETX\ (v_f, v_i) + ETX\ (v_i, v_m) \qquad (۹)$$

۴- روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم Geo-LU

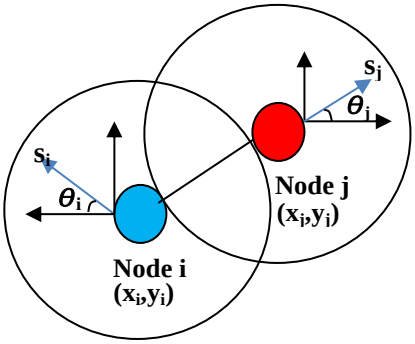
همان‌طور که شرح داده شد، الگوریتم Geo-LU در محاسبهٔ هزینه برای زوج‌ها و انتخاب بهترین زوج، میزان فاصله با مقصد، پهنای باند باقیماندهٔ لینک و کیفیت لینک را در نظر می‌گیرد و با استفاده از رابطهٔ (۵) هزینه را برای زوج‌های کاندید محاسبه کرده و زوجی با کمترین هزینه را انتخاب می‌کند.

باتوجه‌به ویژگی شبکه‌های بین خودرویی که تحرک گره‌ها است، یکی دیگر از مهم‌ترین معیارهایی که می‌تواند در انتخاب زوج بعدی موثر واقع شود تا زوج انتخاب شده زوج بهتری باشد و کارایی الگوریتم را بهبود دهد طول عمر پیوند است. طول عمر پیوند مدت زمانی است که پیوند متصل بوده و ارسال بسته از طریق آن می‌تواند صورت پذیرد. باتوجه‌به آنکه شبکه‌های بین خودرویی دارای تغییرات سریع در توپولوژی خود هستند، پیوند بین گره‌ها به‌صورت مکرر قطع می‌شوند؛ بنابراین انتخاب گره-هایی که دارای پیوندهای با طول عمر بیشتر باشند می‌تواند منجر به بهبود عملکرد الگوریتم Geo-LU شده و نرخ تحویل بسته و تأخیر انتها به انتها را کاهش دهد.

در روش پیشنهادی برای بهبود کارایی الگوریتم Geo-LU، فاکتور طول عمر پیوند نیز در تابع cost وارد می‌شود تا در انتخاب زوج بعدی، اثر سرعت تحرک گره‌ها نیز در نظر گرفته شود و الگوریتم بتواند انتخاب بهتری داشته باشد. با واردکردن طول عمر پیوندها در تابع cost، کارایی الگوریتم به‌ویژه در سناریوهایی که سرعت تحرک گره‌ها زیاد باشد بهبود می‌یابد. در شرایطی که سرعت گره‌ها زیاد باشد پیوندها به‌سرعت قطع می‌شوند و انتخاب پیوندهای با طول عمر بیشتر می‌تواند منجر به بهبود نرخ تحویل بسته و کاهش تأخیر انتها به انتها شود. در ادامه ابتدا نحوهٔ محاسبهٔ طول عمر پیوندها ارائه می‌شود و سپس تابع هزینه جهت درنظرگرفتن طول عمر پیوندها اصلاح می‌گردد.

۴-۱. محاسبه‌ی طول عمر پیوند (LET[1])

فرض کنید دو خودروی i و j با شعاع انتقالی R، با مختصات (x_i, y_i) و (x_j, y_j)، با سرعت s_i, s_j و زاویه‌های θ_i, θ_j مطابق شکل (۲) در حال حرکت هستند. در این صورت می‌توان $LET_{i,j}$ را بر اساس معادلهٔ (۱۰) محاسبه کرد[۲۲].

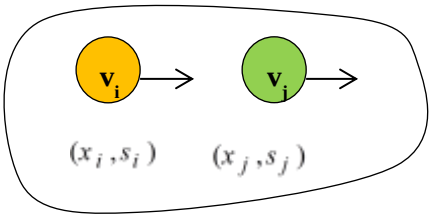


شکل (۲) : گره‌های i و j با موقعیت، سرعت و جهت حرکت

$$LET_{i,j} = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2} \qquad (۱۰)$$

$$a = s_j \cos\theta_j - s_i \cos\theta_i$$
$$b = x_j - x_i$$
$$c = s_j \sin\theta_j - s_i \sin\theta_i$$
$$d = y_j - y_i$$

حال اگر فرض کنیم که دو گره v_i و v_j، در یک جهت در طول یک خیابان یا بزرگراه در حال حرکت هستند (مطابق شکل ۳) و برای هر گره فقط موقعیت x آن را در نظر بگیریم (به دلیل کم بودن عرض خیابان ها و بزرگراه‌ها نسبت به R شعاع انتقال گره‌ها)، می‌توانیم فرمول (۱۰) را ساده سازی کرده و بصورت فرمول(۱۱) بنویسیم[۲۳].



شکل (۳): حرکت دو گره با موقعیت و سرعت مشخص

$$LET\ (v_i, v_j) = \frac{-\Delta s.\Delta x + |\Delta s|.R}{(\Delta s)^2}$$
$$\Delta s = s_j - s_i \qquad (۱۱)$$
$$\Delta x = x_j - x_i$$

[1] Link Expiration Time

به‌عنوان مثال طبق فرمول (۱۱) اگر گره v_i با مختصات $x_i = 100$ و با سرعت $10\,m/s$ و v_j با سرعت $30\,m/s$ و در مختصات $x_j = 200$ در یک جهت در حال حرکت باشند و شعاع انتقال برابر با ۲۰۰ متر باشد، در این صورت دو گره v_i و v_j به مدت ۵ ثانیه می‌توانند در شعاع انتقال هم باشند و بعد از ۵ ثانیه پیوند بین آنها قطع می‌شود.

$$\Delta s = 20$$
$$\Delta x = 100$$
$$LET(v_i, v_j) = \frac{(-20\times100)+(20\times200)}{400} = \frac{2000}{400} = 5s$$

در همین مثال اگر سرعت v_i و v_j باهم عوض شوند یعنی $s_{i=30}$ و $s_{j=10}$ شود در این حالت :

$$\Delta s = -20$$
$$\Delta x = 100$$
$$LET(v_i, v_j) = \frac{(20\times100)+(20\times200)}{400} = \frac{6000}{400} = 15s$$

۴-۲. اصلاح تابع هزینه

در روش پیشنهادی تابع هزینه $\cos t(v_i, v_m)$ بهبود داده می‌شود تا طول عمر پیوندها نیز علاوه بر فاصله، کیفیت و پهنای باند لینک‌ها، در انتخاب زوج بعدی مورد توجه قرار گیرد؛ لذا تابع هزینه به‌صورت زیر تغییر داده می‌شود.

$$cost_{v_f}(v_i, v_m) = Dis(v_m, v_d) - LU(v_f, v_m) - \alpha LET_{pair} \quad (۱۲)$$

$$\mathrm{LET}_{pair} = \min\{\mathrm{LET}(\mathrm{V}_f, \mathrm{V}_i), \mathrm{LET}(\mathrm{V}_i, \mathrm{V}_m), 2\} \quad (۱۳)$$

LET_{pair} برابر با مینیموم طول عمر پیوند بین گره‌های v_f و v_i و طول عمر پیوند بین گره‌های v_i و v_m و عدد ۲ در نظر گرفته شده است. باتوجه‌به اینکه در الگوریتم Geo-LU پیام‌های Hello با بازه‌های زمانی یک ثانیه ارسال می‌شوند و از هر یک ثانیه اطلاعات به روز از همسایگان دریافت می‌شود لذا در فرمول (۱۳) حداکثر مقدار برای LET به ۲ ثانیه محدود شده است. آلفا ضریب تأثیر LET است که برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. در صورت لزوم می‌توان مقدار آلفا را کاهش یا افزایش داد.

در روش پیشنهادی با محاسبهٔ LET برای لینک‌ها و اصلاح تابع هزینه، پیچیدگی محاسباتی الگوریتم Geo-LU افزایش پیدا نمی‌کند. همچنین اطلاعات موردنیاز جهت محاسبهٔ طول عمر پیوندها در بسته‌های Hello وجود دارند و نیازی به‌اضافه کردن فیلد جدیدی به بسته‌های Hello وجود ندارد.

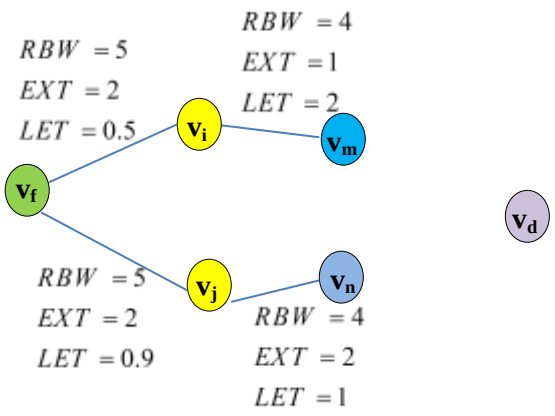
الگوریتم مربوط به انتخاب زوج بعدی در روش پیشنهادی به‌صورت زیر خواهد بود:

Algorithm: Selecting Next Forwarding Pair

۱ **for** ∀ k, that v_f needs to forward it **do**
۲ Get position of v_d using location service
۳ $Cost_{min} \leftarrow Dis(v_f, v_d(k))$
۴ NextHop $\leftarrow V_f$
۵ **for** each node v_i in $FCS_{hop1}(v_f)$ **do**
۶ **for** each v_m in $FCS_{hop2}(v_f, v_i)$ **do**
۷ $cost(v_i, v_m) = Dis(v_m, v_d) - LU(v_f, v_m) - \mathrm{LET}_{pair}$
۸ **if** $cost(v_i, v_m) \le cost_{min}$ **then**
۹ $cost_{min} \leftarrow cost(v_i, v_m)$
۱۰ NextHop $\leftarrow (v_i, v_m)$
۱۱ **end if**
۱۲ **end for**
۱۳ **end for**
۱۴ **end for**
۱۵ **end procedure**

۴-۳. مثال

در شکل (۴)، گره‌های v_f و v_d و زوج‌های کاندیدا (v_i, v_m) و (v_j, v_n) به همراه اطلاعات لازم برای محاسبه‌ی مقدار $\cos t$ برای هر یک از زوج‌های کاندید آورده شده‌اند. مقدار $\cos t$ برای هر یک از زوج‌ها محاسبه شده و زوجی با کمترین هزینه انتخاب می‌شود. مقدار $Dis(v_m, v_d) = 7$ و $Dis(v_n, v_d) = 7$ در نظر گرفته شده است.



شکل (۴): زوج‌های کاندید و مشخصات مربوط به پیوندهای آنها

$$cost(v_i, v_m) = 7 - \frac{4}{3} - 0.5 = 5.16$$

$$cost(v_j, v_n) = 7 - \frac{4}{4} - 0.9 = 5.1$$

باتوجه‌به مقادیر به‌دست‌آمده برای cost، زوج انتخابی (v_j, v_n) خواهد بود.

۵- شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش، روش پیشنهادی برای بهبود کارایی پروتکل Geo-LU را با استفاده از شبیه‌ساز NS2، شبیه‌سازی کرده و با انجام آزمایشات مختلف، نتایج آن با پروتکل‌های [Geo-LU۱۲] و [Geo-CAP۱۰] مقایسه شده است. نحوهٔ عملکرد پروتکل Geo-CAP در بخش ۲ (پژوهش‌های مرتبط) و نحوهٔ عملکرد Geo-LU در بخش ۳ توضیح داده شده است.

در این بخش بعد از توضیح مختصر الگوریتم‌های استفاده شده برای مقایسه با روش پیشنهادی، عامل‌ها و تنظیمات شبیه-سازی بیان می‌شوند، سپس معیارهای ارزیابی کارایی معرفی شده و نهایتاً" نتایج آزمایشات انجام شده ارائه می‌شوند و مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند.

۵-۱. الگوریتم های استفاده شده جهت مقایسه با روش پیشنهادی

پروتکل Geo-LU: این پروتکل در انتخاب گام بعدی به سمت مقصد، علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دو گامی را نیز گردآوری کرده و در انتخاب زوج بعدی به سمت مقصد، علاوه بر فاصله تا مقصد، سودمندی لینک‌ها را نیز در نظر می‌گیرد. سودمندی یک لینک از مقدار به‌دست‌آمده برای کیفیت لینک در انتقال بسته‌ها و میزان پهنای باند باقیماندهٔ آن لینک به دست می‌آید.

پروتکل Geo-CAP : این پروتکل در انتخاب گره بعدی به سمت مقصد، فقط همسایگان یک گامی را در نظر می‌گیرد. از بین همسایگان یک گامی، گرهی را به‌عنوان گره بعدی به سمت مقصد انتخاب می‌کند که علاوه بر فاصلهٔ کمتر با مقصد دارای کیفیت لینک بهتر، توان عملیاتی بالا و میزان تداخل کمتر باشد.

۵-۲. پارامترهای شبیه سازی

برای انجام شبیه‌سازی از شبیه‌ساز NS2 استفاده شده است[۲۴]. مدل Manhattan برای مدل‌سازی جاده‌ها استفاده شده است. مدل جاده‌ها به‌صورت یک تور ۵×۵ است و طول هر قطعه جاده ۵۰۰ متر است. در آزمایشات انجام شده از SUMO [۲۵] برای ایجاد نقشه و مختصات حرکت گره‌ها در امتداد جاده‌ها استفاده شده است. در ابتدای هر شبیه‌سازی، موقعیت خودروها به‌صورت تصادفی انتخاب شده است و با شروع شبیه‌سازی حرکت خودروها شروع می‌شود. سرعت خودروها در بازهٔ ۳۲ کیلومتر بر ساعت الی ۶۵ کیلومتر بر ساعت متغیر است. جدول (۱) مقادیر در نظر گرفته شده برای مهم‌ترین پارامترهای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در طول شبیه‌سازی هر گره مجهز به گیرنده GPS است. هر آزمایش ۱۰ بار تکرار شده است و مقادیر میانگین به همراه بازهٔ اطمینان ۹۵٪ ارائه شده‌اند.

(جدول۱): پارامترهای شبیه‌سازی

PARAMETER	Value
Vehicle's Density	60 to 300 آزمایشات گروه اول
Simulation Area	5 × 5 Manhattan Grid
Wireless Technology	IEEE 802.11p
Propagation Model	Nakagami-m
Traffic Type	CBR
Bandwidth	6 Mbps
Packet size	512 byte
Transmission range	250 Meters
Simulation Time	300 Second
Queue Model	FIFO
Caching time	10s
Maximum vehicle speed	20 to 100 km/h آزمایشات گروه دوم
Number of Runs	10
Hello Interval	1 s

۵-۳. معیارهای ارزیابی کارایی

به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسهٔ آن با الگوریتم‌های Geo-LU و Geo-CAP، از معیارهای نرخ تحویل بسته و متوسط تأخیر انتها به انتها استفاده شده است. در ادامه تعریف و نحوهٔ محاسبهٔ این دو معیار ذکر شده است.

نرخ تحویل بسته (PDR): نسبت تعداد بسته‌هایی که به طور صحیح توسط گره مقصد دریافت شده‌اند به بسته‌هایی که توسط گره مبدأ ارسال شده‌اند.

$$Packet\ Deivery\ Ratio = \frac{No.of\ \ Data\ Pkts\ Received}{No.of\ \ Data\ Pkts\ Sent} \times 100 \qquad (۱۴)$$

متوسط تأخیر انتها به انتها: به‌صورت متوسط فاصلهٔ زمانی بین ارسال و دریافت موفقیت‌آمیز بسته‌های داده از مبدأ به مقصد تعریف می‌شود. این تأخیر شامل همهٔ تأخیرها در لایه‌های مختلف شبکه می‌باشد و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Average\ End\ to\ End\ Delay = \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_i - S_i)}{n} \qquad (۱۵)$$

R_i زمان دریافت بستهٔ i و S_i زمان ارسال بستهٔ i است.

۵-۴. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده ارائه می‌شوند و باتوجه‌به معیارهای ارزیابی که معرفی گردید مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرند. آزمایشات انجام شده به دو گروه تقسیم شده‌اند. در گروه اول هدف بررسی اثر افزایش تعداد خودروها بر روی عملکرد روش پیشنهادی است. در این گروه از آزمایشات، تعداد خودروها از ۶۰ تا ۳۰۰ افزایش داده می‌شوند و سرعت خودروها بین ۳۲ تا ۶۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده‌اند.

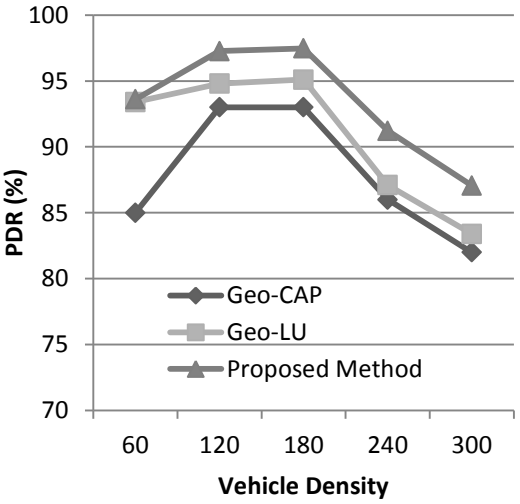
در آزمایشات گروه دوم هدف بررسی اثر افزایش سرعت گره‌ها بر عملکرد روش پیشنهادی است. با افزایش سرعت گره‌ها طول عمر پیوندها کاهش پیدا می‌کند و انتظار می‌رود روش پیشنهادی بتواند با انتخاب لینک‌های با طول عمر بیشتر نرخ تحویل و تأخیر انتها به انتها را بهبود دهد. در این آزمایشات تعداد خودروها ۲۰۰ عدد در نظر گرفته شده است و سرعت خودروها از 20 km/h تا 100 km/h افزایش داده می‌شود.

۵-۴-۱. نتایج آزمایشات گروه اول (بررسی اثر افزایش تعداد خودروها)

در آزمایشات گروه اول، اثر افزایش تعداد خودروها بر روی عملکرد الگوریتم‌های Geo-LU، Geo-CAP و روش پیشنهادی بررسی می‌شود. تعداد خودروها از ۶۰ تا ۳۰۰ افزایش داده می‌شود و سرعت خودروها بین ۳۲ تا ۶۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۵) و (۶) نرخ تحویل بسته و متوسط تأخیر انتها به انتها را با افزایش تعداد خودروها در الگوریتم‌های Geo-LU، Geo-CAP و روش پیشنهادی نشان می‌دهند.

همان‌طور که در شکل (۵) قابل‌مشاهده است، با افزایش تعداد خودروها ابتدا نرخ تحویل بسته در هر سه روش بیشتر شده است. زیرا تعداد اتصالات شبکه زیادتر شده و شبکه از حالت خلوت بودن خارج شده است. ولی با افزایش بیشتر تعداد خودروها و رسیدن آنها به ۲۴۰ عدد، نرخ تحویل در هر سه روش کاهش‌یافته است. زیرا با افزایش تعداد خودروها پیام‌های Hello و اندازه پیام‌های Hello به دلیل زیادشدن تعداد همسایگان افزایش می‌یابند و به دلیل محدود بودن پهنای باند و همچنین برخورد و تصادم بسته‌ها نرخ تحویل در هر سه روش کاهش می‌یابد. میزان کاهش (شیب نمودار) در Geo-CAP اندکی کمتر از Geo-LU است، زیرا در این الگوریتم اطلاعات همسایگان دو گامی ردوبدل نمی‌شود و اندازهٔ بسته‌های Hello کوچک‌تر و میزان تداخل و برخورد کمتر است.

روش پیشنهادی در اغلب حالت‌ها دارای نرخ تحویل بهتری نسبت به الگوریتم Geo-LU است. زیرا روش پیشنهادی لینک‌های با طول عمر بیشتر را نسبت به روش Geo-LU انتخاب می‌کند و از انتخاب زوج‌هایی که در زمان کوتاه‌تری دچار شکست پیوند می‌شوند، اجتناب می‌کند. در حالتی که شبکه خلوت‌تر است تعداد زوج‌های کاندید کمتر بوده و هر دو الگوریتم Geo-LU و روش پیشنهادی انتخاب یکسان و عملکرد یکسانی دارند. ولی با افزایش تراکم شبکه، تعداد زوج‌های کاندید افزایش می‌یابد و روش پیشنهادی زوج‌هایی را که دارای پیوندهای با طول عمر بیشتر هستند انتخاب می‌کند. با استفاده از روش پیشنهادی نرخ تحویل به طور میانگین ۳ درصد نسبت به روش Geo-LU بهبود پیدا کرده است. در جدول (۲) بازه‌های اطمینان ۹۵٪ برای نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی گزارش شده است.



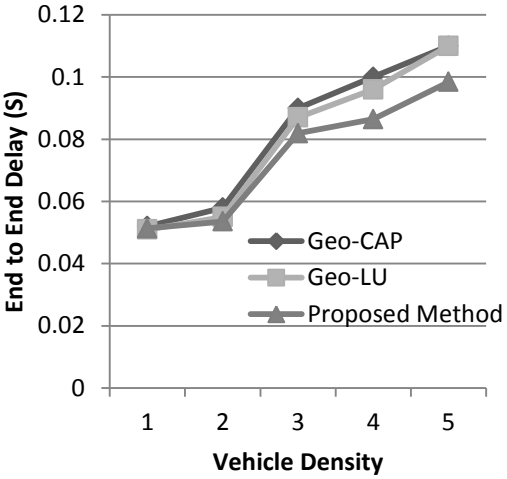
شکل(۵): نرخ تحویل بسته در Geo-LU، Geo-CAP و روش پیشنهادی با افزایش تعداد خودروها

جدول(۲): بازهٔ اطمینان ۹۵٪ برای PDR در روش پیشنهادی

Vehicle Density	PDR (میانگین)	بازهٔ اطمینان ۹۵٪
۶۰	۹۳.۶۰۸	[۹۳.۲۵۸-۹۳.۹۵۷]
۱۲۰	۹۷.۲۶۵	[۹۶.۸۳۹-۹۷.۶۹۰]
۱۸۰	۹۷.۴۷۱	[۹۷.۱۵۱-۹۷.۷۹۰]
۲۴۰	۹۱.۲۲	[۹۰.۸۴۸-۹۱.۵۹۱]
۳۰۰	۸۷.۰۶	[۸۶.۶۱۷-۸۷.۵۰۲]

شکل(۶) متوسط تأخیر انتها به انتها را به‌عنوان تابعی از تعداد خودروها نشان می‌دهد. با افزایش تعداد خودروها در همهٔ روش‌ها تأخیر انتها به انتها افزایش می‌یابد. زیرا ازدحام ایجاد شده در شبکه به دلیل افزایش تعداد و اندازهٔ پیام‌های Hello و همچنین ترافیک شبکه باعث افزایش تأخیر در رسیدن بسته‌ها به مقصد می‌شود. در شرایطی که تعداد خودروها در شبکه کم است هر سه روش تأخیر انتهای به انتهای یکسانی دارند. با افزایش تعداد خودروها، روش پیشنهادی به دلیل انتخاب پیوندهای پایدارتر و با طول عمر بیشتر (مخصوصاً در شرایطی که تراکم گره‌ها بیشتر است و الگوریتم گزینه‌های بیشتری برای انتخاب

دارد)، تأخیر انتها به انتهای کمتری نسبت به Geo-LU نشان می‌دهد. همچنین روش پیشنهادی نسبت به Geo-CAP دارای تأخیر انتها به انتهای کمتری است؛ زیرا علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی از اطلاعات همسایگان دو گامی نیز استفاده می‌کند و مسلماً انتخاب‌های بهتری نسبت به Geo-CAP دارد. با به‌کاربردن روش پیشنهادی تأخیر انتها به انتها ۶ درصد نسبت به Geo-LU کاهش‌یافته است. جدول (۳) بازهٔ اطمینان ۹۵٪ را برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی نشان می‌دهد.



شکل(۶): تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی، Geo-LU و Geo-CAP با افزایش تعداد خودروها

جدول(۳): بازهٔ اطمینان ۹۵٪ برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی

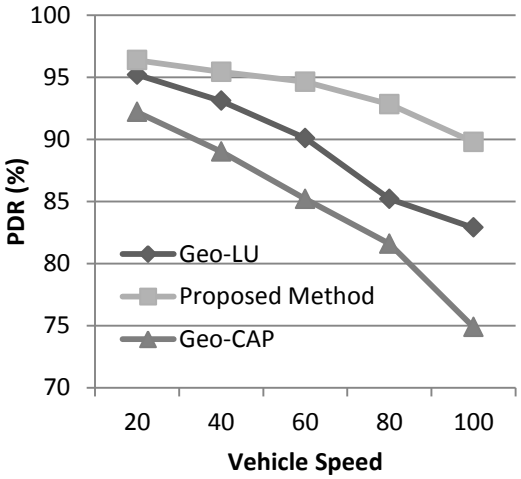
Vehicle Density	تأخیر انتها به انتها	بازهٔ اطمینان ۹۵٪
۶۰	۰.۰۵۱	[۰.۰۴۸-۰.۰۵۴]
۱۲۰	۰.۰۵۳	[۰.۰۵۰-۰.۰۵۶]
۱۸۰	۰.۰۸۱	[۰.۰۷۸-۰.۰۸۵]
۲۴۰	۰.۰۸۶	[۰.۰۸۱-۰.۰۹۱]
۳۰۰	۰.۰۹۸	[۰.۰۹۶-۰.۱۰۰]

۵-۴-۲. نتایج آزمایشات گروه دوم (بررسی اثر افزایش سرعت خودروها)

در آزمایشات گروه دوم، اثر افزایش سرعت خودروها بر روی عملکرد الگوریتم Geo-LU ، Geo-CAP و روش پیشنهادی بررسی می‌شود. سرعت خودروها از ۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت افزایش داده می‌شود و تعداد خودروها ۲۰۰ عدد در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۷) و (۸) نرخ تحویل بسته و تأخیر انتها به انتها را با افزایش سرعت خودروها در الگوریتم‌های Geo-LU، Geo-CAP و روش پیشنهادی نشان می‌دهند.

همان‌طور که در شکل (۷) قابل‌مشاهده است در شرایطی که سرعت گره‌ها پایین است، روش پیشنهادی و الگوریتم Geo-LU دارای نرخ تحویل نسبتا یکسانی هستند زیرا شکستگی لینک‌ها کمتر اتفاق می‌افتد و لینک‌ها دارای طول عمر بالاتری هستند. الگوریتم Geo-CAP دارای نرخ تحویل پایین تری است زیرا فقط از اطلاعات همسایگان یک گامی در انتخاب گام بعدی استفاده می‌کند.

با افزایش سرعت گره‌ها طول عمر لینک‌ها کاهش پیدا می‌کند و شکستگی لینک‌ها سریع‌تر اتفاق می‌افتد؛ بنابراین در این شرایط انتخاب زوج‌هایی که دارای پیوندهایی با طول عمر بیشتر باشند می‌تواند منجر به بهبود نرخ تحویل شود که این موضوع در شکل (۷) قابل‌مشاهده است. الگوریتم پیشنهادی نسبت به هر دو الگوریتم Geo-LU و Geo-CAP دارای نرخ تحویل بهتری است. میزان بهبود نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی نسبت به Geo-LU، ۵ درصد است. بازهٔ اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر ارائه شده برای نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی در جدول (۴) ارائه شده است.



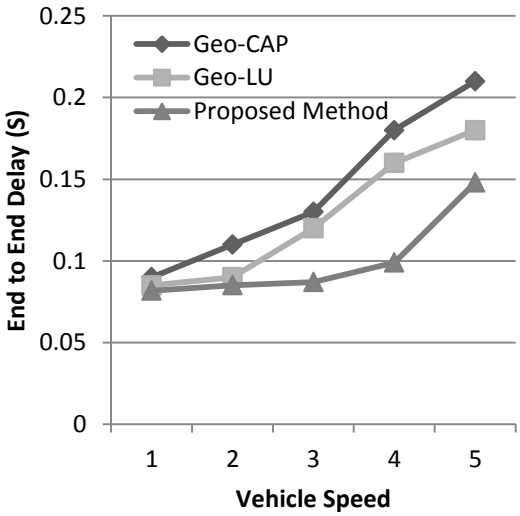
شکل (۷): نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی و الگوریتم‌های Geo-LU و Geo-CAP با افزایش سرعت گره‌ها

جدول (۴): بازه‌ی اطمینان ۹۵٪ برای PDR در روش پیشنهادی

Vehicle Speed	PDR (میانگین)	بازهٔ اطمینان ۹۵٪
۲۰	۹۶.۳۷	[۹۵.۹۵-۹۶.۷۸]
۴۰	۹۵.۴۳	[۹۴.۷۵-۹۶.۱۰]
۶۰	۹۴.۶۳	[۹۳.۸۵-۹۵.۴۰]
۸۰	۹۲.۸۳	[۹۱.۹۶-۹۳.۶۹]
۱۰۰	۸۹.۷۹	[۸۸.۷۸-۹۰.۷۹]

در شکل (۸) تأخیر انتها به انتها با افزایش سرعت حرکت گره‌ها در الگوریتم‌های Geo-CAP، Geo-LU و روش پیشنهادی نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۸) قابل‌مشاهده است، با افزایش سرعت حرکت گره‌ها تأخیر انتها به انتها در هر سه روش به دلیل شکست پیوندها افزایش می‌یابد. روش پیشنهادی و الگوریتمهای Geo-CAP و Geo-LU در سرعت‌های

پایین‌تر دارای تأخیر انتها به انتهای تقریبا یکسانی هستند. ولی با افزایش سرعت گره‌ها عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتمهای Geo-LU و Geo-CAP بهبود بیشتری نشان می‌دهد، زیرا به دلیل تحرک گره‌ها شکستگی پیوندها بیشتر اتفاق می‌افتد و انتخاب زوج‌هایی که دارای لینک‌های با طول عمر بیشتری هستند منجر به بهبود عملکرد روش پیشنهادی می‌شود. با اعمال روش پیشنهادی بر روی Geo-LU، تأخیر انتها به انتها ۲۰ درصد کاهش یافته است. جدول (۵) مقادیر مربوط به بازه‌ی اطمینان ۹۵٪ را در روش پیشنهادی برای تأخیر انتها به انتها نشان می‌دهد.



شکل (۸): تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی و الگوریتم‌های Geo-LU و Geo-CAP با افزایش سرعت گره‌ها

جدول (۵): بازه‌ی اطمینان ۹۵٪ برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی

Vehicle Speed	تأخیر انتها به انتها	بازهٔ اطمینان ۹۵٪
۲۰	۰.۰۸۱	[۰.۰۷۹-۰.۰۸۳]
۴۰	۰.۰۸۵	[۰.۰۸۲-۰.۰۸۷]
۶۰	۰.۰۸۷	[۰.۰۸۴-۰.۰۸۹]
۸۰	۰.۰۹۹	[۰.۰۹۵-۰.۱۰۲]
۱۰۰	۰.۱۴۸	[۰.۱۳۸-۰.۱۵۷]

همان‌طور که مشاهده گردید، کارایی الگوریتم پیشنهادی در شرایطی که سرعت تحرک گره‌ها زیاد نباشد؛ مانند الگوریتم Geo-LU است، ولی در شرایطی که سرعت تحرک گره‌ها زیاد باشد عملکرد بهتری نسبت به Geo-LU و Geo-CAP دارد. دلیل عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های Geo-LU و Geo-CAP به ترتیب درنظرگرفتن طول عمر پیوندها و استفاده از اطلاعات همسایگان دو گامی در تشکیل مسیر به سمت مقصد است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی در شبکه‌های بین خودرویی مرور شدند و یکی از الگوریتم‌های مسیریابی اخیر در این حوزه به نام Geo-LU که در انتخاب گام بعدی به‌جای انتخاب یک گره، زوجی از گره‌های همسایه را به‌عنوان گام بعدی انتخاب می‌کند مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم Geo-LU در انتخاب زوج مناسب از بین زوج‌های کاندیدا، زوجی را که دارای فاصله کمتر با مقصد، پیوندهای با پهنای باند بیشتر و کیفیت بالاتر باشد انتخاب می‌کند. در الگوریتم Geo-LU یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی که طول عمر پیوندها و قطع‌شدن آنها در اثر تحرک گره‌ها است در انتخاب زوج بعدی مورد توجه قرار نگرفته است؛ لذا الگوریتم Geo-LU با درنظرگرفتن طول عمر پیوندها در انتخاب زوج بعدی بهبود داده شد. برای این منظور طول عمر پیوند برای هر زوج کاندید محاسبه شده و در تابع هزینه در انتخاب زوج بعدی برای هدایت بسته به سمت مقصد منظور گردید.

روش پیشنهادی با انجام آزمایشات متعدد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن با نتایج الگوریتم‌های Geo-LU و Geo-CAP مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج آزمایشات نشان دادند که روش پیشنهادی، عملکرد الگوریتم Geo-LU را با افزایش نرخ تحویل بسته و کاهش تأخیر انتها به انتها بهبود می‌دهد. این بهبود به‌ویژه در سناریوهایی که گره‌ها دارای سرعت بالاتری هستند چشمگیرتر است. روش پیشنهادی جهت بهبود الگوریتم Geo-LU، پیچیدگی محاسباتی الگوریتم Geo-LU را افزایش نداده و همچنین فیلد جدیدی را هم به بسته‌های Hello اضافه نمی‌کند.

الگوریتم‌های Geo-LU، Geo-CAP و روش پیشنهادی، همگی دارای بازهٔ زمانی ثابت یک‌ثانیه‌ای برای پخش بسته‌های Hello هستند. به‌عنوان کار آتی می‌توان بازهٔ زمانی پخش بسته‌های Hello را از حالت ثابت خارج کرد و باتوجه‌به سرعت تحرک گره‌ها و یا معیارهای دیگر حالت تطبیقی به آن داد.

۶. مراجع

[1] M. Sohail, Z. Latif, S. Javed, S. Biswas, S. Ajma, U. Iqbal and M. Raza, "Routing protocols in Vehicular Adhoc Networks (VANETs): A comprehensive survey," *Internet of Things*, vol. 23, 2023. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100837

[2] A. Kumar Goyal, G. Agarwal, A. K. Tripathi and S. Girish, "Systematic Study of VANET Applications, Challenges, Threats, Attacks, Schemes and Issues in Research," in *Green Computing in Network Security*, Taylor & Francis, 2022, p. 20.

[3] A. Srivastava, A. Prakash and R. Tripathi, "Location based routing protocols in VANET: Issues and existing solutions," *Vehicular Communications*, no. 23, 2020.

hoc networks," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 83, 2020. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106599

[16] N. Dharani Kumari and B. Shylaja, "AMGRP: AHP-based Multimetric Geographical Routing Protocol for Urban environment of VANETs," *Journal of* King *Saud University* – Computer *and Information Sciences*, vol. 31, no. 1, pp. 72-81, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.01.001

[17] R. Karimi and S. Shokrollahi, "Predictive geographic routing protocol for VANETs," Computer Networks, vol. 141, pp. 67-81, 2018. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.05.017

[18] G. Abbas, S. Ullah, M. Waqas, Z. H. Abbas and M. l. Bila, "A position-based reliable emergency message routing scheme for road safety in VANETs," Computer Networks, vol. 213, 2022. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109097

[19] S.Shokrollahi, M.Dehghan,"TGRV: A trust- based geographic routing protocol for VANETs," Ad Hoc Networks, vol. 140, 2023.

https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.103062

[20] B. Kim, S. Ullah, K. Hoon Kim, B. Roh, "An enhanced geographical routing protocol based on multi-criteria decision making method in mobile ad-hoc networks," Ad Hoc Networks, vol. 103, 2020, https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102157.

[21] S. Shahabi Rabori, M. Ghazvini, " Presenting a New Algorithm with Aiming to Improve Security and Performance of AODV Protocol in Ad Hoc Network," Journal of Electronical & Cyber Defence, vol. 5, No. 4,2017(InPersian) https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1396.5.4.6.1

[22] W. Su, S.-J. Lee and M. Gerla, "Mobility Prediction and RoutinginAdHocWireless Networks,"International Journal of Network Management," vol. 11, no. 1, pp. 3-30, 2002. doi: 10.1109/MILCOM.2000.905001

[23] S.-S. Wang and Y.-S. Lin, "PassCAR: A passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks," *Computer Communications*, vol. 36, no. 2, pp. 170-180, 2013. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.08.013

[24] T. Issariyakul, E. Hossain, "Introduction to Network Simulator NS2," Springer, 2009, https://doi.org/10.1007/978-0-387-71760-9

[25] D.Krajzewicz, G. Hertkorn, C. Feld and P. Wagner, "SUMO (Simulation of Urban MObility); An open-source traffic simulation," in *4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling*, 2002.

https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2020.100231

[4] B.-L. Souaad, F. Semchedine and L. Bouallouche-Medjkoune, "Geographic routing protocols for vehicular ad hoc NETworks (VANETs): A survey," *Vehicular Communications*, vol. 11, pp. 20-31, 2018. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.006

[5] A. Ullah, X. Yao, S. Shaheen and H. Ning, "Advances in position based routing towards ITS enabled fog-oriented VANET-a survey," *IEEE Trans.* Intell. *Transp. Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 828-840, 2020. doi: 10.1109/TITS.2019.2893067

[6] A. Khan, A. A. Siddiqui and F. Ullah, "VP-CAST : Velocity and Position-Based Broadcast Suppression for VANETs," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.*, vol. 23, no. 10, pp. 18512-18525, 2022. doi: 10.1109/TITS.2022.3153122

[7] A. T. Amaya, A. A. P. Pohl, M. S. Fonseca and R. Lüders, "Traffic-Aware Beacon Interval for Position-Based Protocols in VANETs," in *2022 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 2022. doi: 10.1109/LATINCOM56090.2022.10000575

[8] J. Aznar-Poveda, A. García-Sánchez and E. Egea-López, "Approximate reinforcement learning to control beaconing congestion in distributed networks," *Scientific Reports*, vol. 142, 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-021-04123-9

[9] A. Hassan, A. Abdullah and O. Kaiwartya, "Multi-metric geographic routing for vehicular ad hoc networks," vol. 24, p. 2763–2779. https://doi.org/10.1007/s11276-017-1502-5

[10] O. Alzamzam and I. Mahgoub, "Geographic routing enhancement for urban VANETs using link dynamic behavior: A cross layer approach," *Vehicular Communications*, vol. 31, 2021. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2021.100354

[11] S. Haider, G. Abbas, Z. H. Abbas and T. Baker, "DABFS: A robust routing protocol for warning messages dissemination in VANETs," *Computer* Communications, vol. 147, pp. 21-34, 2019. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.08.011

[12] O. Alzamzam and I. Mahgoub, "Link utility aware geographic routing for urban VANETs using two-hop neighbor information," *Ad Hoc Networks*, vol. 106, 2020. https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102213

[13] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2000.

[14] Z. Squalli Houssaini, I. Zaimi, M. Drissi and M. Oumsis, "Trade-off between accuracy, cost, and QoS using a beacon-on-demand strategy and Kalman filtering over a VANET," *Digital Communications and Networks*, vol. 4, no. 1, pp. 13-26, 2018. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.09.001

[15] R. K. Jaiswal, "Position-based routing protocol using Kalman filter as a Prediction module for vehicular ad