سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Winter, 4 (4), 25-36
DOI: 10.71856/impcs.2024.903096

Received: 12 Oct 2023
Accepted: 21 Nov 2023

مقاله پژوهشی

Adaptive-PGRP: Routing Algorithm Based on PGRP Algorithm with Adaptive Hello Messages in VANET

Robabeh Ghafouri Vayghan[1*], Reza Akbari Sefideh[2]

1. Assistant Professor, Department of Computer, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. * *Corresponding Author*, autcomp@yahoo.com
2. Department of Computer, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Introduction: In the vehicular ad hoc networks (VANETs), routing is a challenging issue due to the nodes mobility speed and frequent changes in the network topology. In these networks, geographic routing algorithms are more popular and have attracted more attention. The efficiency of geographic routing algorithms depends on the two factors: strategy of choosing the best neighbor and how to manage the mobility of neighbor nodes by the procedure of broadcasting Hello messages. Broadcasting Hello messages leads to the exchange of many control packets and causes the channel saturation and increases the probability of congestion and collision.

Method: In this work, with the aim of reducing the control overhead messages, the broadcast rate of Hello messages is adjusted adaptively based on the congestion and link expiration time. By applying the proposed method on the PGRP (Predictive Geographic Routing Protocol) algorithm, the broadcast rate of Hello packets is adjusted according to the network conditions. As a result, routing overhead packets are reduced and service quality in the network is improved.

Results: Two groups of experiments have been conducted. In the first group, the aim is to investigate the effect of increasing the number of vehicles. In the second group experiments, the goal is to investigate the nodes speed increasing. The simulation results show that the proposed method improves the performance of the PGRP protocol in different scenarios. It has been shown the proposed method for a different number of vehicles increases the packet delivery ratio on average by 16%; decrease end to end delay on average by 7%; decreases normalized routing overhead by 18% compared to PGRP. Also, it has been shown the proposed method for a varying speed of vehicles increases the packet delivery ratio by 18%; decreases average end to end delay by 5% and decreases the normalized routing overhead by 22% compared to PGRP.

Discussion: When the number of vehicles increases, the sources of broadcasting Hello messages increase, and the probability of collision increases. In the proposed method this situation is detected and the broadcast rate of Hello messages reduces. As the same way, when the speed of the nodes is low, the expiration time of links increases, and the proposed method reduces the broadcast of Hello messages to avoid wasting the network resources.

Keywords: VANET, Routing, Hello message, PGRP Algorithm.

سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)
انجمن علمی تجارت الکترونیکی ایران
واحد نجف‌آباد

Adaptive-PGRP: الگوریتم مسیریابی در شبکه‌های VANET بر اساس الگوریتم PGRP با ارسال تطبیقی پیام‌های Hello

تاریخ دریافت: ۲۰/ ۰۷/ ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش:۳۰/ ۰۸/ ۱۴۰۲

دورهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۲
شمارهٔ چهارم، صص: ۲۵-۳۶

ربابه غفوری وایقان [۱*]، رضا اکبری سفیده [۲]

۱. استادیار، گروه کامپیوتر، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) autcomp@yahoo.com
۲. گروه کامپیوتر، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده: مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی به‌دلیل سرعت خودروها و تغییرات سریع شبکه، یک مسأله چالش‌برانگیز است. در این شبکه‌ها الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی دارای محبوبیت بیشتری بوده و توجه بیشتری را به خود جلب‌کرده‌اند. کارآیی الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی به دو عامل استراتژی انتخاب بهترین همسایه و چگونگی مدیریت‌کردن تحرک گره‌های همسایه از طریق روال ارسال پیام‌های Hello بستگی دارد. انتشار پیام‌های Hello، منجر به مبادله بسته‌های بسیار و افزایش سربار شبکه و حتی باعث اشباع کانال و افزایش احتمال تصادم بسته‌های داده می‌شود. در این مقاله با هدف کاهش نرخ ارسال پیام‌های Hello، نرخ ارسال این پیام‌ها براساس عوامل سازگار با مشخصه‌های شبکه‌های بین خودرویی مانند ازدحام و طول عمر پیوندها به‌صورت تطبیقی تنظیم‌می‌شود. با به‌کاربردن روش پیشنهادی بر روی الگوریتم PGRP(Predictive Geographic Routing Protocol)، نرخ ارسال بسته‌های Hello در این الگوریتم با توجه به شرایط شبکه تنظیم‌می‌شود. درنتیجه پیام‌های سربار کنترلی کاهش‌می‌یابد و کیفیت خدمات در شبکه بهبود می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌می‌دهد که روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف باعث بهبود عملکرد پروتکل PGRP شده و ضمن افزایش نرخ تحویل بسته، تأخیر انتها به انتها و سربار کنترلی را کاهش‌می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: VANET، مسیربابی، بسته Hello، الگوریتم PGRP.

۱. مقدمه

شبکه‌های بین خودرویی کاربردهای بسیاری از جمله اطلاعات جاده‌ای، خدمات ایمنی، تبلیغاتی و سرگرم‌کننده را برای رانندگان و مسافران فراهم‌می‌کنند. این شبکه‌ها ارتباط خودروها با یکدیگر (V2V) و یا خودروها با زیر ساخت V2I را فراهم‌می‌کنند که نیاز به هیچ‌گونه زیرساخت ثابتی ندارد و خودسازماندهی از ویژگی های مهم آن‌هاست[۱].

مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی یک عملیات پایه‌ای است که امکان برقراری ارتباط بین خودروها را فراهم می‌کند. باتوجه به ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی از جمله تحرک سریع خودروها و تغییر مداوم توپولوژی و قطعی مداوم اتصالات بین گره‌ها، نیاز به طراحی پروتکل‌های مسیریابی کارآمد دراین شبکه ها وجوددارد.

پروتکل‌های مسیریابی متفاوتی برای شبکه‌های بین خودرویی ارائه‌شده‌اند که به دو دسته عمده پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی [۲] و پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت (پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی)[۳] دسته‌بندی‌می‌شوند. الگوریتم‌های مبتنی بر توپولوژی، از اطلاعات پیوند بین گره‌ها که از قبل در جداول مسیریابی ذخیره شده‌است، برای ارسال بسته‌ها استفاده می‌کنند. پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت، از موقعیت جغرافیایی گره‌ها برای تعیین مسیر برای ارسال بسته استفاده‌می‌کنند.

الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت محبوبیت بیشتری در محیط شبکه‌های بین خودرویی دارند و توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. دلیل این امر پیشرفت‌های حاصل در سیستم‌های موقعیت‌یاب و نقشه‌های دیجیتالی است. با این حال، کارآیی الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت به دو عامل مهم بستگی دارد که عبارتند از:

استراتژی و قوانین تعریف‌شده برای انتخاب بهترین همسایه به منظور ارسال داده به سمت مقصد.

چگونگی مدیریت‌کردن تحرک گره‌های همسایه که از طریق روال ارسال پیام‌های Hello (بیکن) صورت‌می‌گیرد.

در پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت، گره‌ها با استفاده از پیام‌های Hello، موقعیت خود را با گره‌های همسایه به اشتراک می‌گذارند. به‌منظور حل مشکل مدیریت تحرک گره‌ها (خودروها) و در اختیار داشتن اطلاعات به‌روز از خودورهای محیط اطراف، کاهش بازه زمانی ارسال پیام‌های Hello یکی از راهکارهایی است که می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد.

از سوی دیگر یکی از نکات مهمی که در پخش پیام‌های Hello باید لحاظ شود، پهنای باند محدود رسانه اشتراکی می‌باشد. با توجه به آنکه استاندارد DSRC پهنای باند ۷۵ مگاهرتزی را به کاربردهای شبکه‌های بین خودرویی تخصیص داده‌است[۴]، استفاده ناکارآمد از منابع شبکه، موجب کاهش عملکرد کاربردها در شبکه‌های بین خودرویی می‌شود. لذا پخش بیش از اندازه بسته‌های Hello منجر به مبادله‌ی بسته‌های بسیار و افزایش سربار شبکه و هزینه مسیریابی خواهد شد و حتی باعث ایجاد موارد بدتر مانند اشباع کانال و افزایش احتمال تصادم بسته‌های داده می‌شود.

با توجه به چالش ذکرشده، هدف اصلی در این مقاله کنترل و مدیریت پخش بیش از اندازه پیام‌های Hello و کاهش پیام‌های کنترلی و سربار مسیریابی در الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی است. لذا یک روش تطبیقی [۵] برای تنظیم بازه زمانی پخش پیام‌های Hello پیشنهاد شده‌است. در روش پیشنهادی به‌جای اینکه پخش پیام‌های Hello با بازه زمانی ثابت انجام‌گیرد، بازه‌ی ارسال به‌صورت تطبیقی با توجه به شرایط شبکه و گره‌ها تنظیم می‌شود. دو معیار اصلی برای تنظیم بازه‌ی زمانی پخش بسته Hello پیشنهاد شده‌است که عبارتند از: میزان ازدحام موجود در گره ها و میزان پایداری پیوند ها. در صورتی که ازدحام در گرهی زیاد باشد یا پیوند ها پایدار تشخیص‌داده‌شوند، پیام‌های Hello در بازه‌های زمانی طولانی‌تری ارسال‌خواهندشد.

در روش پیشنهادی زمان اعتبار لینک‌ها و میزان ازدحام گره‌ها به‌صورت ساده محاسبه‌می شود و با برقراری مصالحه بین آن‌ها، بازه‌ی زمانی برای انتشار پیام Hello توسط هر گره مشخص‌می‌شود. روش پیشنهادی بر روی پروتکل [۶] PGRP پیاده‌شده‌است. به این ترتیب ضمن حفظ سادگی پروتکل PGRP، امکان تنظیم تطبیقی نرخ ارسال پیام های Hello برای این الگوریتم فراهم‌شده‌است. با استفاده از شبیه‌سازی، آزمایش‌های گوناگونی برای بررسی و ارزیابی تأثیر روش پیشنهادی برای بهبود پروتکل PGRP انجام‌شده‌است.

در ادامه، ابتدا بخشی از کارهای ارائه‌شده توسط محققان قبلی بررسی‌می شوند. در بخش ۳ روش پیشنهادی شرح داده‌می شود. نهایتاً در بخش ۴، روش پیشنهادی بر روی الگوریتم PGRP پیاده‌شده و شبیه سازی انجام‌می‌گیرد و نتایج آزمایش ها مورد ارزیابی و تحلیل قرارمی‌گیرند.

۲. کارهای مرتبط پیشین

در این بخش برخی از الگوریتم های مسیریابی در شبکه های بین خودرویی معرفی‌می‌شوند. در برخی از الگوریتم های معرفی‌شده، پیام‌های Hello به‌صورت دوره‌ای با بازه‌های زمانی ثابت منتشر می‌شوند و در برخی دیگر انتشار پیام‌های Hello کنترل و مدیریت‌شده است. در ادامه خلاصه‌ای از کارهای انجام‌شده ارائه‌شده‌است.

در پژوهش [۷] یک روش تطبیقی برای پخش پیام های Hello ارائه‌شده‌است که بر سه عامل تراکم وسایل نقلیه، میانگین اختلاف سرعت بین همسایگان و توزیع فضایی همسایگان تکیه‌دارد. بر اساس این سه عامل انتخاب گره بعدی انجام‌گرفته و بازه پخش پیام‌های Hello تنظیم‌می‌شوند.

در الگوریتم VP-CAST اطلاعات سرعت و موقعیت خودرو برای کاهش پخش پیام‌های Hello استفاده شده است[۸]. محدوده انتقال وسایل نقلیه بر اساس اطلاعات سرعت و موقعیت به شکاف‌های زمانی

پویا تقسیم‌می شود. این الگوریتم بازه‌ی کوتاه‌تر و پویا را به خودروهایی که با سرعت‌های بالا حرکت‌می‌کنند، اختصاص‌می‌دهد.

در پروتکل ABNT، یک روش تطبیقی برای تنظیم بازه زمانی پخش پیام‌های Hello در شبکه‌های پهپادی ارائه شده است[۹]. در این پژوهش از سیستم منطق فازی استفاده‌شده‌است که پارامترهای مربوط به تحرک گره و انرژی باقیمانده گره را برای محاسبه نرخ ارسال پیام‌های Hello ترکیب‌می‌کند.

در پروتکل Geo-LU، هر گره علاوه بر اطلاعات همسایگان یک گامی، اطلاعات همسایگان دوگامی خود را نیز با استفاده از پیام‌های Hello به‌دست‌می‌آورد[۱۰]. پروتکلGeo-LU می‌تواند در برابر تغییرات مداوم توپولوژی و قطعی اتصالات در شبکه های بین خودرویی عکس‌العمل مناسبی نشان‌دهد.

در پروتکل تخمین کالمن[۱۱]، در مورد GPS در شبکه‌های بین خودرویی که از عوامل محیطی و اثرپذیر است و ممکن است دچار خطا شود، بحث شده است. در این پروتکل برای کاهش اثر خطای موقعیتی برروی مسیریابی، از فیلتر کالمن و توسعه‌یافته آن با هدف بهبود پارامترهای شبکه از جمله نرخ تحویل، تأخیر متوسط انتها به انتها و توان مسیریابی با حداقل خطای مکان‌یابی استفاده‌شده‌است. فیلتر کالمن یک الگوریتم تخمین می‌باشد که به‌طور گسترده در انواع زمینه‌های متفاوت پردازش سیگنال تصویر استفاده‌می‌شود.

در پروتکل BOD-KF-GPSR به تخمین و پیش بینی موقعیت گره‌ها در شبکه‌های بین خودرویی پرداخته‌شده‌است و یک بهبود از الگوریتم GPSR را ارائه‌داده‌است[۱۲]. درواقع با به‌کارگیری تکنیک تخمین کالمن، امکان کاهش فرکانس مبادله پیام های Hello را فراهم‌کرده‌است. در این الگوریتم هر زمان که خودرو نیاز به اطلاعات موقعیتی همسایگان خود داشته‌باشد از مقادیر تخمین زده به‌جای مقادیر به‌دست‌آمده از طریق پیام‌های Hello استفاده‌خواهدکرد. هدف این روش پیش‌بینی و تخمین مکان گره‌های همسایه است تا با افزایش بازه ارسال پیام‌های Hello، کاهش تعداد بسته‌های Hello را رقم‌بزند.

در پروتکل M-GEDIR، یک تکنیک مسیریابی جغرافیایی چند معیاری برای انتخاب گام بعدی پیشنهادشده‌است[۱۳]. این روش خودروهای گام بعدی را از ناحیه ارسال پویا انتخاب‌می‌کند و پارامترهایی مانند قدرت سیگنال دریافتی و موقعیت آینده خودروها و ناحیه بحرانی که در آن خودروها در کران شعاع انتقالی خود واقع هستند را درنظرمی‌گیرد. این پروتکل پیام‌های Hello را به‌صورت دوره‌ای ارسال‌می‌کند.

در پژوهش [۱۴] یک استراتژی برای به‌روزرسانی تطبیقی چرخه ارسال پیام‌های Hello بر اساس ثبات رانندگی وسیله نقلیه ارائه‌شده‌است. روش ارائه‌شده از خطای پیش‌بینی موقعیت وسیله نقلیه برای تنظیم بازه زمانی ارسال پیام‌های Hello استفاده‌می‌کند. با توجه به خطای موقعیت، برخی از خودروها به‌عنوان یک وسیله نقلیه ناپایدار برخی دیگر به‌عنوان وسیله نقلیه پایدار تعریف‌می‌شوند.

در [۱۵]، یک پروتکل چندمعیاری جغرافیایی به نام AMGRP ارائه شده‌است که در انتخاب گام بعدی عواملی مانند تحرک، طول عمر پیوند، فاصله اقلیدسی که از جمله عوامل تأثیرگذار برای بهبود عملکرد یک پروتکل مسیریابی است، درنظرمی‌گیرد. این پروتکل از یک تابع وزن‌دهی برای شناسایی گام بعدی در فرایند ارسال استفاده‌می‌کند.

در پروتکلGSA، خودروها براساس موقعیت جغرافیایی خود شان و باتوجه به بخش‌های جاده به خوشه‌هایی تقسیم‌می‌شوند[۱۶]. از خوشه‌های ایجادشده برای مسیریابی استفاده‌می‌شود. هر خوشه شامل سرخوشه‌ای برای خودروهای داخل خوشه است. انتخاب سرخوشه باعث پوشش مسیر انتها به انتها و کنترل پخش سیلابی پیام‌های Hello می‌شود. همچنین این روش از خوشه‌بندی برای حفظ جدول مسیریابی در پروتکل مسیریابی جغرافیایی استفاده‌کرده‌است که باعث کاهش بیشتر سربار و افزایش دقت نسبت به روش فراپخش دوره‌ای پیام‌های Hello در شبکه می‌شود.

در الگوریتم SSFA، هدف کاهش نرخ ارسال پیام های Hello است[۱۷]. مسئله کنترل نرخ ارسال پیام‌های Hello به‌عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف فرموله شده‌است. سپس با استفاده از یادگیری تقریبی تقویتی حل‌شده‌است.

در پژوهش ارائه شده در [۱۸]، یک استراتژی به‌روزرسانی تطبیقی برای بازه ارسال پیام‌های Hello ارائه‌شده‌است. در این پژوهش دو قانون برای ارسال پیام‌های Hello تعریف‌شده‌است. تخمین طول عمر پیوندها و تغییر مجموعه ارسال بسته‌های داده دریافتی متوالی. با توجه به دو قانون اشاره شده، مشخص‌می شود که چه زمانی باید پیام‌های Hello ارسال‌شوند تا گره‌ها بتوانند اطلاعات به‌روز از همسایگانشان به‌دست‌آورند.

در مرجع[۱۹]، از مدل تخمین موقعیتی وسیله نقلیه برای تطبیق و تحلیل فرکانس ارسال پیام‌های Hello استفاده شده‌است. اگر تفاوت بین مقدار پیش‌بینی‌شده موقعیت و موقعیت واقعی بیشتر از مقدارآستانه درنظرگرفته شده‌باشد، پیام Hello ارسال‌می شود. با این حال، تعیین مقدار مناسب برای آستانه یکی از چالش‌های این روش است. تعیین مقدار کمتر برای آستانه، سربار مسیریابی را افزایش می‌دهد و مقدار زیاد می‌تواند باعث عدم دقت در شکل‌گیری توپولوژی محلی شود.

الگوریتم CAPU، یک روش به‌روزرسانی موقعیت به‌صورت تطبیقی ارائه‌می‌دهد که بر دقت انتخاب گام بعدی در طول انتقال داده تمرکز دارد[۲۰]. در این روش، اگر تفاوت بین موقعیت تخمینی و موقعیت واقعی برای گره گام بعدی بیشتر از یک مقدار آستانه از پیش تعیین شده باشد، مشخصات وسیله نقلیه شامل موقعیت، سرعت و جهت با ارسال پیام Hello به‌روزرسانی‌می‌شود در غیر این‌صورت نیازی به ارسال اطلاعات به همسایگان نخواهدبود.

در پروتکل PGRP، از اطلاعات محلی به‌دست‌آمده از همسایگان یک‌گامی برای انتخاب گره بعدی استفاده‌می‌شود[۶]. در این پروتکل

هر گره از مجموعه همسایگان خود، بهترین همسایه را برای ارسال بسته به مقصد انتخاب‌می‌کند. هدف اصلی از PGRP تخمین موقعیت آینده از همسایگان و انتخاب بهترین همسایه برای ارسال یک بسته در بزرگراه و سناریوهای شهری می‌باشد. انتخاب بهترین گره همسایه در PGRP بر اساس دو ویژگی انجام‌می‌شود. اولین ویژگی، موقعیت همسایگان در ارتباط با مقصد در آینده نزدیک است و دومین ویژگی، زاویه همسایگان با مقصد در آینده نزدیک است. به عبارت دیگر، در PGRP هنگامی که یک گره همسایگان خود را از طریق پیام‌های Hello شناسایی‌می‌کند، موقعیت و سرعت را برای همه همسایه‌های خودش به‌دست‌می‌آورد سپس وزن هر یک از همسایگان را با توجه به دو ویژگی ذکرشده به‌دست‌می‌آورد. همسایه‌ای که دارای بیشترین وزن باشد برای ارسال داده به مقصد انتخاب‌می شود. در این پروتکل پیام‌های Hello با بازه زمانی ثابت یک ثانیه‌ای توسط گره‌ها منتشرمی‌شوند.

در پژوهش [۲۱]، الگوریتم جستجوی Tabu برای کنترل تراکم و ازدحام در شبکه استفاده‌شده‌است. در این پژوهش ابتدا طرح‌های تشخیص ازدحام بررسی شده و سپس از یک مدل اولویت برای تنظیم نرخ انتقال پیام‌های Hello بر اساس ازدحام استفاده‌شده‌است.

۳. روش پیشنهادی

همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد در شبکه‌های بین خودرویی و در الگوریتم های مسیر یابی جغرافیایی، هر گره موقعیت خود را با خودروهای همسایه از طریق پخش پیام های Hello به اشتراک می‌گذارد. با توجه به پویایی شبکه‌های بین خودرویی، به‌روزرسانی مداوم موقعیت همسایگان ضروری و مورد نیاز می‌باشد. راه‌حل غیرمؤثر برای این موضوع، ارسال پیام‌های Hello به‌صورت مداوم و با بازه زمانی ثابت می‌باشد که منجر به مبادله بسته‌های بسیار و سربار شبکه و افزایش هزینه مسیریابی خواهدشد.

راه‌حل پیشنهادی ارائه یک مکانیزم تطبیق‌پذیر برای تنظیم بازه زمانی انتشار بسته‌های کنترلی Hello است. در روش پیشنهادی به جای استفاده از مکانیزم پخش دوره‌ای پیام‌های Hello در بازه‌های زمانی ثابت، از ارسال تطبیقی بر اساس دو معیار (که با توجه به ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی انتخاب شده‌اند) استفاده‌می شود. معیارهای درنظرگرفته شده عبارتند از: میزان ازدحام و تراکم در هر گره و میزان پایداری و طول عمر پیوند میان همسایگان. ارسال تطبیق‌پذیر پیام‌های Hello به‌جای ارسال دوره‌ای با بازه ثابت، می‌تواند فرکانس ارسال این پیام‌ها را با توجه به شرایط شبکه تنظیم‌کند و نتیجتا" در شرایطی منجر به کاهش پیام‌های سربار کنترلی و کاهش مشکل برخورد و تصادم شده و نرخ تحویل و تأخیر انتها به انتها را بهبوددهد.

در این بخش ابتدا مدل شبکه بیان شده. سپس راه‌حل پیشنهادی توضیح‌داده‌می‌شود

۱،۳. مدل شبکه

شبکه‌های بین خودرویی می‌توانند به صورت یک گراف $G = (V, E)$ که در آن V نشان‌دهنده مجموعه رئوس (خودروها) و E یال‌ها یا پیوندها است، مدل شوند. هر یال نشان‌دهنده پیوند بین دو گره می‌باشد که در شرایط کنونی در محدوده انتقال یکدیگر قرارگرفته‌اند.

هر خودرو در شبکه بین خودرویی دارای یک شماره شناسه منحصربه‌فرد است. فرض بر این است که موقعیت خودروها به صورت تصادفی با یک سرعت حداقلی و حداکثری در حال تغییرند. لازم به توضیح است که مقادیر سرعت و توپولوژی در نظر گرفته شده در بخش مربوط به شبیه‌سازی و انجام آزمایش‌ها بیان‌شده‌است. هر خودرو توانایی به‌دست‌آوردن موقعیت، سرعت و جهت خود را دارد. مبادله بسته‌های Hello با همسایگان یک‌گامی صورت‌خواهدگرفت. خودروها می‌توانند خودروهای واقع در شعاع انتقالی خود (همسایگان خود) را از طریق مبادله پیام‌های Hello شناسایی‌کنند. مجموعه همسایگان گره v_i با N_i نشان‌داده‌می‌شود.

۲،۳. ایده پیشنهادی: تنظیم نرخ ارسال پیام‌های Hello

در این بخش، روش پیشنهادی برای تنظیم بازه ارسال پیام‌های Hello در هر گره به‌صورت تطبیقی و با درنظرگرفتن معیارهای ازدحام در هر گره و پایداری پیوندها شرح داده‌می‌شود. ابتدا روش محاسبه میزان ازدحام و طول عمر لینک‌ها بررسی‌می‌شوند.

سطح ازدحام در هر گره: یکی از عامل‌های مهم برای تنظیم نرخ ارسال پیام‌های Hello به‌منظور بهبود در عملکرد شبکه و ذخیره منابع از جمله پهنای باند در دسترس، درنظرگرفتن سطح ازدحام در گره‌ها و شبکه می‌باشد. این معیار می‌تواند باعث کاهش تصادم، کاهش تأخیر بسته‌ها در بافر و کاهش سرریز بافر شود که درنتیجه آن پارامترهای کیفیت خدمات شبکه می‌توانند بهبودیابند. به همین منظور در روش پیشنهادی باتوجه به نرخ ورود و خروج بسته‌ها (سرویس‌دهی به پیام‌های وارد شده به بافر و خارج شده از آن)، سطح ازدحام در هر گره را محاسبه‌کرده‌ایم و بر اساس آن، می‌توانیم بازه ارسال پیام‌های Hello را تنظیم‌کنیم.

بر اساس سطح ازدحام درنظرگرفته‌شده، در صورتی‌که گره‌ها دارای نرخ ورود بیشتری به نسبت نرخ سرویس‌دهی باشند، لازم است که ارسال بسته‌ها در این بخش به‌منظور کاهش تصادم کاهش یابد، زیرا با ارسال بسته‌ها توسط این گره‌ها، ازدحام بیشتر و این امر باعث افزایش تأخیر و کاهش نرخ تحویل بیشتری خواهدشد. میزان ازدحام و تراکم در گره i می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه‌شود.

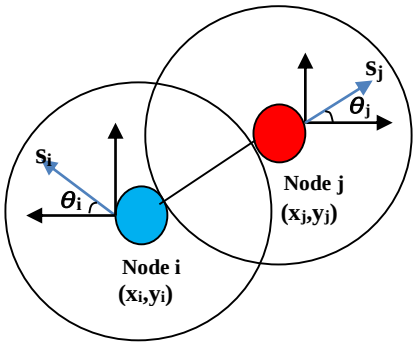
$$k_i = \frac{\tau_i}{\omega_i} \qquad (۱)$$

که در آن τ_i نرخ ترافیک ورودی و ω_i نرخ ترافیک خروجی (نرخ خدمات) می‌باشد[۲۲]. هرقدر حاصل این کسر عدد بزرگتری

باشد به معنی وجود ازدحام در گره می‌باشد و بهتر است که این گره پیام‌های Hello را با فاصله‌های زمانی طولانی‌تری ارسال‌کند.

درصورتی‌که k_i برای گرهی عدد بزرگی باشد حتی اگر این گره به‌عنوان گره بعدی هم انتخاب‌شود امکان سرویس‌دهی مناسب را نخواهدداشت. بنابراین بهتر است با فاصله زمانی بیشتری پیام‌های Hello را ارسال‌کند تا زمانی که ازدحام در آن کاهش‌یابد. این گره با کاهش نرخ ارسال پیام Hello، نه‌تنها به کاهش بار شبکه کمک‌می‌کند بلکه از دید همسایگانش هم پنهان می‌ماند و فعلا" به‌عنوان گره بعدی در مسیرها انتخاب‌نمی‌شود.

زمان انقضای پیوند: معیار دیگری که در روش پیشنهادی برای تنظیم بازه زمانی ارسال پیام‌های Hello در نظرگرفته شده‌است، تنظیم بازه ارسال پیام Hello بر اساس LET(Link Expiration Time) طول عمر پیوندها است. گره‌هایی که با همسایگان خود دارای لینک‌های پایدار با طول عمر بیشتر باشند می‌توانند دارای نرخ ارسال Hello کمتری باشند و بازه ارسال Hello طولانی‌تر باشد.



شکل ۱: گره‌های i و j با سرعت، موقعیت و جهت حرکت مشخص

با توجه به شکل (۱) با درنظرگرفتن دو خودروی i و j با شعاع انتقالی R و با مختصات (x_i, y_i) و (x_j, y_j) که با سرعت (s_i, s_j) حرکت‌می‌کنند، $LET_{i,j}$ براساس معادله زیر محاسبه‌می‌شود[۲۳].

$$LET_{i,j} = \frac{-(ab+cd)+\sqrt{(a^2+c^2)r^2-(ad-bc)^2}}{a^2+c^2} \qquad (۲)$$

که در آن

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

با توجه به ویژگی اکثر شبکه‌های VANET که خودروها در یک جهت در حال حرکت هستند و عرض خیابان ها خیلی کمتر از شعاع انتقال گره‌ها (R) است، می‌توان برای هر گره فقط موقعیت x آن را درنظرگرفت و از زاویه نیز صرف‌نظر کرد [۲۴] و رابطه (۲) را به صورت زیر ساده‌سازی‌کرد:

$$LET_{ij} = \frac{-\Delta s.\Delta x + |\Delta s|.R}{(\Delta s)^2} \qquad (۳)$$

$$\Delta s = s_j - s_i$$
$$\Delta x = x_j - x_i$$

برای هر خودرو یا گره v_i مقدار LET_i برابر با حداقل مقدار طول عمر لینک مابین v_i و گره‌های همسایه آن (مجموعه N_i) در نظر گرفته‌می‌شود.

$$LET_i = Min\{LET_{i,j} \mid v_j \in N_i\} \qquad (۴)$$
$$N_i = \{vj \mid v_j \in V, v_{ij} \in E\}$$

بر اساس ازدحام به‌دست‌آمده برای هر گره (k_i) و طول عمر پیوند به‌دست‌آمده برای هر گره (LET_i)، بازه زمانی ارسال پیام Hello برای هر گره می‌تواند به‌صورت زیر تنظیم‌شود.

$$\delta_i = LET_i + k_i - Rand[0.002] \qquad (۵)$$

مقدار $Rand[0.002]$ نشان‌دهنده زمان تولید شده تصادفی بین ۰ و ۲ میلی‌ثانیه است. این مقدار انحراف برای به‌حداقل‌رساندن احتمال اینکه دو خودرو یا بیشتر زمان پخش مشابهی را به خود اختصاص‌دهند، استفاده شده‌است. لازم به توضیح است که وزن پارامترهای طول عمر پیوند و ازدحام در روش پیشنهادی یکسان در نظرگرفته شده است. می‌توان در رابطه (۵) ضرایبی را هم برای k_i و LET_i قرارداد.

شبه کد مربوط به روش تنظیم نرخ ارسال پیام‌های Hello می‌تواند به‌صورت زیر نوشته‌شود:

Algorithm 1:	Sending Adaptive Hello
Input:	Hello Packets, x, y, speed, direction
Output	Hello Period Value
Notations:	
i:	A vehicle or Node
N_i:	Neighbor List of Node i
K_i:	Congestion of Node i
LET_i:	Link Expiration Time of Node i
δ_i:	Hello Period Value of Node i
1.	Each node i broadcasts Hello to its neighbors
2.	Based on Hello received, each node i creates the N_i
3.	**While** (1) **do**
4.	**For** (each node(i) in Network) **do**
5.	Calculate κ_i *based on Eq.* (1)
6.	Calculate LET_i *based on Eq.* (4)
7.	Calculate δ_i Based on Eq. (5)
8.	Set a timer based on δ_i
9.	**If** ($\delta_i == 0$) **THEN**
10.	Node i sends a Hello packets
11.	each Node updates its neighbor list
12.	**Endif**
13.	**End For**
14.	**End**

روش پیشنهادی برای تنظیم بازه ارسال پیام‌های Hello، بر روی پروتکل PGRP اعمال‌شد. در این پروتکل بازه ارسال پیام‌های Hello به‌صورت دوره‌ای و ثابت با فاصله زمانی یک ثانیه درنظرگرفته‌شده‌است و معیار و استراتژی انتخاب گره بعدی فاصله اقلیدسی و زاویه حرکت گره‌ها است. در بخش بعدی روش پیشنهادی طی آزمایش بررسی و ارزیابی‌می‌شود و با الگوریتم PGRP مقایسه‌می‌شود.

۴. شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش، طرح پیشنهادی را با استفاده از شبیه ساز NS2 [۲۵]، شبیه سازی‌کرده و در سناریوهای مختلف با پروتکل مسیریابی PGRP مقایسه‌می‌کنیم.

در پروتکل PGRP، گره‌ها بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پیام‌های Hello، لیست همسایگان یک‌گامی خود را تشکیل‌می‌دهند. نرخ ارسال پیام‌های Hello در این پروتکل ثابت و برابر با یک ثانیه درنظرگرفته-شده‌است. این پروتکل از معیارهای فاصله پیش‌بینی‌شده تا مقصد و جهت حرکتی گره‌ها برای انتخاب گام بعدی استفاده‌می‌کند. به این ترتیب در میان گره‌های همسایه، گرهی که کمترین فاصله و اختلاف جهت حرکتی را با گره مقصد داشته‌باشد، به‌عنوان گام بعدی انتخاب‌می‌شود. روش پیشنهادی مشابه با PGRP است، با این تفاوت که نرخ ارسال پیام‌های Hello در روش پیشنهادی براساس معیارهای ازدحام و طول عمر پیوند (الگوریتم معرفی‌شده در بخش ۳) تنظیم‌می‌گردد.

در ادامه، پارامترهای شبیه‌سازی استفاده‌شده بیان‌می‌شوند، معیارهای ارزیابی معرفی‌می‌شوند و سپس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده ارائه، تحلیل و ارزیابی می‌شوند.

۱،۴. پارامترهای شبیه‌سازی

در آزمایش های انجام‌شده برای تولید الگوی حرکتی گره ها از MOVE[۲۶] که می‌تواند انواع سرعت‌ها را برای هر گره پشتیبانی‌کند استفاده‌شده‌است. همچنین SUMO[۲۷] برای ایجاد نقشه و مختصات حرکت گره‌ها در امتداد جاده استفاده‌شده‌است. در آزمایش‌های انجام‌شده، یک سناریوی شهری با ابعاد ۱۱۲۰۰ متر در ۱۱۲۰۰ متر درنظرگرفته شده است. جدول ۱ مقادیر در نظرگرفته‌شده برای پارامترهای شبیه سازی را نشان‌می‌دهد. در طول شبیه سازی هر گره مجهز به گیرنده GPS است. هر آزمایش ۱۰ بار تکرار شده‌است و مقادیر میانگین به همراه بازه اطمینان ۹۵٪ ارائه‌شده‌اند. زمان کل شبیه‌سازی ۳۰۰ ثانیه است.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Value
Number of Nodes	80, 160, 240, 320, 400, 480, 560,640 آزمایشها گروه اول
Simulated Area	11200 m * 11200 m
Transmission range	250 Meters
MAC	IEEE 802.11 DCF
Channel Rate	6 Mbps
Simulation Time	300 Second
Mobility Generator	MOVE
Queue Model	FIFO
Queue Size	50 Packets
Maximum vehicle speed	5.5-22.5 m/s آزمایش‌ها گروه اول
Maximum vehicle speed	5 -55 m/s آزمایش‌ها گروه دوم
Propagation Model	Shadowing
Number of Runs	10

۴،۲. معیارهای ارزیابی

ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه عملکرد آن با الگوریتم پایه PGRP، بر اساس معیارهای متفاوتی از جمله نرخ تحویل بسته، تأخیر انتها به انتها و سربار نرمال‌سازی‌شده، انجام‌گرفته‌است.

نرخ تحویل بسته: تعداد بسته‌های داده‌ای که به شکل صحیح در مقصد دریافت‌شده‌اند به بسته‌هایی که به‌وسیله گره مبدأ ارسال‌شده‌اند. این معیار با PDR (Packet Delivery Ratio) نشان‌داده‌شده‌است و به‌صورت زیر محاسبه‌می‌شود.

$$PDR = \frac{\text{No.of Data Packets Received}}{\text{No.of Data Packets Sent}} \times 100 \qquad (۶)$$

متوسط تأخیر انتها به انتها : به‌صورت میانگین فاصله زمانی بین ارسال و دریافت موفقیت‌آمیز بسته‌ها در شبکه از مبدا به مقصد تعریف‌می‌شود و شامل همه تأخیرها از جمله بافر کردن، تأخیر بازپخش در لایه MAC و تأخیر انتشار و انتقال می‌باشد و به‌صورت زیر محاسبه‌می‌شود.

$$\overline{\text{End to End Delay}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (R_i - S_i)}{n} \qquad (۷)$$

که در آن n تعداد بسته‌های دریافت‌شده با موفقیت، i شناسه بسته، R زمان دریافت بسته و S زمان ارسال بسته می‌باشد.

سربار مسیریابی نرمال‌سازی‌شده: به‌صورت تعداد بسته‌های مسیریابی انتقال‌داده‌شده (بسته Hello) به تعداد بسته‌های داده دریافت-شده در مقصد تعریف و به‌صورت زیر محاسبه‌می‌شود:

$$\text{Normalized Routing Overhead} = \frac{\text{No.of Routing Pkts Transferred}}{\text{No.of Data Pkts Received}} \qquad (۸)$$

به‌منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، پارامترهای ذکرشده در سناریوهای متفاوت بررسی و ارزیابی شده‌اند.

۳،۴. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌ها برای روش پیشنهادی و الگوریتم پایه PGRP ارائه‌شده و با توجه به معیارهای ارزیابی معرفی شده، بررسی و تحلیل شده‌اند.

آزمایش‌ها به دو گروه تقسیم‌شده‌اند. در گروه اول هدف بررسی اثر افزایش تعداد خودروها است. با افزایش تعداد خودروها، منابع ارسال‌کننده پیام‌های Hello افزایش‌می‌یابند و ازدحام و ترافیک در شبکه افزایش می‌یابد. انتظارمی‌رود الگوریتم پیشنهادی بتواند در مقابل

افزایش ازدحام در شبکه عکس‌العمل منا سب ن شان‌داده و نرخ ار سال پیام‌های Hello را کاهش‌دهد. در این گروه از آزمایش‌ها، تعداد خودروها از ۸۰ تا ۶۴۰ افزایش‌داده‌می‌شوند.

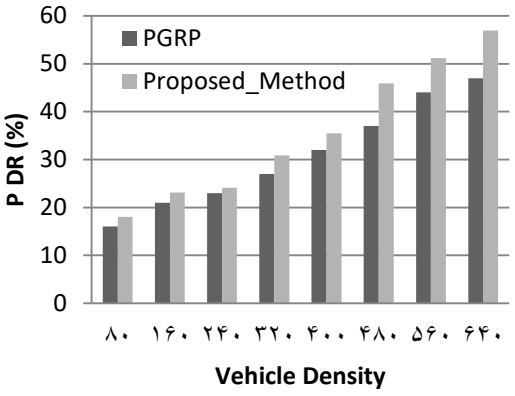
در گروه دوم هدف برر سی افزایش سرعت گره‌ها ا ست. با افزایش سرعت گره‌ها طول عمر پیوندها کاهش‌می‌یابد و روش پی شنهادی باید بتواند فاصله زمانی بین ار سال پیام‌های Hello را کاهش‌دهد و پیام‌های Hello با فرکانس بالاتری ارســـال‌شـــوند تا بتوانند اعتبار مســـیرها را تضـــمین‌کنند. برعکس وقتی ســـرعت گره‌ها پایین اســـت، نرخ ارســـال پیام‌های Hello بایدکاهش‌داده‌شـود تا منابع شـبکه تلف‌نشـوند. در این آزمایش‌ها تعداد خودروها ۶۴۰ درنظرگرفته‌شده‌است و سرعت خودروها از 5 m/s تا 55 m/s افزایش‌داده‌می‌شود.

۱،۳،۴. نتایج آزمایش‌های گروه اول

در آزمایش‌های گروه اول، هدف بررســـی اثر افزایش تعداد خودروها در الگوریتم PGRP و روش پیشنهادی ا ست. انتظارمی‌رود با افزایش تعداد خودروها و افزایش پیامهای Hello در شـــبکه که باعث افزایش ازدحام می شود روش پی شنهادی نرخ ار سال پیام‌های Hello را کاهش‌دهد. در ادامه نتایج آزمایش‌ها انجام‌شـــده ارائه‌می‌شـــود و بر اســـاس معیارهای ارزیابی معرفی‌شده، تحلیل و بررسی می‌شوند.

برر سی و مقای سه نرخ تحویل ب سته (PDR): شـــکل ۲ نرخ تحویل بســـته را در الگوریتم PGRP و روش پیشـــنهادی نشـــان‌می‌دهد. همان‌طورکه تراکم افزایش‌یافته، نرخ تحویل PGRP و روش پی شنهادی افزایش‌یافته‌ا ست. دلیل این امر آن ا ست که ات صالات شبکه با افزایش تراکم، افزایش‌یافته‌ا ست. بر ا ساس نتایج به‌د ست‌آمده از شکل ۲ روش پیشنهادی نسبت به روش PGRP دارای بهبود ۱۶ درصدی است.

دلیل بهبود عملکرد روش پیشـــنهادی از نظر نرخ تحویل این اســـت که در روش پیشـــنهادی با افزایش تراکم و ازدحام در شـــبکه، فاصـــله زمانی بین ارســـال پیام های Hello افزایش‌یافته‌اســـت و این امر باعث افزایش زمان خالی در کانال می‌شـــود. به این طریق در صـــورتی که داده‌ای برای ار سال وجودداشته‌باشد، گره با در اختیار گرفتن کانال، آن را سریع ار سال‌خواهدکرد. همان‌طورکه در شکل ۲ م شاهده‌می شود، اســـتراتژی تطبیقی ارســـال پیام Hello در ســـناریوهای متراکم عملکرد بهتری از خود ن شان‌داده‌ا ست که عملکرد در ست روش پی شنهادی در شـــرایط وجود تراکم را نشـــان‌می‌دهد. در ســـناریوهای با تراکم کمتر عملکرد هر دو روش مثل هم اســـت. جدول ۲ بازه‌های اطمینان ۹۵٪ را برای نتایج گزارش‌شـــده برای نرخ تحویل بســـته در روش پیشـــنهادی نشان‌می‌دهد.

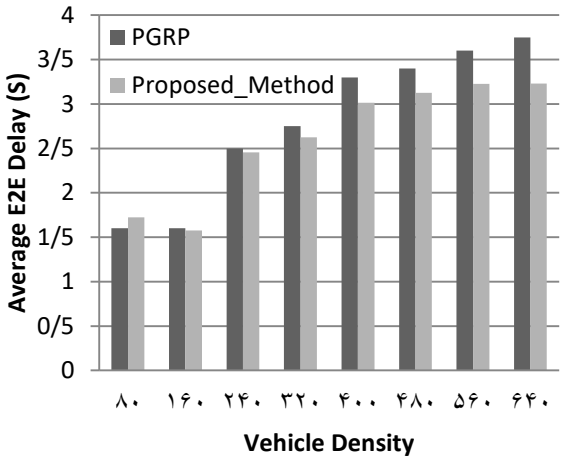


شکل ۲: نرخ تحویل بسته به‌ازای تعداد خودروهای متفاوت

جدول۲: بازه اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر PDR در روش پیشنهادی

Vehicle Density	PDR (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
80	18.055	[17.684-18.425]
160	23.128	[22.965-23.290]
240	24.107	[23.972-24.242]
320	30.869	[30.688-31.049]
400	35.491	[35.202-35.779]
480	45.896	[45.220-46.571]
560	51.200	[50.631-51.768]
640	56.915	[56.145-57.684]

تأخیر انتها به انتها: شکل ۳، الگوریتم PGRP و روش پیشنهادی را با استفاده از معیار تأخیر انتها به انتها مقایسه‌می‌کند. بر اساس شکل ۳ با افزایش تعداد خودروها، تأخیر انتها به انتها برای هر دو روش افزایش-می‌یابد. با افزایش تعداد خودروها دلایل متفاوتی از جمله افزایش رقابت گره‌ها برای در اختیار گرفتن کانال، فضای محدود بافر و سرریز بسته‌های داده می‌تواند باعث افزایش تأخیر شود. در روش پیشنهادی با کاهش تعداد بسته‌های Hello مبادله‌شده در شبکه، سرعت انتقال بسته‌های داده افزایش‌می‌یابد و همین مسأله موجب می‌شود که تأخیر انتها به انتها نسبت به روش PGRP که اقدام به فراپخش بسته‌های Hello از هر یک ثانیه می‌کند، کاهش‌یابد. روش پیشنهادی دارای کاهش ۷ درصدی تأخیر انتها به انتها نسبت به PGRP است. در سناریوهای با تراکم کمتر هر دو روش دارای عملکرد یکسانی هستند ولی عملکرد روش پیشنهادی در سناریوهای متراکم بهبود بیشتری را نشان‌می‌دهد. در جدول ۳، بازه اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر ارائه‌شده در روش پیشنهادی برای تأخیر انتها به انتها آورده شده‌اند.



شکل ۳: تأخیر انتها به انتها به‌ازای تعداد خودورهای متفاوت

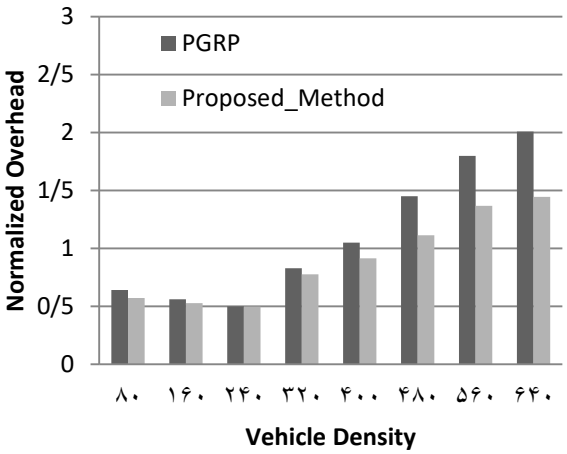
جدول ۳: بازه اطمینان ۹۵٪ برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی

Vehicle Density	E2E Delay (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
80	1.725	[1.681-1.768]
160	1.576	[1.553-1.598]
240	2.455	[2.365-2.544]
320	2.626	[2.582-2.669]
400	3.012	[2.958-3.065]
480	3.125	[3.031-3.218]
560	3.225	[3.133-3.316]
640	3.231	[3.172-3.289]

سربار نرمال‌سازی‌شده: شکل۴ سربار نرمال‌سازی‌شده را به ازای تعداد گره‌های متفاوت در شبکه نشان‌می‌دهد. بسته‌های کنترلی شامل بسته های Hello می باشند که در هر دو پروتکل PGRP و روش پیشنهادی برای حفظ جداول محلی مبادله‌می‌شوند. برای هردو روش PGRP و روش پیشنهادی، با افزایش تراکم خودروها، سربار مسیریابی افزایش‌یافته‌است که دلیل افزایش آن نیز افزایش تعداد بسته‌های Hello می‌باشد.

روش پیشنهادی با توجه به اینکه از ارسال تطبیقی پیام‌های Hello با در نظر گرفتن ازدحام استفاده کرده است، موجب کاهش سربار نسبت به پروتکل PGRP شده است. مخصوصاً زمانی که تراکم در شبکه زیاد باشد کاهش سربار بیشتر به‌چشم‌می‌خورد.

در فرمول محا سبه سربار نرمال سازی شده (فرمول ۸) همزمان با کاهش تعداد بسته‌های کنترلی در روش پیشنهادی که در صورت کسر قراردارد، مخرج کسر نیز که تعداد بسته‌های دریافت‌شده می‌باشد، افزایش‌می‌یابد. شکل ۴ نشان‌می‌دهد که روش پیشنهادی دارای بهبود ۱۸ درصدی نسبت به پروتکل PGRP است. همچنین در جدول ۴، بازه های اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر به‌دست آمده در سر بار نرمالسازی‌شده در روش پیشنهادی ارائه‌شده‌اند.



شکل ۴: سربار نرمال‌سازی شده به‌ازای تعداد خودروهای متفاوت.

جدول ۴: بازه اطمینان ۹۵٪ برای سربار نرمال‌سازی‌شده در روش پیشنهادی

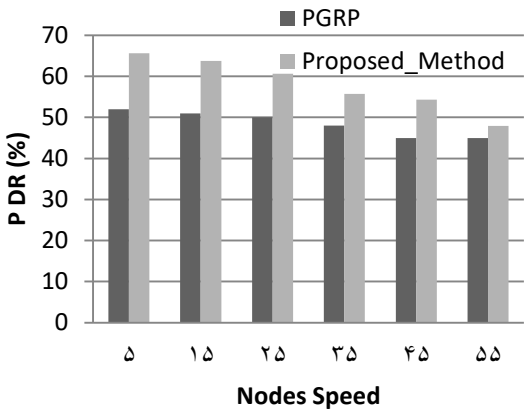
Vehicle Density	سربار نرمال‌سازی‌شده (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
80	0.573	[0.555-0.590]
160	0.527	[0.514-0.539]
240	0.498	[0.477-0.518]
320	0.778	[0.754-0.801]
400	0.915	[0.879-0.950]
480	1.114	[1.058-1.169]
560	1.368	[1.293-1.442]
640	1.446	[1.387-1.504]

۲،۳،۴. نتایج آزمایش‌ها گروه دوم

در آزمایش‌ها گروه دوم، هدف برر سی افزایش سرعت گره‌ها ا ست. در این آزمایش‌ها تعداد خودروها ۶۴۰ درنظرگرفته‌شده‌است و سرعت خودروها از 5 m/s تا 55 m/s افزایش‌داده‌می‌شود.

بررسی و مقایسه نرخ تحویل بسته (PDR): شکل۵ نرخ تحویل بسته را در الگوریتم PGRP و روش پیشنهادی با افزایش سرعت گره‌ها نشان‌می‌دهد. همان‌طورکه سرعت تحرک گره‌ها افزایش‌یافته‌ا ست، نرخ تحویل PGRP و روش پیشنهادی کاهش‌یافته‌است. دلیل این امر آن ا ست که گره‌ها از محدوده‌ی انتقالی یکدیگر خارج‌می شوند و م سیرها نیاز به بازسازی پیدامی‌کنند. بر اساس نتایج در شکل ۵، روش پیشنهادی در سرعت‌های پایین‌تر عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم PGRP دارد. زیرا به‌دلیل پایداری پیوندها، پیام‌های Hello را با فاصله زمانی بیشتری ارسال‌می‌کند و تا حدود زیادی از مشکل ازدحام و تصادم بسته‌ها می‌کاهد. با افزایش سرعت گره‌ها، هر دو روش عملکرد یکسانی را به‌نمایش‌می‌گذارند. زیرا با افزایش سرعت گره‌ها در روش پیشنهادی نیز نرخ ارسال پیام های Hello افزایش‌می‌یابد. در جدول ۵ بازه اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر به‌دست‌آمده برای PDR در روش

پیشنهادی ارائه شده‌است. همچنین در این آزمایش‌ها میزان بهبود نرخ تحویل بسته حدود ۱۸٪ است.

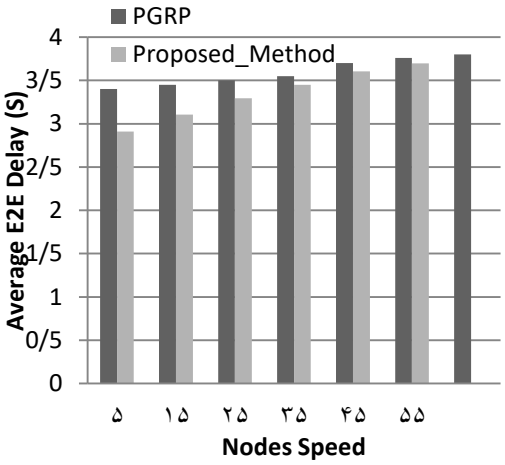


شکل ۵: نرخ تحویل بسته با افزایش سرعت گره‌ها

جدول۵: بازه اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر PDR در روش پیشنهادی

Nodes Speed	PDR (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
5	65.633	[63.406-67.860]
15	63.774	[61.705-65.842]
25	60.666	[58.452-62.879]
35	55.698	[53.393-58.002]
45	54.353	[52.161-56.544]
55	47.915	[46.175-49.654]

تأخیر انتها به انتها: در شکل ۶، روش PGRP و روش پیشنهادی با افزایش سرعت گره‌ها براساس معیار تأخیر انتها به انتها باهم مقایسه‌شده‌اند. بر اساس شکل ۶، با افزایش سرعت، تأخیر انتها به انتها برای هر دو روش به‌دلیل شکست مسیرها افزایش‌می‌یابد. روش پیشنهادی در سرعت‌های پایین تر دارای عملکرد بهتری است زیرا نرخ ارسال بسته‌های Hello به‌دلیل سرعت پایین گره‌ها کمتر است و ازدحام و ترافیک در شبکه نسبت به روش PGRP کمتر است. با افزایش سرعت گره‌ها نرخ ارسال بسته‌های Hello در روش پیشنهادی نیز افزایش می‌یابد و عملکرد هر دو الگوریتم به هم نزدیک می‌شود. با استفاده از روش پیشنهادی تأخیر انتها به انتها به طور میانگین ۵ درصد کاهش یافته‌است. جدول ۶ بازه اطمینان ۹۵٪ را برای مقادیر ارائه‌شده برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی نشان می‌دهد.



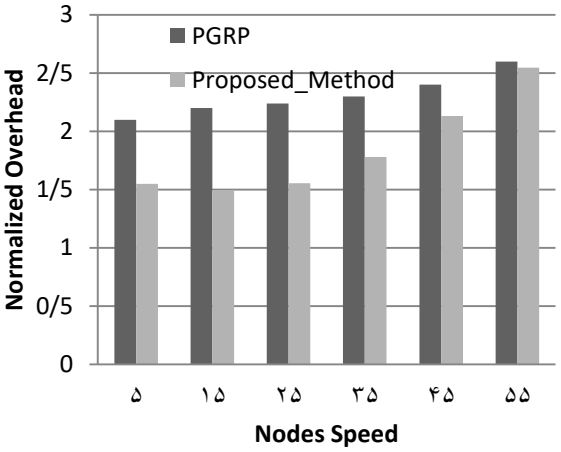
شکل ۶: تأخیر انتها به انتها با افزایش سرعت گره‌ها

جدول۶: بازه اطمینان ۹۵٪ برای تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی

Nodes Speed	E2E Delay (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
5	2.908	[2.811-3.004]
15	3.106	[2.992-3.219]
25	3.292	[3.174-3.410]
35	3.449	[3.353-3.544]
45	3.603	[3.549-3.656]
55	3.697	[3.625-3.768]

سربار نرمال سازی شده: شکل ۷ سربار نرمال سازی شده را با افزایش سرعت گره‌ها در شبکه نشان‌می‌دهد. برای هردو روش PGRP و روش پیشنهادی، با افزایش سرعت خودروها، سربار مسیریابی افزایش یافته‌است. دلیل افزایش سربار نرمال سازی شده برای الگوریتم PGRP کاهش بسته‌های داده‌ای تحویل داده‌شده‌است که در فرمول ۸ در مخرج کسر قرارگرفته‌است. زیرا با افزایش سرعت خودروها، نرخ تحویل کاهش‌یافته‌است. ولی در مورد روش پیشنهادی دلیل افزایش سربار نرمال‌سازی‌شده علاوه بر کاهش مخرج کسر، افزایش نرخ ارسال پیام‌های Hello است. در روش پیشنهادی با افزایش سرعت گره‌ها نرخ ارسال پیام Hello توسط گره‌ها افزایش‌می‌یابد.

با توجه به شکل۷، روش پیشنهادی در سرعت‌های پایین عملکرد بهتری را نشان‌می‌دهد زیرا نرخ ارسال پیام‌های Hello را به‌دلیل سرعت پایین گره‌ها کاهش‌می‌دهد و سربار مسیریابی کاهش‌می‌یابد، ولی هرچه سرعت گره‌ها افزایش‌می‌یابد طول عمر لینک‌ها کاهش‌می‌یابد و روش پیشنهادی نرخ ارسال پیام‌های Hello را افزایش‌می‌دهد. در جدول ۷ بازه اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر مربوط به سربار نرمال‌سازی‌شده در روش پیشنهادی آورده‌شده‌است. روش پیشنهادی به‌طور میانگین سربار نرمال‌سازی شده را ۲۲ ٪ کاهش داده است.



شکل ۷: سربار نرمال‌سازی‌شده با افزایش سرعت گره‌ها

جدول۷: بازه اطمینان ۹۵٪ برای سربار نرمال‌سازی‌شده در روش پیشنهادی

Nodes Speed	سربار نرمال‌سازی‌شده (میانگین)	بازه اطمینان ۹۵٪
5	1.550	[1.484-1.615]
15	1.493	[1.443-1.542]
25	1.556	[1.512-1.599]
35	1.780	[1.712-1.847]
45	2.131	[2.056-2.205]
55	2.546	[2.511-2.580]

۵. نتیجه‌گیری

در الگوریتم های مسیر یابی مبتنی بر موقعیت در شبکه های بین خودرویی به‌دست‌آوردن اطلاعات به‌روز در مورد موقعیت همسایگان برای هر گره امری ضروری و مورد نیاز ا ست. راه‌حل غیرمؤثر برای این موضوع، ارسال پیام‌های Hello به‌صورت مدارم و با بازه زمانی ثابت می‌با شد که منجر به مبادله بسته‌های بسیار، سربار شبکه، هدررفتن منابع شبکه و تصادم و کاهش نرخ تحویل‌می‌شود.

در این پژوهش یک مکانیزم تطبیق‌پذیر برای پخش بسته‌های کنترلی Hello ارائه شد. در روش پیشنهادی به‌جای ا ستفاده از مکانیزم ارسال دوره‌ای در بازه‌های زمانی ثابت، از ارسال تطبیقی با توجه به میزان ازدحام در هر گره و پایداری پیوند میان هم‌سایگان ا ستفاده شد. روش پیشنهادی بر روی الگوریتم PGRP اعمال‌شد. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی آزمایش‌ها متعددی انجام‌شد. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دادند که با اعمال روش پیشنهادی بر روی پروتکل PGRP، بهبود ۱۷ درصدی در نرخ تحویل، کاهش ۶ درصدی در تأخیر انتها به انتها و کاهش ۲۰ درصدی در سربار نرمال‌سازی شده نسبت به الگوریتم PGRP حاصل‌شد.

مراجع

[1] 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.

[2] K. Bayad, E. H. Bourhim, M. Rziza and M. Oumsis, "Comparative study of topology-based routing protocols in vehicular ad hoc network using IEEE802.11p," in *2016 International Conference on Electrical and Information Technologies,IEEE*, 2016.

[3] J. Liu, J. Wan, Q. Wang, D. Pan, K. Zhou and Y. Qiao, "A survey on position-based routing for vehicular ad hoc networks," *Telecommunication Systems*, vol. 62, pp. 15-30, 2016.

[4] J. B. Kenney, "Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162-1182, 2011.

[5] S. A. A. Shah, E. Ahmed, F. Xia, A. Karim, M. Shiraz and R. M. Noor, "Adaptive Beaconing Approaches for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 1263 - 1277, 2018.

[6] R. Karimi and S. Shokrollahi, "Predictive geographic routing protocol for VANETs," *Computer Networks*, vol. 141, pp. 67-81, 2018.

[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.

[8] A. Khan, A. A. Siddiqui and F. Ullah, "VP-CAST : Velocity and Position-Based Broadcast Suppression for VANETs.," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.*, 2022.

[9] V. Singh, K. Sharma and H. Verma, "ABNT: Adaptive beaconing and neighbor timeout for geographical routing in UAV networks," *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, 2022.

[10] O. i. Alzamzam and I. Mahgoub, "Link utility aware geographic routing for urban VANETs using two-hop neighbor information," *Ad Hoc Networks*, vol. 106, 2020.

[11] R. K. Jaiswal, "Position-based routing protocol using Kalman filter as a Prediction module for vehicular ad hoc networks,," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 83, 2020.

[12] 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.

[13] A. Hassan, A. Abdullah and O. Kaiwartya, "Multi-metric geographic routing for vehicular ad hoc networks," pp. 2763-2779, 2018.

[14] Y. Zhang, M. Wang, J. Wang and A. Zhan, "Research on adaptive beacon message broadcasting cycle based on vehicle driving stability," *Network Managment*, vol. 31, no. 2, 2021.

[15] N. i. Dharani Kumar 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.

[16] A. Huang and M. Motani, "A geographical segment architecture for connected vehicle networks, Vehicular Communications," *Vehicular Communications*, vol. 19, 2019.

[17] 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.

[18] M. Naderi, F. i. Zargar and M. Ghanbari, "Adaptive Beacon Broadcast in Opportunistic Routing for VANETs," *Ad Hoc Networks*, vol. 86, pp. 119-130, 2019.

[19] A. Boukerche, C. Rezende and R. W. Pazz, "Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages," in *GLOBECOM 2009 - 2009 IEEE Global Telecommunications Conference*, 2009.

[20] Q. Zhang, H. Zhang, X. Du, Z. Zhou, S. Su and R. Jin, "Contention-based adaptive position update for intermittently connected VANETs," in *2014 IEEE Global Communications Conference*, 2014.

[21] S. Sharma and M. Panjeta, "Optimization transmit rate-based decentralized congestion control scheme in vehicular ad hoc networks," in *AIP Conf. Proc*, 2022.

[22] M. Elappila, S. Chinara and D. R. Parhi, "Survivable Path Routing in WSN for IoT applications," *Pervasive and Mobile Computing*, 2018.

[23] W. Su, S.-J. Lee and M. Gerla, "Mobility Prediction and Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *International Journal of Network Management*, vol. 11, no. 1, pp. 3-30, 2001.

[24] 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.

[25] T. l. Issariyaku and E. Hossain, Introduction to Network Simulator NS2, Springer, 2009.

[26] M. Fiore, J. Harri, F. Filali and C. Bonnet, "Vehicular mobility simulation for VANETs," in *Annual Symposium on Simulation*, 2007.

[27] 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.