

خوشه‌بندی چند-پرشی و مسیریابی توأم در شبکه‌های اقتضایی بین-خودرویی با استفاده از آرایه لیست پیوندی دوطرفه

امین شماعی چهارسوق^۱ و آوید آوخ^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸	در این مقاله، الگوریتم توزیعی ارائه می‌شود که توأمان به حل سه مسئله خوشه‌بندی چند-پرشی، تعیین سرخوشه و ایجاد درخت مسیریابی برای هر خوشه در شبکه‌های اقتضایی بین-خودرویی می‌پردازد. روش پیشنهادی، تنها با بهره‌گیری از اطلاعات محلی هر گره، وسایل نقلیه موجود در شبکه را به نحوی خوشه‌بندی می‌کند که ضمن کاهش کل تعداد خوشه‌ها و کاهش سرباری، حداکثر پایداری خوشه حاصل شود. تعیین سرخوشه‌های شبکه براساس دو معیار سرعت نسبی و فاصله اقلیدوسی صورت می‌پذیرد. به‌منظور به‌روزرسانی پایگاه داده مسیریابی گره‌های شبکه، از آرایه لیست پیوندی دوطرفه استفاده می‌شود که در آن، تشکیل توزیعی مسیرهای مختلف درخت مسیریابی در هر خوشه، از سمت گره‌های مرزی خوشه شروع شده، تا سرخوشه ادامه می‌یابد. سازگاری مسیریابی درون-خوشه مورد استفاده با خوشه‌بندی واکنشی و توانایی دنبال کردن وفقی شرایط پویای شبکه‌های بین-خودرویی، از دیگر مزایای روش پیشنهادی محسوب می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی به عمل آمده توسط NS2، مؤید کارایی بالای روش پیشنهادی از سه منظر تأخیر انتها به انتها، نرخ تحویل بسته و حجم سرباری است.
واژگان کلیدی: شبکه بین-خودرویی، خوشه‌بندی چند-پرشی، مسیریابی، تأخیر، سرباری.	

۱- مقدمه

شبکه‌های اقتضایی بین-خودرویی (VANETs)^۲، نوع خاصی از شبکه‌های اقتضایی متحرک (MANETs)^۳ هستند که به‌منظور تأمین ایمنی جاده‌ها، تحلیل الگوی ترافیکی، ارسال هشدارهای اضطراری و اجرای هوشمند قوانین راهنمایی و رانندگی در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. با این حال، این شبکه‌ها در موارد بسیاری متفاوت با MANET عمل می‌کنند. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به تحرک بالای گره‌ها، ارتباط پراکنده میان گره‌ها و قطع شدن مکرر پیوندها^۵ اشاره کرد. ویژگی‌های ذکرشده، طراحی یک

پروتکل مسیریابی کارآمد را که بتواند بسته‌های داده را با حداقل تأخیر و حداکثر گذردهی از گره مبدأ به گره مقصد تحویل دهد، با چالش مواجه می‌سازد [۲]. اخیراً محققان از منظرهای مختلفی به مسئله مسیریابی در شبکه‌های بین-خودرویی پرداخته‌اند که از جمله می‌توان به مسئله مکان‌یابی-مسیریابی دوسطحی [۳ و ۴]، کاهش هزینه‌های مسیریابی [۵ و ۶] و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در امر مسیریابی [۷ و ۸] اشاره داشت. در این راستا، استفاده از خوشه‌بندی از روش‌های کارآمدی است که حداقل ارتباطات، کاهش سربار مسیریابی و افزایش مقیاس‌پذیری شبکه را به دنبال خواهد داشت [۹ و ۱۰].

۲. مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: aavokh@pel.iaun.ac.ir

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

۲. استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

² Vehicular Ad-hoc Networks

³ Mobile Ad-hoc Networks

⁴ Intelligent Transport Systems

⁵ Links

هر خوشه دارای یک سرخوشه (CH)^۱ است که توسط گره‌های دیگر خوشه که گره عضو (CM)^۲ نامیده می‌شوند، انتخاب می‌گردد. سرخوشه ضمن تعامل با سایر اعضا، داده آن‌ها را دریافت می‌کند و پس از پردازش ابتدایی، برای مقصد مربوط که می‌تواند خودرویی در همان خوشه یا سایر خوشه‌های شبکه باشد، ارسال می‌نماید. بنابراین ارتباطات موجود را می‌توان به دو دسته ارتباطات درون-خوشه‌ای^۳ و بین-خوشه‌ای^۴ افزایش کرد. در داخل هر خوشه، سرخوشه موظف به مدیریت اعضای خوشه، کنترل ترافیک، کنترل دسترسی به رسانه انتقال و تضمین کیفیت سرویس‌دهی (QoS)^۵ است، در حالی که در صورت استفاده از شبکه‌های بین-خودرویی با مقیاس وسیع، سرخوشه‌ها به کمک واحدهای کنار جاده (RSU)^۶ یک ستون فقرات پویا را برای مدیریت عملکردهای اساسی مانند مسیریابی و تخصیص کانال تشکیل می‌دهند.

به دلیل تحرک سریع گره‌ها، یک خوشه‌بندی کارآمد نه تنها باید تعداد سرخوشه‌ها را به حداقل برساند، بلکه باید از پایداری بالایی نیز برخوردار باشد. اغلب الگوریتم‌های خوشه‌بندی مطرح در شبکه‌های بین-خودرویی براساس مخابرات تک-پرشی^۷ عمل می‌کنند [۱۰]. این شیوه، فضای پوشش‌دهی هر خوشه را محدود می‌کند که باعث افزایش تعداد خوشه‌ها و افزایش سرباری بازسازی و نگهداری آن‌ها می‌شود. این در حالی است که با بهره‌گیری از الگوریتم‌های مبتنی بر مخابرات چند-پرشی^۸ می‌توان فضای پوشش‌دهی خوشه‌ها را گسترش داد و به مزایای بیشتری در مقایسه با خوشه‌های تک-پرشی دست یافت [۱۱ و ۱۲].

با توجه به چالش‌های بیان‌شده، این مقاله به بهبود عملکرد شبکه‌های اقتضایی بین-خودرویی با حل توأم سه مسئله خوشه‌بندی چند-پرشی، تعیین سرخوشه و مسیریابی توزیعی می‌پردازد. بدین منظور، الگوریتم کارآمدی موسوم به مسیریابی و خوشه‌بندی چند-پرشی توأم (JMCR)^۹ پیشنهاد می‌شود که مبتنی بر یک معماری دوسطحی است. در سطح اول شبکه، با در نظر گرفتن هم‌زمان دو معیار سرعت نسبی و فاصله اقلیدوسی، وسایل نقلیه به شکل کارآمدی خوشه‌بندی می‌شوند. در سطح دوم، سرخوشه‌ها

با ایستگاه‌های پایه کنار جاده‌ای در ارتباط بوده، از طریق زیرساخت LTE^{۱۰} وظیفه انتشار داده تولیدشده در یک منطقه جغرافیایی وسیع را برعهده دارند. هر گره شبکه دارای پایگاه داده‌ای برای مسیریابی درون-خوشه‌ای است که از نوع آرایه لیست پیوندی دوطرفه می‌باشد و در طول اجرای الگوریتم، براساس شرایط پویای شبکه به‌روزرسانی و تکمیل می‌شود. تشکیل توزیعی مسیرهای مختلف یک درخت درون-خوشه، از سمت گره‌های مرزی خوشه شروع شده، تا سرخوشه ادامه می‌یابد.

ساختار این مقاله به ترتیب زیر سازماندهی شده است: بخش ۲ به مرور الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرشی موجود در شبکه‌های بین-خودرویی می‌پردازد. در بخش ۳ مدل شبکه و مفروضات مورد استفاده تشریح می‌شوند. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی برای کاهش تأخیر و کاهش سرباری در شبکه‌های بین-خودرویی، به تفصیل در بخش ۴ معرفی می‌گردد. بخش ۵ به شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرشی ارائه‌شده در مراجع [۱۲ و ۱۳] می‌پردازد. در نهایت، در بخش ۶ نتایج به‌دست‌آمده از این مقاله ارائه خواهد شد.

۲- نگاهی به انواع الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرشی

در سال‌های اخیر، در مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم از جمله شبکه‌های بین-خودرویی، مطالعات متنوعی انجام شده است که برخی به ارائه الگوریتم‌های ابتکاری و برخی دیگر به ارائه راه‌حل‌های بهینه می‌پردازند [۲، ۱۴ و ۱۵]. مطالعات موجود در ارتباط با الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی چند-پرشی در شبکه‌های بین-خودرویی را می‌توان به دو دسته روش‌های وابسته به سرویس‌های مکان‌یاب و روش‌های مستقل از سرویس‌های مکان‌یاب تقسیم کرد [۱۶].

۲-۱- الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرشی مستقل از سرویس مکان‌یاب

در این رویکرد، فرایند خوشه‌بندی به استفاده از سرویس‌های مکان‌یاب وابسته نیست و روش‌های دیگری همچون تعقیب همسایگی، ساختار سلسله‌مراتبی و نرخ

⁶ Road Side Unit

⁷ Single-hop communication

⁸ Multi-hop communication

⁹ Joint Multi-hop Clustering and Routing

¹⁰ Long-Term Evolution

¹ Cluster Head

² Cluster Member

³ Intra-cluster

⁴ Inter-cluster

⁵ Quality of Service

سه معیار درجه دنبال کردن، تعداد انتقال مورد نیاز و طول عمر پیوند سنجیده می‌شود. همچنین الگوریتم PMC از تعداد دنبال‌کنندگان و متوسط تحرک نسبی به‌عنوان معیارهای انتخاب سرخوشه استفاده می‌کند.

۲-۲- الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرسی وابسته به سرویس مکان‌یاب

در این دسته از الگوریتم‌ها با استفاده از سرویس‌های مکان‌یاب جهانی همچون GPS^۴، اطلاعاتی مانند سرعت، مکان و جهت حرکت گرہ‌ها در فرایند خوشه‌یابی در نظر گرفته می‌شود [۱۲ و ۱۹-۲۱]. در مرجع [۱۲] نویسندگان به معرفی یک معماری ترکیبی با نام VMaSC-LTE می‌پردازند. این معماری، ترکیبی از خوشه‌بندی چند-پرسی مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11p، سیستم سلولی نسل چهارم و LTE بوده که به دنبال دستیابی به نرخ بالای تحویل بسته و تأخیر کم با حفظ کاربرد معماری سلولی در حداقل سطح است. در شمای پیشنهادی، انتخاب سرخوشه براساس معیار تحرک نسبی متوسط با توجه به وسایل نقلیه همسایه انجام می‌شود. از ویژگی‌های خوشه‌بندی مورد استفاده در این مرجع می‌توان به انتخاب خوشه با حداقل سرباری، انتشار اطلاعات عضو خوشه در بسته‌های سلام دوره‌ای، خوشه‌بندی واکنشی برای حفظ ساختار خوشه بدون مصرف بیش از حد منابع و بهره‌گیری از روش‌های ادغام خوشه محدود به تعداد پرس معین اشاره کرد.

در مرجع [۱۹] از یک الگوریتم کارآمد خوشه‌بندی مبتنی بر معیار حساسیت با عنوان CCA^۵ برای شبکه‌های بین-خودرویی استفاده می‌شود. معیار حساسیت، معیاری است که میزان پایداری گراف شبکه را در برابر تغییرات محیطی، مانند تغییرات توپولوژی و تغییرات الگوی ترافیکی نشان می‌دهد. اگرچه الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن زمان انقضای پیوندهای بین-خوشه‌ای، پایداری خوشه‌ها را بهبود می‌بخشد، برای وسایل نقلیه پرسرعت و در محیط‌هایی با تراکم بالا کارآمد نیست. تحقیق انجام‌شده در مرجع [۲۰]، الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر منطق فازی توسعه‌یافته (CHSA_{FL})^۶ را برای شبکه‌های بین-خودرویی پیشنهاد می‌کند. CHSA_{FL} در فرایند تشکیل خوشه، از مقدار

تأخیر انتقال بسته برای دستیابی به مکان سرخوشه و گرہ‌های عضو اتخاذ می‌شود [۹، ۱۳، ۱۷ و ۱۸]. محققان در [۹] یک روش خوشه‌بندی چند-پرسی توزیع‌شده مستقل از سرویس مکان‌یاب را که مبتنی بر تعقیب همسایگی (DMCNF)^۱ است پیشنهاد می‌دهند که ضمن راه‌اندازی سریع شبکه، از پایداری بالایی برخوردار است. در این روش، هر وسیله نقلیه، سرخوشه خود را با تعقیب پایدارترین وسیله نقلیه در همسایگی تک-پرسی خود انتخاب می‌کند. بنابراین وسایل نقلیه فقط نیاز به ارتباط منظم با همسایگان تک-پرسی برای به‌روزرسانی اطلاعات تعقیب همسایگی و نگهداری خوشه‌ها دارند. این مزیت، امکان استفاده از روش فوق را در شبکه‌های بین-خودرویی با مقیاس وسیع میسر می‌کند. نویسندگان در مرجع [۱۳]، از تأخیر انتقال بسته‌ها به‌عنوان معیاری برای سنجش تحرک نسبی بین وسایل نقلیه با فاصله چند-پرسی استفاده می‌کنند. بدین منظور، وسایل نقلیه به‌صورت دوره‌ای پیام‌های beacon را همه پخش می‌نموده تا از نرخ تأخیر انتقال بسته بین دو پیام beacon متوالی برای محاسبه تحرک نسبی بین دو وسیله نقلیه استفاده شود. وسیله نقلیه‌ای که از کمترین تحرک نسبی در بین همسایگان چند-پرسی خود برخوردار باشد، به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود.

در مرجع [۱۷]، محققان یک الگوریتم خوشه‌بندی سریع و تصادفی با عنوان خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA)^۲ پیشنهاد می‌دهند که به‌جای انتخاب دقیق سرخوشه‌های آغازین و ساخت پایدارترین خوشه، تلاش می‌کند خوشه‌هایی با سرعت هرچه تمام ایجاد کند. با این حال، HCA با ناکارآمدی‌هایی همراه است که از جمله می‌توان به تداخل درون-خوشه‌ای که باعث از دست دادن پیام‌ها می‌شود یا محدود بودن اندازه خوشه به دو پرس اشاره کرد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، در شبکه‌های بین-خودرویی، تحرک بالای وسایل نقلیه، قابلیت اطمینان پیوند میان گرہ‌ها و پایداری خوشه را کاهش می‌دهد. از این رو، مرجع [۱۸] یک الگوریتم خوشه‌بندی چند-پرسی منفعل به نام PMC^۳ ارائه می‌دهد که برای ایجاد خوشه‌ها از تعقیب همسایه‌هایی که از اولویت بالاتری هستند استفاده می‌کند. تعیین اولویت پایداری و قابلیت اطمینان، توسط

^۴ Global Positioning System

^۵ Criticality-based Clustering Algorithm

^۶ Fuzzy Logic based Clustering Head Selection Algorithm

^۱ Distributed Multi-hop Clustering algorithm for VANETs based on Neighborhood Follow

^۲ Hierarchical Clustering Algorithm

^۳ Passive Multi-hop Clustering

وابستگی که بیانگر نزدیکی وسیله نقلیه تا RSU است، استفاده می‌نماید. بنابراین هر وسیله نقلیه با توجه به سطح وابستگی و جهت حرکتش، در اولین منطقه پوششی RSU به خوشه متصل می‌شود. در این الگوریتم، همچنین از سرعت، فاصله و شتاب، به‌عنوان ورودی‌های سیستم استنتاج فازی برای تعیین سرخوشه در خوشه‌ها استفاده می‌گردد.

نویسندگان مرجع [۲۱] یک روش خوشه‌بندی چند-پرشی با عنوان MCA-V2I^۱ پیشنهاد می‌کنند که در آن از دروازه های RSU برای دسترسی وسایل نقلیه به اینترنت استفاده می‌شود. هر گره پس از اتصال به اینترنت، با بهره‌گیری از الگوریتم جست‌وجوی سطح اول (BFS)^۲ برای پیمایش گراف شبکه، اطلاعات همسایگان خود را به اشتراک می‌گذارد. در روش پیشنهادی، علاوه بر سرخوشه اصلی، یک سرخوشه خدمتکار برای تقویت بیشتر پایداری خوشه تعریف می‌شود. از دیگر ویژگی MCA-V2I می‌توان به کاهش قابل توجه پیام‌های کنترلی مورد استفاده در فرایند خوشه‌بندی و در نتیجه، کاهش سرباری اشاره کرد.

محققان در مرجع [۲۲] الگوریتم خوشه‌بندی چند-پرشی توزیعی مبتنی بر تحرک با عنوان DMMCA^۳ برای سناریوی بزرگراه پیشنهاد می‌کنند. این الگوریتم از معیارهای جهت حرکت، سرعت نسبی و موقعیت نسبی وسایل نقلیه برای خوشه‌بندی چند-پرشی استفاده می‌کند. طرح پیشنهادی با صرف‌نظر کردن از همه‌پخشی مجدد بسته‌های سلام غیرضرور، سرباری خوشه‌بندی را کاهش می‌دهد. از طرفی، نویسندگان معیار جدیدی برای انتخاب سرخوشه با عنوان طول عمر پیوند چند-پرشی (MLLT)^۴ پیشنهاد می‌دهند که براساس موقعیت نسبی و سرعت نسبی تمام همسایگان هم‌جهت با گره نامزد سرخوشگی تعریف می‌شود. اگرچه الگوریتم DMMCA منجر به افزایش پایداری خوشه‌ها و کاهش سرباری خوشه‌بندی می‌شود، برای شبکه‌های متراکم شهری مناسب نیست.

در مرجع [۲۳] الگوریتمی موسوم به خوشه‌بندی برای ارتباط چند-پرشی کارآمد وسایل نقلیه (CAMVC)^۵ برای سناریوی بزرگراه ارائه می‌شود. این الگوریتم از معیارهای

درجه نزدیکی به مرکز خوشه، سرعت، شتاب و موقعیت وسیله نقلیه استفاده می‌کند. طرح پیشنهادی با به‌کارگیری الگوریتم خوشه‌بندی مکانی مبتنی بر تراکم در کاربردهای دارای نویز (DBSCAN)^۶ برای پیکربندی خوشه، استفاده از کنترل فازی برای انتخاب سرخوشه و یافتن بهترین دروازه‌ها، طول عمر خوشه را افزایش می‌دهد.

۲-۳- الگوریتم‌های خوشه‌بندی در سایر شبکه‌های

بی‌سیم

علاوه بر روش‌های خوشه‌بندی توصیف‌شده برای شبکه‌های اقتضایی بین-خودرویی، الگوریتم‌های خوشه‌بندی کارآمدی نیز در سایر شبکه‌های بی‌سیم چند-پرشی ارائه شده است [۲۴-۲۷]. به‌عنوان مثال، مرجع [۲۴] از یک روش توزیعی مبتنی بر کنترل توان با عنوان پروتکل مسیریابی چند-پرشی و خوشه‌بندی (CMRP)^۷ در شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۸ استفاده می‌کند. در این روش، سرخوشه‌ها براساس مقدار انرژی باقیمانده حسگرها انتخاب می‌شوند. از طرفی، گره‌های حسگر به نحوی به هر خوشه می‌پیوندند که هزینه ارتباطاتی آن‌ها به حداقل برسد. CMRP از الگوریتمی کنترل توانی با عنوان تخمین پویای موقعیت همسایگان بین-خوشه‌ای (DCNPE)^۹ برای صرفه‌جویی در انرژی استفاده می‌کند.

در مرجع [۲۵] نویسندگان با در نظر گرفتن معیارهایی همچون طول عمر شبکه، پوشش‌دهی، قابلیت اطمینان و مصرف انرژی، الگوریتم مسیریابی و خوشه‌بندی چند-پرشی کارآمدی با عنوان EEMCR^{۱۰} پیشنهاد می‌دهند. این الگوریتم برپایه ترکیب دو روش تغییر موقعیت (چرخش) سرخوشه و ساخت ستون فقرات ارائه شده است. تغییر موقعیت (چرخش) سرخوشه منجر به توزیع یکنواخت مصرف انرژی و تنظیم مناسب اندازه خوشه‌ها در شبکه می‌شود. همچنین ساخت ستون فقرات برای ایجاد حداقل درخت تجمیع در محدوده سرخوشه‌های نامزد مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین طرح پیشنهادی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با مقیاس بزرگ مناسب است.

مرجع [۲۶] یک روش خوشه‌بندی و مسیریابی با عنوان JCR^{۱۱} برای جمع‌آوری قابل اطمینان و کارآمد داده در

^۶ Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

^۷ Clustering and Multihop Routing Protocol

^۸ Wireless Sensor Networks

^۹ Dynamic Inter-Cluster Neighbor Position Estimation

^{۱۰} Evidence-Efficient Multihop Clustering Routing

^{۱۱} Joint Clustering and Routing

^۱ Multi-hop Clustering Approach over Vehicle-to-Internet

^۲ Breadth First Search

^۳ Distributed Mobility-Based Multihop Clustering Algorithm

^۴ Multi-hop Link Life Time

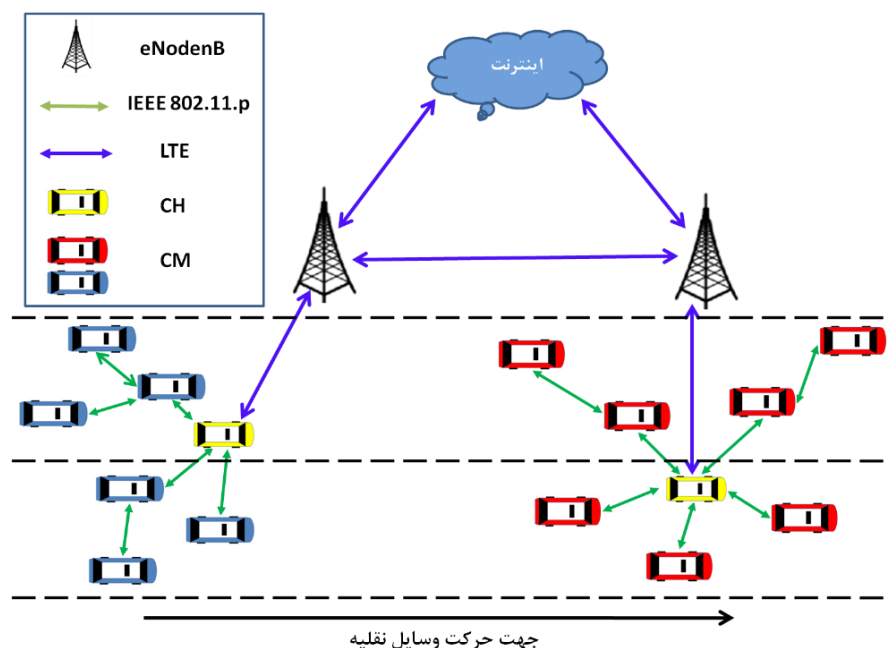
^۵ Clustering Algorithm for efficient Multi-hop Vehicular Communication

مدل شبکه بین-خودرویی مورد استفاده در این مقاله، از معماری ترکیبی IEEE 802.11p-LTE که در مرجع [۱۲] ارائه شده است پیروی می‌کند. بر این اساس، مطابق شکل (۱)، جاده یک‌طرفه‌ای به طول L کیلومتر را در نظر بگیرید که وسایل نقلیه در یک جهت با سرعت‌های متفاوت و ثابت در حال حرکت هستند. معماری مورد استفاده، مبتنی بر یک ساختار دوطرفه‌ای است که در سطح اول، گره‌های شبکه به شکل مناسبی خوشه‌بندی می‌شوند. هر خوشه از یک سرخوشه بهره می‌برد. وسایل نقلیه‌ای که در برد مخابراتی سرخوشه قرار دارند، می‌توانند به‌طور مستقیم با سرخوشه ارتباط برقرار کنند و سایر وسایل نقلیه، گره‌های عضو چند-پرشی محسوب می‌شوند. در سطح دوم، وظیفه انتشار داده تولیدشده در یک منطقه جغرافیایی وسیع برعهده زیرساخت LTE است. در واقع، همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، هر خودرو مجهز به دو واسط ارتباطی IEEE 802.11p و LTE و ایستگاه‌های پایه (eNodeB) مجهز به LTE هستند.

ارتباط بین اعضای خوشه با CH خود تحت استاندارد IEEE 802.11p و ارتباط هر CH با ایستگاه‌های پایه کنار جاده و سایر سرخوشه‌ها از طریق استاندارد LTE انجام می‌شود. بدین ترتیب، شبکه از هر دو مزیت هزینه پایین استاندارد IEEE 802.11p و تأخیر کم و برد وسیع فناوری LTE بهره می‌گیرد.

شبکه‌های حسگر بی‌سیم مقیاس بزرگ ارائه می‌دهد. در این مرجع، محققان به این نتیجه رسیدند که مسیریابی چند-پرشی در JCR می‌تواند منجر به انتخاب نامتوازن سرخوشه شود. بنابراین آن‌ها با هدف کاهش مؤثر سرباری از روش گرادیان در فرایند مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی استفاده کردند. همچنین نویسندگان، یک تحلیل نظری بر روی مسیریابی پیشنهادی انجام می‌دهند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نظری انجام‌شده بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی تأخیر را کاهش و عملکرد شبکه را از نظر بهره‌وری انرژی، اتصال و نرخ تحویل بسته افزایش می‌دهد. مرجع [۲۷] با هدف توازن بار، بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش طول عمر در شبکه‌های اینترنت اشیا، یک الگوریتم مسیریابی پویای چند-پرشی پیشنهاد می‌دهد. این الگوریتم می‌تواند خوشه‌ها را با تأخیر کمی، دقیق و بدون هیچ پیش‌شرطی ایجاد کند. طرح پیشنهادی با بهره‌گیری از الگوریتم دایجسترا برای مسیریابی بین سرخوشه‌ها و اندازه‌گیری پویای انرژی باقیمانده آن‌ها، به طور مؤثری در مصرف انرژی گره‌های سرخوشه صرفه‌جویی می‌کند. جدول ۱ ضمن مقایسه روش‌های خوشه‌بندی/ مسیریابی چند-پرشی مورد مطالعه از منظرهای مختلف، نقاط ضعف و قوت هریک را در مقایسه با راهکار پیشنهادی در این مقاله به تصویر می‌کشد.

۳- مدل شبکه و مفروضات



شکل ۱- نمایشی از معماری دوطرفه‌ای مورد استفاده

جدول ۱- مقایسه روش‌های خوشه‌بندی/ مسیریابی چند-پرسی مورد مطالعه از منظرهای مختلف

مرجع	الگوریتم پیشنهادی	پروتکل MAC	نیاز GPS	سرعت گره‌ها	نوع شبکه	معیار انتخاب سرخوشه	مزایا مسیریابی/خوشه بندی پیشنهادی	معایب مسیریابی/خوشه بندی پیشنهادی
[۹]	DMCNF	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی مقیاس بزرگ	متوسط تحرک نسبی و تعداد دنبال کنندگان	سرعت راه‌اندازی شبکه	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - احتمال برخورد بالا به خصوص در شرایط متراکم
[۱۲]	VMaSC-LTE	CSMA/CA و DCF	دارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی بزرگراه و شهری	متوسط تحرک نسبی	- خوشه‌بندی واکنشی - انتخاب خوشه با حداقل سرباری - تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - نرخ برخورد بالا به خصوص در سناریوهای متراکم
[۱۳]	NHOP	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	تحرک نسبی	- کاهش اثرات محوشدگی به دلیل استفاده از معیار تأخیر انتقال بسته‌ها	- نرخ پایین تحویل بسته‌ها در محیط‌های متراکم - نیاز به هماهنگی دقیق وسایل نقلیه - سربار کنترلی زیاد
[۱۷]	HCA	TDMA	ندارد	۱۵-۳۰ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	وقفه تصادفی	- سرعت تشکیل خوشه - عدم نیاز به آگاهی از مکان وسایل	- سربار کنترلی زیاد - تداخل درون-خوشه‌ای بالا
[۱۸]	PMC	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	تعداد دنبال کنندگان و متوسط تحرک نسبی	- مدیریت گره‌های عضو به شیوه توزیعی - عدم نیاز به GPS - سربار کنترلی کم	- ناکارآمدی در لایه MAC و شبکه
[۱۹]	CCA	در مرجع اشاره نشده است.	دارد	۲۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی در محیط‌های کم تراکم	بحرانی بودن شبکه	- پایداری بالا خوشه‌ها - سربار کنترلی متوسط	- ناکارآمدی در محیط‌های متراکم - عدم بررسی پوشش‌دهی و مقیاس‌پذیری - عدم تضمین قابلیت اطمینان
[۲۰]	CHSA _{FL}	CSMA/CA	دارد	۳۰-۱۲۰ (km/h)	شبکه‌های بین-خودرویی در بزرگراه	سرعت، شتاب، فاصله و جهت	- مناسب برای بزرگراه چند-خطه و دوطرفه - مناسب برای وسایل نقلیه با سرعت کم و زیاد	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - تأخیر بالا
[۲۱]	MCA-V2I	CSMA/CA	دارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی مقیاس بزرگ	متوسط سرعت نسبی، فاصله، پایداری پیوند	- سربار کنترلی کم - پایداری خوشه	- عدم ارائه یک پروتکل مسیریابی کارآمد

[۲۲]	DMMCA	CSMA/CA	دارد	۲۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین- خودرویی در بزرگراه	طول عمر پیوند	- سربار کنترلی کم - در نظر گرفتن پایداری پیوندها	- ناکارآمدی در شبکه‌های متراکم شهری - عدم بررسی مقیاس‌پذیری
[۲۳]	CAMVC	CSMA/CA	دارد	-۹۰ ۱۲۰ (km/h)	شبکه‌های بین- خودرویی در بزرگراه	فاصله، سرعت، شتاب و موقعیت خودرو	- طول عمر خوشه - انتخاب مناسب گره‌های دروازه	- نرخ برخورد بالا و ناکارآمدی در محیط‌های متراکم
[۲۴]	CMRP	TDMA+ CSMA/CA	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم	انرژی باقیمانده و متوسط توان ارسالی	- مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی چند-پرشی - طول عمر شبکه بالا - مصرف انرژی پایین	- فقط ارتباطات بین-خوشه ای مورد ارزیابی قرار گرفته است.
[۲۵]	EEMCR	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم با مقیاس بزرگ	انرژی باقیمانده و فاصله اقلیدوسی	- حداقل‌سازی هزینه درخت تجمیع - مقیاس‌پذیری - توزیع یکنواخت مصرف انرژی	- طول عمر متوسط در شرایط کم تراکم - عدم توجه به پروتکل دسترسی به کانال
[۲۶]	JCR	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم با مقیاس بزرگ	انرژی باقیمانده و تعداد همسایگان	- مقیاس‌پذیری - جمع‌آوری قابل اطمینان و کارآمد داده - سربار مسیریابی کم - نرخ تحویل بسته بالا	- انتخاب نامتوازن سرخوشه - کاهش طول عمر با افزایش سائز شبکه
[۲۷]	GMM	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های اینترنت اشیاء	توزیع فیزیکی و انرژی باقیمانده گره‌ها	- پویایی مسیریابی - طول عمر شبکه بالا - شکل‌گیری حداقل خوشه	- متمرکز بودن الگوریتم - عدم توجه به پروتکل دسترسی به کانال - پیچیدگی الگوریتم ژنتیک

ارسال داده فقط از طریق درخت مسیریابی مشخص‌شده داخل خوشه محقق می‌شود، در غیر این صورت، بسته داده با بهره‌گیری از درخت مسیریابی شکل گرفته در سطح دوم شبکه و eNodeB ها، به CM مقصد تحویل داده خواهد شود.

۴- الگوریتم مسیریابی و خوشه‌بندی چندپرشی توأم (JMCR)

در این بخش، به تشریح الگوریتم کارآمدی با عنوان مسیریابی و خوشه‌بندی چند-پرشی توأم (JMCR) می‌پردازیم که توأمان به خوشه‌بندی شبکه، تعیین سرخوشه و ایجاد درخت مسیریابی برای هر خوشه می‌پردازد. این الگوریتم با بهبود اساسی الگوریتم VMaSC-LTE [۱۲]، وسایل نقلیه موجود در شبکه را به‌نحوی خوشه‌بندی می‌کند.

فرض بر آن است که همه گره‌ها مجهز به آنتن‌های همه‌جته هستند که با توان برابر به ارسال و دریافت داده می‌پردازند [۲۸]. برد مخابراتی گره‌ها در سطح اول شبکه برابر R_1 و در سطح دوم شبکه برابر R_2 فرض می‌شود. بر این اساس، شبکه توسط گراف $G(V, E)$ مدل شده که در آن مجموعه V شامل گره‌های شبکه و مجموعه E بیانگر پیوندهای دوطرفه بی‌سیم بین گره‌های شبکه هستند. وجود پیوند (x, y) بین دو گره $x \in V$ و $y \in V$ به این معنی است که این دو گره در برد مخابراتی یکدیگر قرار دارند و می‌توانند به‌طور مستقیم به تبادل داده با یکدیگر بپردازند. ترافیک داده مدّظر، از نوع تک‌پخشی^۱ است که می‌تواند از یک CM به CM دیگر یا از یک CH به CM و برعکس باشد. در مسیریابی ترافیک داده از یک CM به CM دیگر، چنانچه گره‌های فرستنده و گیرنده در یک خوشه باشند،

^۱ Unicast

$$ARS(i) = \frac{\sum_{j \in N(i)} |v(i) - v(j)|}{|N(i)|}, \quad (2)$$

که در آن، $N(i)$ مجموعه وسایل نقلیه همسایه با گره i است که تعداد پرشی کمتر یا برابر با MAX_HOP نسبت به این گره دارند و $|N(i)|$ تعداد اعضای این مجموعه است. همچنین اگر (x_i, y_i) مختصات گره i ، (x_j, y_j) مختصات گره همسایه j و (x_c^i, y_c^i) مختصات نقطه مرکزی بین مجموعه گره i و همسایگان آن باشد، برای $d_c(i)$ می‌توان نوشت:

$$d_c(i) = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2}, \quad (3)$$

که

$$x_c^i = \frac{1}{|N(i)| + 1} (x_i + \sum_{j \in N(i)} x_j), \quad (4)$$

$$y_c^i = \frac{1}{|N(i)| + 1} (y_i + \sum_{j \in N(i)} y_j). \quad (5)$$

بدین ترتیب، معیار پیشنهادی با در نظر گرفتن توأم سرعت نسبی متوسط و فاصله یک گره تا مرکز همسایگان خود، از بین گره‌های نامزد سرخوشه شدن (که در ادامه، نحوه تعیین آن‌ها به تفصیل بیان خواهد شد) گره‌ای را انتخاب می‌کند که از W_i کمتری برخوردار باشد.

۴-۲- خوشه‌بندی توزیعی وسایل نقلیه

حال با مشخص شدن معیار سنجش هر گره برای نقش سرخوشه بودن، لازم است روش توزیعی تشریح شود که شبکه را خوشه‌بندی کند. در شمای پیشنهادی، پرو الگوریتم VMaSC-LTE [۱۲]، پنج حالت برای هریک از وسایل نقلیه موجود در شبکه تعریف می‌شود: SE^۴، IN^۵، CH، CM و ISO-CH^۴. هر وسیله نقلیه در ابتدای فعالیت خود در حالت IN قرار دارد؛ بدین معنی که هنوز هیچ مسئولیتی برعهده نگرفته است. حالت SE، حالت گذرایی است که در آن، وسیله نقلیه براساس پایگاه داده خود (VIB)^۵ که دربرگیرنده کلیه اطلاعات محلی آن است، درباره حالت بعدی تصمیم‌گیری می‌کند [۱۲]. به محض تغییری در اطلاعات وسیله نقلیه یا دریافت یک بسته سلام دوره‌ای از هریک از همسایگانی که در داخل محدوده حداکثر پرش مجاز (MAX_HOP) هستند، VIB

کند که ضمن کاهش تعداد خوشه‌ها و کاهش سرباری، حداکثر پایداری خوشه حاصل شود. برای هر خوشه، سرخوشه‌ای تعیین شده که توسط یک درخت مسیریابی به سایر اعضای خوشه متصل می‌گردد.

۴-۱- معیار سنجش قابلیت سرخوشه شدن یک گره

از آنجایی که گره‌های سرخوشه موظف به مدیریت اعضای خوشه و تضمین کیفیت سرویس‌دهی هستند، نحوه انتخاب آن‌ها نقش بسزایی در کارایی شبکه ایفا می‌کند. به دلیل تحرک زیاد گره‌ها، یک خوشه‌بندی کارآمد نه تنها باید تعداد سرخوشه‌ها را به حداقل برساند، بلکه لازم است از پایداری بالایی نیز برخوردار باشد. در این ارتباط، اختلاف سرعت کمتر یک سرخوشه نسبت به اعضای خود، عامل مهمی است که پایداری بیشتر آن خوشه را تضمین می‌کند. در کنار این مهم، هرچه یک سرخوشه فاصله کمتری نسبت به اعضای خوشه خود داشته باشد، عمق درخت مسیریابی درون-خوشه کاهش یافته، دسترسی گره‌های عضو به سرخوشه با تعداد پرش کمتری میسر می‌شود. در مقابل، سرخوشه شدن گره‌های مجاور مرز خوشه که فاصله زیادی از مرکز خوشه دارند، باعث افزایش سرباری مسیریابی و کند شدن دسترسی اعضا به سرخوشه می‌گردد.

با در نظر گرفتن ملاحظات فوق، الگوریتم JMCR از معیار W_i برای سنجش قابلیت سرخوشه شدن گره i استفاده می‌کند:

$$W_i = ARS(i)^\alpha \times d_c(i)^\beta, \quad (1)$$

که در آن، ARS_i ^۱ متوسط اختلاف سرعت گره i در مقایسه با همسایگانی است که تعداد پرشی کمتر یا برابر با MAX_HOP دارند و $d_c(i)$ فاصله اقلیدوسی گره i تا مرکز همسایگان خود است. α و β نیز ضرایب باینری هستند که نقش کنترل هریک از عوامل معیار پیشنهادی را ایفا می‌کنند. طبیعی است با فرض $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ ، پایداری بیشتر و با فرض $\alpha = 0$ و $\beta = 1$ سرباری مسیریابی کمتری حاصل می‌شود.

با توجه به فرض حرکت هم‌جهت وسایل نقلیه و با در نظر گرفتن سرعت $v(i)$ و $v(j)$ برای دو وسیله نقلیه i و j ، مقدار $ARS(i)$ از رابطه (۲) به دست می‌آید:

^۴ Isolated Cluster Head
^۵ Vehicle Information Base

^۱ Average Relative Speed
^۲ Initial
^۳ State Election

کمتر از MAX_MEMBER_{CM} باشد. با برقراری شرایط فوق، گره CM یا CH یک پیام JOIN_REP به گره SE ارسال می‌کند که به منزله موافقت با پیوستن آن گره SE به CH یا CM است. با دریافت این پیام، وسیله نقلیه از حالت SE به حالت CM می‌رود و گره والد خود را در درخت مسیریابی خوشه شناسایی می‌کند.

با مشخص شدن یک سرخوشه، آن سرخوشه بسته تبلیغاتی CH_ADV را جهت اعلام سرخوشگی برای همسایگان خود ارسال می‌کند. این بسته توسط هریک از همسایگان، تا حداکثر پرش مجاز MAX_HOP انتشار می‌یابد. بدین ترتیب، تمام گره‌هایی که بتوانند به آن پیوندند نقش CM گرفته، خوشه تشکیل می‌شود. اگر تعداد وسایل نقلیه عضو متصل به یک CH برای مدت زمان CH_TIMER صفر باشد، آن CH حالت خود را با اتصال به خوشه‌های دیگر از CH به SE تغییر می‌دهد.

چنانچه در همسایگی یک وسیله نقلیه هیچ گرهی در حالت CH، CM یا SE وجود نداشته باشد، آن وسیله نقلیه از حالت SE به حالت ISO_CH می‌رود. وسیله نقلیه با حالت ISO_CH، با یافتن گره CM یا CH که در VIB وجود ندارد، به حالت SE می‌رود؛ اما اگر یک گره عضو در مدت زمان سنج وسیله نقلیه در حالت ISO_CH (ISO_CH_TIMER) پیدا شود، به حالت CH می‌رود. چنانچه هیچ تغییر حالتی نتواند در SE انجام شود، وسیله نقلیه برای یک مدت مشخص شده توسط SE_TIMER در حالت SE باقی می‌ماند. سپس مجدداً فرایند شروع زمان سنج SE_TIMER و تصمیم‌گیری برای حالت بعدی اجرا می‌شود.

طبق طرح پیشنهادی در [۱۲] هر سرخوشه، اطلاعات مورد نیاز را از جمله شناسه خود و شناسه گره‌های والد و اعضای خوشه خود را در داخل ساختمان داده‌ای به نام CLUSTER_INFO ذخیره می‌کند. دو سرخوشه همسایه اگر طی $MERGE_TIMER$ همچنان همسایه باقی بمانند، اطلاعات CLUSTER_INFO و W_i خود را با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند. سرخوشه‌ای که از W_i بالاتر برخوردار است، از نقش CH خود انصراف داده، به CH با W_i پایین‌تر متصل می‌شود و حالت خود را از CH به CM

به‌روزرسانی می‌شود. در حالت CH، وسیله نقلیه نقش سرخوشه می‌گیرد. در حالت CM، وسیله نقلیه عضو یک خوشه می‌شود. در نهایت، حالت ISO-CH، حالتی است که وسیله نقلیه در همسایگی خود هیچ گره دیگری را برای پیوستن به یک خوشه پیدا نمی‌کند و تا زمان پیوستن به خوشه، موقتاً در این حالت باقی می‌ماند.

در ابتدا، هر وسیله نقلیه برای مدتی که توسط زمان سنج های IN_TIMER_1 و IN_TIMER_2 تعیین می‌شود، در حالت IN می‌ماند. در مدت زمان IN_TIMER_1 ، سرعت و مختصات وسیله نقلیه به بسته سلام که حاوی اطلاعات VIB است، پیوست می‌شود. پس از آن، زمان سنج IN_TIMER_2 راه‌اندازی می‌شود. هر وسیله نقلیه ضمن به‌روزرسانی جدول VIB، این بسته را به همسایگان خود ارسال می‌کند. گره‌های همسایه پس از دریافت بسته سلام، تعداد پرش طی شده این بسته^۱ (TTL) را با حداکثر تعداد پرش مجاز MAX_HOP مقایسه و در صورت کمتر بودن TTL، آن را همه‌پخشی می‌کنند. پس از تبادل بسته‌های سلام و پایان یافتن زمان سنج IN_TIMER_2 ، حالت وسایل نقلیه به SE تغییر می‌یابد [۱۲].

انتخاب سرخوشه براساس معیار پیشنهادی از بین گره‌هایی است که در حالت SE بوده، نتوانند به هیچ CH یا CM همسایه متصل شوند. بدین منظور، هر گره i در حالت SE با بررسی جدول VIB خود، ابتدا به دنبال گره‌ای با حالت CH یا CM برای پیوستن به آن می‌گردد. اگر هیچ CH یا CM همسایه‌ای وجود نداشته، در صورتی که گره i نسبت به همسایگان خود، W_i کمتری داشته باشد، اعلام سرخوشه بودن می‌کند و از حالت SE به CH تغییر وضعیت می‌دهد. اگر در همسایگی گره i ، گره‌هایی با حالت CM وجود داشته باشند، این گره به CM با کمترین W_i می‌پیوندد تا از طریق آن به CH در فاصله چند-پرسی متصل شود. گره با یافتن همسایه‌ای که در حالت CM یا CH باشد، پیام JOIN_REQ مبنی بر درخواست پیوستن به آن را ارسال می‌کند. گره CM یا CH همسایه با دریافت JOIN_REQ از گره SE، شرط پیوستن آن را به خود بررسی می‌کند. شرط پیوستن به یک CH آن است که تعداد اعضای آن کمتر از MAX_MEMBER_{CH} باشد. همچنین شرط پیوستن به یک CM آن است که تعداد عضو متصل به آن،

^۱ Time To Live

تغییر می‌دهد. برای ادغام دو خوشه باید تعداد اعضای CH، تعداد CM ها و تعداد پرش در خوشه ادغام‌شده به ترتیب کمتر از MAX_MEMBER_{CH} ، MAX_MEMBER_{CM} و MAX_HOP باشد.

۳-۴- تشکیل و به‌روز رسانی پایگاه داده مسیریابی

در فرایند مذکور، ضمن تشکیل هر خوشه و مشخص شدن سرخوشه آن، هر گره CM از شناسه والد و فرزندان خود آگاهی پیدا می‌کند. این به‌منزله تشکیل یک درخت مسیریابی در داخل خوشه است که ریشه آن درخت، CH خوشه می‌باشد. در این ارتباط، هر گره شبکه دارای پایگاه داده‌ای برای مسیریابی است که از نوع آرایه لیست پیوندی دوطرفه می‌باشد و در طول اجرای الگوریتم، به‌روزرسانی و تکمیل می‌شود. در این صورت، در پایان اجرای الگوریتم، هر گره با یک جست‌وجوی ساده در لیست‌های پیوندی دوطرفه خود می‌تواند گره واسط در گام بعدی را پیدا کند و از طریق آن، داده خود را گام به گام به مقصد برساند. شکل (۲) نمودار گردشی^۱ طرح پیشنهادی برای به‌روزرسانی و تکمیل پایگاه داده مسیریابی در هر گره را به تصویر می‌کشد.

مطابق شکل (۳)، پایگاه داده مسیریابی هر گره مشتمل بر یک ساختار ایستا (آرایه) و یک ساختار پویا (لیست پیوندی) است. آرایه، ساختمان داده‌ای متشکل از چند عنصر است که موقعیت هر عنصر در حافظه توسط یک اندیس مشخص می‌شود. لیست پیوندی دوطرفه نیز مجموعه‌ای از عناصر داده است که در کنار یکدیگر تشکیل یک دنباله می‌دهند. هریک از این عناصر شامل یک بخش داده، یک بخش اشاره‌گر به عنصر قبلی خود و یک بخش اشاره‌گر به عنصر بعدی خود است. لیست پیوندی توسط اشاره‌گر HEAD که آدرس اولین عنصر لیست را در خود ذخیره می‌کند، قابل دسترس است. اشاره‌گر آخرین عنصر لیست پیوندی نیز برابر null (تهی) است که به معنی انتهای لیست می‌باشد. از مزایای مهم لیست پیوندی دوطرفه می‌توان به درج و حذف عناصر از هر موقعیت دنباله و همچنین حرکت در میان عناصر از چپ به راست و برعکس اشاره کرد.

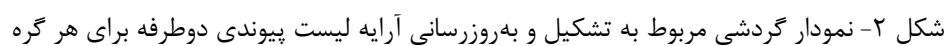
برای پایگاه داده مسیریابی گره i ، در بخش داده گره اول از لیست‌های پیوندی دوطرفه متصل به آرایه، شناسه یکی از فرزندان گره i در درخت مسیریابی قرار می‌گیرد. به

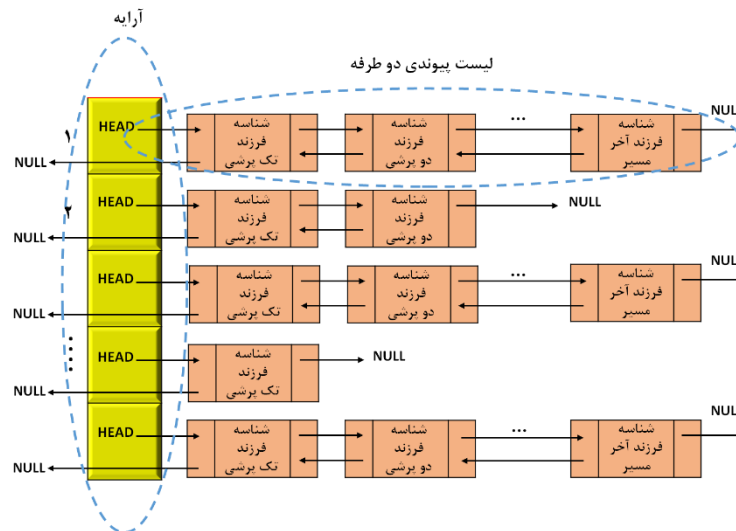
همین ترتیب، اگر j اندیس عناصر لیست پیوندی باشد، در بخش داده عنصر j ام هر لیست پیوندی دوطرفه، شناسه فرزند j -پرشی گره i قرار می‌گیرد. با دقت بیشتر به ساختار آرایه لیست پیوندی دوطرفه اختصاص‌یافته به گره i می‌توان دریافت که هر لیست پیوندی، معادل یکی از شاخه‌های زیردرختی است که ریشه آن زیردرخت، گره i می‌باشد. درنتیجه، درخت خوشه، درختی است که ریشه آن CH و شاخه‌های آن همان لیست‌های پیوندی اختصاص یافته به سرخوشه هستند. از آنجایی که مجموع تعداد فرزندان در هر مسیر متصل به گره i در درخت، متفاوت است، طول هر لیست پیوندی نیز می‌تواند متفاوت با سایرین باشد. مسلماً با فرض حداکثر تعداد فاصله پرشی تا سرخوشه برابر با MAX_HOP ، حداکثر طول هر لیست پیوندی برابر MAX_HOP خواهد شد.

برای روشن‌تر شدن مسئله، شکل (۴) را که نمایشی از درخت مسیریابی یک خوشه و پایگاه داده مسیریابی CH است در نظر بگیرید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اولین عنصر هر لیست پیوندی یکی از فرزندان گره CH در درخت مسیریابی، یعنی گره‌های ۱، ۶، ۱۰ و ۱۲ است. به‌عنوان مثال، سه لیست پیوندی با گره ۶ آغاز شده که بیانگر سه مسیر منتج به این گره در درخت مسیریابی است، شامل مسیر ۱۱-۹-۶، ۸-۹-۶ و ۷-۶. در ادامه لازم است نحوه تشکیل پایگاه داده مسیریابی هر گره تشریح شود. مطابق نمودار گردشی شکل (۲)، ابتدا هر گره عضو فاقد فرزند (هر گره مرزی عضو خوشه)، شناسه خود را در آخرین بخش بسته‌ای به نام RP^2 قرار داده، آن را به گره والد خود ارسال می‌کند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، گره والد گره i گرهی است که در همسایگی تک‌پرشی گره i زودتر از سایر همسایگان در حالت SE نقش CM می‌گیرد و گره i از طریق آن به خوشه می‌پیوندد. مطابق شکل (۵)، بسته RP ، بسته‌ای به طول MAX_HOP و اندازه HOP_2MAX بایت است. در ابتدا خانه‌های این بسته با مقدار صفر، مقداردهی اولیه می‌شوند و در طول مسیر از گره عضو تا سرخوشه به ترتیب از خانه آخر به اول با شناسه‌های گره‌های واسط پر خواهند شد. هر گره عضو خوشه به محض دریافت بسته RP دو اقدام مهم انجام می‌دهد. در اقدام اول، گره، آرایه لیست پیوندی دوطرفه خود را به‌روزرسانی می‌کند.

² Route Packet

¹ Flowchart





شکل ۳- نمایشی از پایگاه داده مسیریابی هر گره

2 Byte	2 Byte	2 Byte	2 Byte
0	1	...	MAX_HOP-1

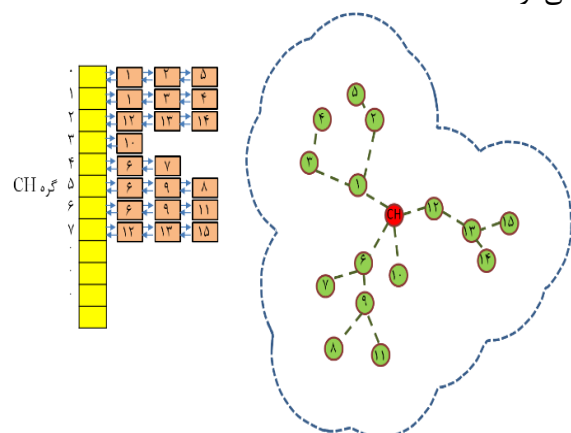
شکل ۵- ساختار بسته RP

در غیر این صورت، یک لیست پیوندی جدید با ایجاد گرهی که اولین خانه خالی آرایه از آرایه لیست پیوندی گره CM به آن اشاره می‌کند ساخته می‌شود. سپس مقدار اولین بخش پر بسته RP در گره اول لیست پیوندی جدید قرار می‌گیرد. پس از آن، مقادیر بخش‌های پر بعدی بسته RP یکی یکی استخراج و به ته لیست پیوندی جدید ایجاد شده اضافه می‌شوند. مطابق نمودار گردش شکل (۲)، با پایان یافتن فرایند به‌روزرسانی آرایه لیست پیوندی گره، نقش گره بررسی می‌شود. اگر گره، CM باشد، شناسه خود را در آخرین بخش خالی بسته RP قرار داده، بسته را به گره والد خود ارسال می‌کند؛ اما اگر گره، CH باشد، بسته RP را دور می‌اندازد و این به‌منزله پایان مسیریابی خوشه است.

به‌منظور درک بهتر مسئله، فرض کنید گره ۱۶ به‌تازگی به خوشه نمایش داده شده در شکل (۴) پیوسته و حالت آن از SE به CM تغییر یافته است. گره ۱۶، شناسه خود را در بسته RP قرار داده، آن را به گره والد خود، یعنی گره ۱۰ ارسال می‌کند (شکل ۶-الف). گره ۱۰، بسته RP را از گره ۱۶ تحویل می‌گیرد. از این رو آرایه لیست پیوندی خود را با اضافه کردن شناسه گره جدید، به‌روزرسانی می‌کند (شکل ۶-ب). سپس گره ۱۰، شناسه خود را در آخرین بخش خالی بسته RP قرار می‌دهد و آن را به سرخوشه می‌فرستد (شکل ۶-ج).

در اقدام دوم، گره، شناسه خود را در آخرین بخش خالی (دارای مقدار صفر) بسته RP قرار داده، آن را به گره والد خود ارسال می‌کند. سرانجام با رسیدن بسته‌های RP به سرخوشه و به‌روزرسانی پایگاه داده آن، بسته‌های RP توسط سرخوشه دور انداخته می‌شوند.

طبق نمودار گردش شکل (۲)، فرایند به‌روزرسانی آرایه لیست پیوندی دوطرفه با جست‌وجوی مقدار بخش $MAX_HOP - 2$ ام بسته RP در آرایه لیست پیوندی گره شروع می‌شود. اگر بخش $MAX_HOP - 2$ ام بسته RP در یکی از لیست‌های پیوندی دوطرفه گره مربوط پیدا شود و گره پیداشده از لیست پیوندی، آخرین گره لیست پیوندی و طول لیست پیوندی کمتر از MAX_HOP باشد، مقدار آخرین بخش بسته RP یعنی بخش $MAX_HOP - 1$ به آخر لیست پیوندی پیداشده اضافه می‌گردد.



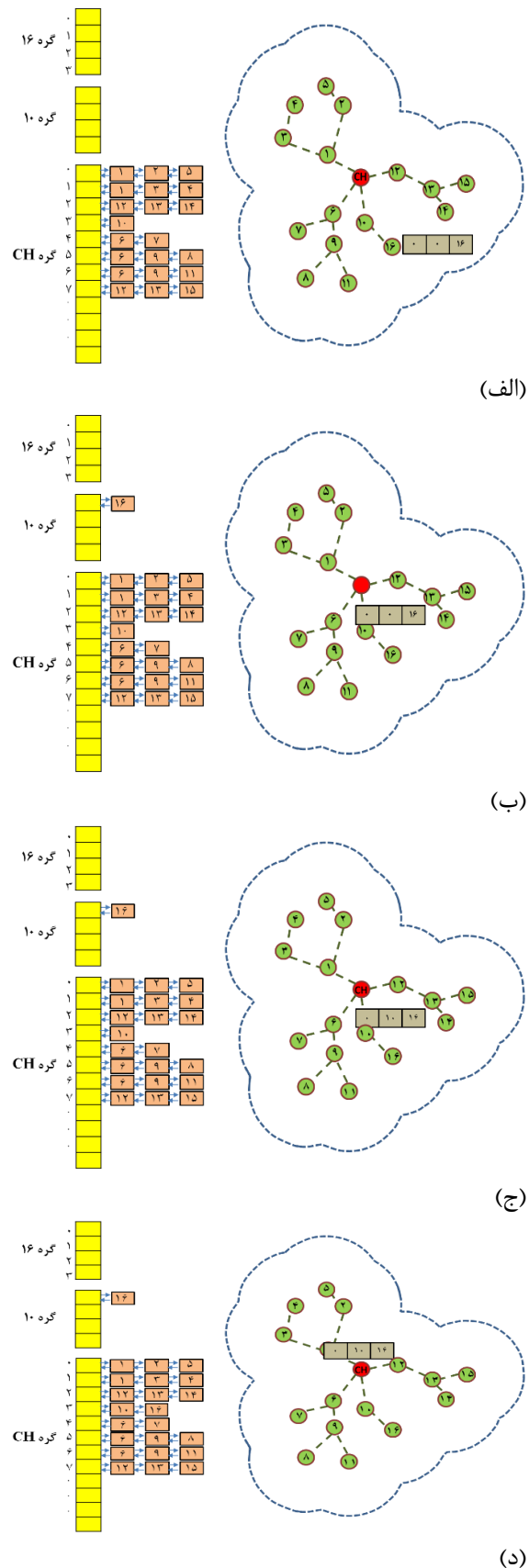
شکل ۴- نمایشی از درخت مسیریابی یک خوشه و پایگاه داده مسیریابی CH آن

سرخوشه با دریافت بسته RP، شناسه‌های موجود در بسته را استخراج و به آرایه لیست پیوندی خود اضافه می‌کند (شکل ۶-د). در نهایت، بسته دریافتی را دور می‌اندازد.

در حالت کلی، جریان بسته‌های داده بین گره فرستنده و گیرنده در یک خوشه، براساس مسیر موجود در درخت شکل گرفته، مسیریابی می‌شود. با این حال، ابتدا گره فرستنده، شناسه گیرنده بسته داده را در پایگاه داده مسیریابی خود جست‌وجو می‌کند. چنانچه گیرنده، در فاصله تک‌پرسی خود باشد، CM فرستنده، بسته را بدون در نظر گرفتن درخت مسیریابی به‌طور مستقیم به CM گیرنده در بخش زمانی تعیین‌شده در مرحله زمان‌بندی ارسال می‌کند. این مهم باعث می‌شود بسته‌های داده بدون نیاز به پیمودن مسیر تعیین‌شده در درخت مسیریابی به مقصد برسد. اگر فاصله فرستنده و گیرنده بیشتر از یک پرش باشد، هر گره CM موجود در طول مسیر، همسایگان خود را برای یافتن شناسه گره مقصد جست‌وجو می‌کند. اگر شناسه گره مقصد را در میان همسایگان خود پیدا کرد، بسته داده را مستقیم به آن ارسال می‌نماید. در غیر این صورت، بسته داده را به گره والد خود تک‌پرسی می‌کند. چنانچه بسته داده در طول مسیر از CM تا سرخوشه به گره CM مقصد تحویل داده نشده، به سرخوشه برسد، سرخوشه پایگاه داده خود را بررسی می‌کند. پیدا نشدن گره مقصد در پایگاه داده CH به‌منزله آن است که مقصد در خوشه دیگری حضور دارد. بنابراین CH بسته را به نزدیک ترین eNodeB ارسال نموده تا از طریق مسیر بین eNodeB ها داده به CH خوشه گره مقصد تحویل داده شود. این CH از طریق درخت مسیریابی خود، داده را به مقصد نهایی تحویل می‌دهد.

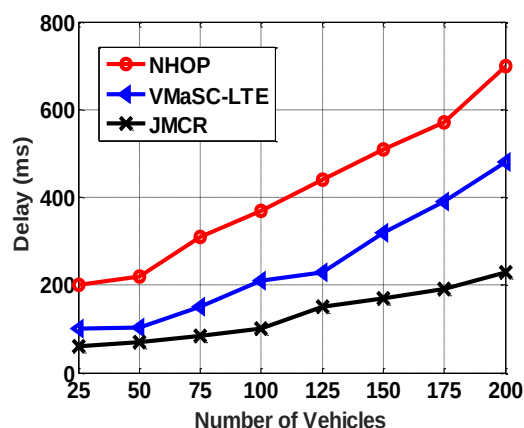
۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های VMA-S-LTE [۱۲] و NHOP [۱۳] از سه منظر تأخیر انتها به انتها، نرخ تحویل بسته^۱ و سرباری مسیریابی می‌پردازیم. بدین منظور، از شبیه‌ساز شبکه NS-2 (نسخه ۲،۳۵) و شبیه‌ساز ترافیک VANET Mobisim [۳۰ و ۳۱] برای مدل‌سازی و پیاده سازی الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. تأخیر انتها به انتها معرف مدت زمان لازم برای تحویل بسته‌های داده از بدو تولید تا



شکل ۶- مثالی از به‌روزرسانی پایگاه داده مسیریابی

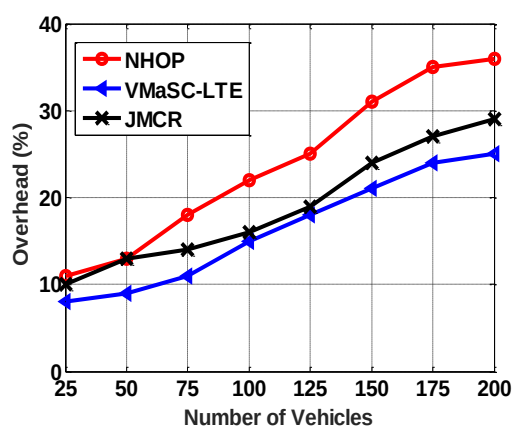
^۱ Packet Delivery Rate



شکل ۷- تغییرات تأخیر در مقابل افزایش تعداد وسایل نقلیه

همان طور که در شکل (۷) می‌توان مشاهده کرد، با افزایش تعداد وسایل نقلیه، تأخیر در هر سه الگوریتم افزایش می‌یابد. با این حال، به‌ازای تعداد مختلف وسایل نقلیه، روش پیشنهادی JMCR از تأخیر کمتری نسبت به دو الگوریتم دیگر برخوردار است. در الگوریتم‌های VMaSC-LTE و NHOP، به‌دلیل استفاده از پروتکل مسیریابی AODV^۲، فرایند کشف مسیر و به‌دنبال آن، ارسال بسته از گره مبدأ به گره مقصد با تأخیر بیشتری همراه خواهد بود.

زمانی که تعداد وسایل نقلیه در شبکه افزایش یابد، تعداد پیام‌های کنترلی بیشتری برای انجام عملیات خوشه‌بندی و مسیریابی مورد نیاز است. این مسئله نه‌تنها تأخیر تحویل بسته‌های داده به گیرنده را تشدید می‌کند، بلکه منجر به افزایش سرباری شبکه نیز خواهد شد. این افزایش سرباری در شکل (۸) برای هر سه الگوریتم نمایان است.



شکل ۸- تغییرات سرباری در مقابل افزایش تعداد وسایل نقلیه

دریافت توسط گیرنده است. نرخ تحویل بسته بیانگر درصد نسبت تعداد بسته‌های موفق دریافتی به کل تعداد بسته‌های ارسال شده است. همچنین سرباری مسیریابی به‌صورت درصد نسبت بسته‌های کنترلی ردوبدل شده برای خوشه‌بندی و مسیریابی به کل تعداد بسته‌های تولیدشده در شبکه تعریف می‌شود.

۵-۱- تنظیمات شبیه‌سازی

همان طور که در بخش ۳ اشاره شد، شبکه بین-خودرویی مورد استفاده در این مقاله، جاده یک‌طرفه‌ای به طول ۵ km $L=5$ کیلومتر است که در آن، ۲۵ تا ۲۰۰ وسیله نقلیه در یک جهت با سرعت‌های متفاوت ولی ثابت که بیشینه آن در بازه ۶۰ km/h تا ۱۳۰ km/h تعیین می‌شود، حرکت می‌کنند. فرض بر آن است که همه گره‌های شبکه مجهز به آنتن همه‌جهته^۱ با برد مخابراتی ۲۰۰ متر هستند. مدل انتشار امواج رادیویی در شبکه Two-ray Ground در نظر گرفته می‌شود. همچنین ترافیک داده مدّنظر از نوع تک‌پخشی با بسته‌هایی به طول ۱۰۲۴ بایت است که می‌تواند از یک CM به CM دیگر یا از یک CH به CM و برعکس باشد. فرستنده و گیرنده هر ترافیک، به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. حداکثر تعداد پرش مجاز داخل هر خوشه برابر با ۳ پرش در نظر گرفته می‌شود.

شایان ذکر است در شبیه‌سازی به‌عمل آمده، کلیه پارامترهای پیکربندی برای پروتکل‌های مورد مقایسه، یکسان در نظر گرفته شده است تا عملکرد الگوریتم‌ها تحت شرایط یکسانی بررسی شود. جدول ۲، مقادیر پارامترهای مختلف شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. تمامی نتایج ارائه‌شده در نمودارها با میانگین‌گیری از ۱۰۰ اجرای مستقل حاصل شده است.

۵-۲- بحث درباره نتایج شبیه‌سازی

سناریویی را در نظر بگیرید که در آن به دنبال بررسی اثر تعداد وسایل نقلیه بر تأخیر انتها به انتها، نرخ تحویل بسته و سرباری شبکه هستیم. بدین منظور، تعداد وسایل نقلیه موجود در شبکه را از ۲۵ وسیله تا ۲۰۰ وسیله افزایش می‌دهیم. نتایج مربوط به هریک از این پارامترها به‌ترتیب در شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) نشان داده شده‌اند.

^۲ Ad-hoc On-demand Distance Vector

^۱ Omni-directional antenna

جدول ۱- مقایسه روش‌های خوشه‌بندی/ مسیریابی چند-پرسی مورد مطالعه از منظرهای مختلف

مرجع	الگوریتم پیشنهادی	پروتکل MAC	نیاز GPS	سرعت گره‌ها	نوع شبکه	معیار انتخاب سرخوشه	مزایا مسیریابی/خوشه بندی پیشنهادی	معایب مسیریابی/خوشه‌بندی پیشنهادی
[۹]	DMCNF	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی مقیاس بزرگ	متوسط تحرک نسبی و تعداد دنبال کنندگان	- سرعت راه‌اندازی شبکه - پایداری - مقیاس‌پذیری - سربار کنترلی کم	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - احتمال برخورد بالا به‌خصوص در شرایط متراکم
[۱۲]	VMaSC-LTE	CSMA/CA و DCF	دارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی بزرگراه و شهری	متوسط تحرک نسبی	- خوشه‌بندی واکنشی - انتخاب خوشه با حداقل سرباری - تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - نرخ برخورد بالا به‌خصوص در سناریوهای متراکم
[۱۳]	NHOP	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	تحرک نسبی	- کاهش اثرات محوشدگی به دلیل استفاده از معیار تأخیر انتقال بسته‌ها	- نرخ پایین تحویل بسته‌ها در محیط‌های متراکم - نیاز به هماهنگی دقیق وسایل نقلیه - سربار کنترلی زیاد
[۱۷]	HCA	TDMA	ندارد	۱۵-۳۰ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	وقفه تصادفی	- سرعت تشکیل خوشه - عدم نیاز به آگاهی از مکان وسایل	- سربار کنترلی زیاد - تداخل درون-خوشه‌ای بالا
[۱۸]	PMC	CSMA/CA	ندارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی شهری	تعداد دنبال کنندگان و متوسط تحرک نسبی	- مدیریت گره‌های عضو به شیوه توزیعی - عدم نیاز به GPS - سربار کنترلی کم	- ناکارآمدی در لایه MAC و شبکه
[۱۹]	CCA	در مرجع اشاره نشده است.	دارد	۲۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی در محیط‌های کم تراکم	بحرانی بودن شبکه	- پایداری بالا خوشه‌ها - سربار کنترلی متوسط	- ناکارآمدی در محیط‌های متراکم - عدم بررسی پوشش دهی و مقیاس‌پذیری - عدم تضمین قابلیت اطمینان
[۲۰]	CHSA _{FL}	CSMA/CA	دارد	۳۰-۱۲۰ (km/h)	شبکه‌های بین-خودرویی در بزرگراه	سرعت، شتاب، فاصله و جهت	- مناسب برای بزرگراه - چند-خطه و دوطرفه - مناسب برای وسایل نقلیه با سرعت کم و زیاد	- نرخ تحویل بسته پایین در خوشه‌ها - تأخیر بالا
[۲۱]	MCA-V2I	CSMA/CA	دارد	۱۰-۳۵ (m/s)	شبکه‌های بین-خودرویی	متوسط سرعت نسبی، فاصله، پایداری پیوند	- سربار کنترلی کم - پایداری خوشه	- عدم ارائه یک پروتکل مسیریابی کارآمد

[۲۲]	DMMCA	CSMA/CA	دارد	۳۵- ۲۰ (m/s)	شبکه‌های بین- خودرویی در بزرگراه	طول عمر پیوند	- سربار کنترلی کم - در نظر گرفتن پایداری پیوندها	- ناکارآمدی در شبکه‌های متراکم شهری - عدم بررسی مقیاس‌پذیری
[۲۳]	CAMVC	CSMA/CA	دارد	۹۰- ۱۲۰ (km/h)	شبکه‌های بین- خودرویی در بزرگراه	فاصله، سرعت، شتاب و موقعیت خودرو	- طول عمر خوشه - انتخاب مناسب گره‌های دروازه	- نرخ برخورد بالا و ناکارآمدی در محیط‌های متراکم
[۲۴]	CMRP	TDMA+ CSMA/CA	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم	انرژی باقیمانده و متوسط توان ارسالی	- مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی چند-پرشی - طول عمر شبکه بالا - مصرف انرژی پایین	- فقط ارتباطات بین-خوشه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است.
[۲۵]	EEMCR	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم با مقیاس بزرگ	انرژی باقیمانده و فاصله اقلیدوسی	- حداقل‌سازی هزینه درخت تجمع - مقیاس‌پذیری - توزیع یکنواخت مصرف انرژی	- طول عمر متوسط در شرایط کم تراکم - عدم توجه به پروتکل دسترسی به کانال
[۲۶]	JCR	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های حسگر بی سیم با مقیاس بزرگ	انرژی باقیمانده و تعداد همسایگان	- مقیاس‌پذیری - جمع‌آوری قابل اطمینان و کارآمد داده - سربار مسیریابی کم - نرخ تحویل بسته بالا	- انتخاب نامتوازن سرخوشه - کاهش طول عمر با افزایش سائز شبکه
[۲۷]	GMM	در مرجع اشاره نشده است	ندارد	گره‌های ثابت	شبکه‌های اینترنت اشیاء	توزیع فیزیکی و انرژی باقیمانده گره‌ها	- پویایی مسیریابی - طول عمر شبکه بالا - شکل‌گیری حداقل خوشه	- متمرکز بودن الگوریتم - عدم توجه به پروتکل دسترسی به کانال - پیچیدگی الگوریتم ژنتیک

گره‌ها تا فاصله ۳ پرشی، از مهم‌ترین دلایل بیشتر بودن سرباری الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم VMaSC-LTE است. درواقع بسته‌های بیشتری برای به روزرسانی خوشه‌ها و پایگاه داده مسیریابی در شبکه مبادله می‌شود.

در روش خوشه‌بندی VMaSC-LTE، برای جلوگیری از گلوگاه در گره‌های عضو به‌ویژه سرخوشه‌ها، $MAX_MEMBER_{CH}=5$ و $MAX_MEMBER_{CM}=1$ فرض می‌شود. این در حالی است که در الگوریتم پیشنهادی، MAX_MEMBER_{CM} را به ۲ افزایش داده تا خوشه‌های بزرگ‌تری ایجاد شود. با کاهش تعداد سرخوشه

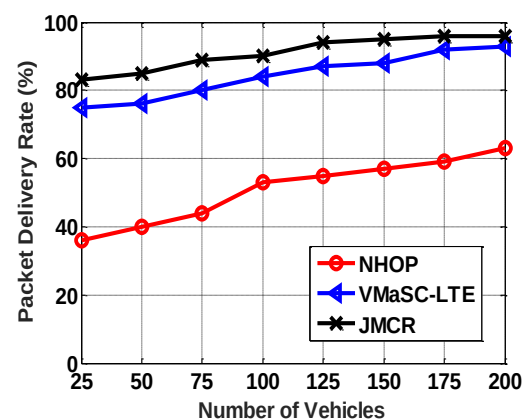
از منظر سرباری، روش NHOP شرایط نامساعدتری نسبت به JMCR و VMaSC-LTE دارد. این الگوریتم در فاز خوشه‌بندی از تأخیر بسته‌ها بین دو پیام beacon متوالی برای محاسبه معیار تحرک نسبی بین گره‌ها استفاده کرده، تعداد بسته‌های کنترلی بیشتری ردوبدل می‌کند. از طرفی، سرباری الگوریتم پیشنهادی، کمی بیشتر از الگوریتم VMaSC-LTE است که با وجود مزایای الگوریتم JMCR و برتری آن از منظر تأخیر، پایداری خوشه و نرخ تحویل بسته، این مسئله قابل توجیه خواهد بود. تبادل داده‌های کنترلی بیشتر برای نگهداری مسیرها، تشکیل و به‌روزرسانی پایگاه داده مورد استفاده در مسیریابی و فرض همسایگی

توسط پروتکل MAC به درستی کنترل نشود، نرخ تحویل بسته در شبکه را کاهش می‌دهد. از دیگر تبعات افزایش برد مخابراتی، می‌توان به افزایش سربار کنترلی اشاره کرد. حال در سناریوی دیگری به ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با فرض بیشینه سرعت‌های مختلف برای وسایل نقلیه می‌پردازیم. بدین منظور، بیشینه سرعت وسایل نقلیه را از ۶۰ km/h تا ۱۳۰ km/h افزایش می‌دهیم.

نتایج مربوط به تأخیر، سربار کنترلی و نرخ تحویل بسته الگوریتم‌ها به ترتیب در شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده‌اند. نتایج این سناریو به خوبی مشاهدات تفسیر شده در سناریوی قبلی را تأیید می‌کند، به طوری که الگوریتم JMCR در مقایسه با دو الگوریتم دیگر، دارای کمترین تأخیر و بهترین نرخ تحویل بسته است. با این حال، میزان سربار کنترلی آن بین دو الگوریتم NHOP و VMaSC-LTE قرار دارد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، تبادل داده‌های کنترلی بیشتر برای خوشه‌بندی، نگهداری مسیرها و فرض همسایگی گره‌ها تا فاصله ۳ پرشی، از مهم‌ترین دلایل بیشتر بودن سرباری الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با VMaSC-LTE است. با افزایش سرعت وسایل نقلیه، پایداری خوشه‌ها و مسیرهای شبکه کاهش می‌یابد؛ بنابراین بسته‌های کنترلی بیشتری برای نگهداری و تشکیل خوشه‌های و بازیابی مسیرها رد و بدل خواهد شد. از این رو مطابق شکل (۱۱)، طبیعی است که افزایش سرعت، با افزایش قابل توجه سرباری در شبکه همراه باشد. از دست رفتن بسته‌های ارسالی، از دیگر تبعات افزایش سرعت وسایل نقلیه است. این روند، در شکل (۱۲) به خوبی قابل مشاهده است، هرچند الگوریتم پیشنهادی JMCR به دلیل استفاده مناسب از TDMA و بازیابی سریع مسیرهای ارتباطی، حساسیت کمتری نسبت به این مسئله از خود نشان می‌دهد. ارسال بسته‌های کنترلی و بسته‌های داده بیشتر که حتی ممکن است در برخی مواقع چندین بار تکرار شود، زمان پاسخ‌گویی به پیام را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه، تأخیر افزایش می‌یابد. در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که با افزایش حداکثر سرعت وسایل نقلیه، تأخیر هر سه الگوریتم افزایش می‌یابد. الگوریتم JMCR، به دلیل زمان‌بندی کارآمد بسته‌ها، از تداخل کمتری نسبت به دو الگوریتم NHOP و VMaSC-LTE برخوردار است. در الگوریتم‌های VMaSC-LTE و NHOP، به دلیل استفاده از پروتکل CSMA/CA، با افزایش حداکثر سرعت وسایل

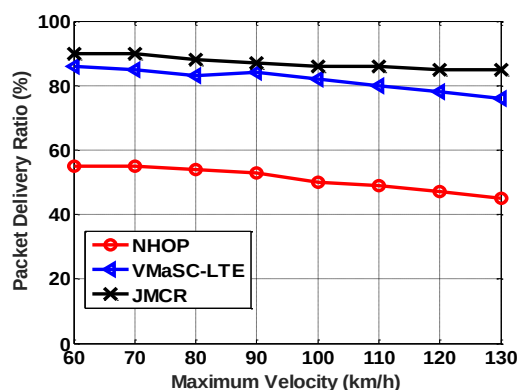
ها و به دنبال آن، کاهش تغییرات CH و CM، پایداری خوشه افزایش می‌یابد. بار ترافیک داده روی سرخوشه هنگام ارسال بسته‌های داده میان CMها با توزیع بار بر روی کل گره‌های خوشه کاهش می‌یابد. بنابراین از گلوگاه سرخوشه جلوگیری می‌شود.

الگوریتم VMaSC-LTE و NHOP از بالاترین نرخ تحویل بسته به ازای تعداد مختلف وسایل نقلیه برخوردار است. دو الگوریتم VMaSC-LTE و NHOP به دلیل استفاده از پروتکل MAC رقابتی، از احتمال برخورد بالای بسته‌ها به ویژه در شرایط ترافیکی پرازدحام رنج می‌برند. این تداخل بالا بین وسایل نقلیه منجر به از بین رفتن بیشتر بسته‌های داده می‌شود. در نتیجه، بسته‌های کمتری به گره‌های مقصد می‌رسند و نرخ تحویل بسته‌ها در شبکه کاهش می‌یابد. این در حالی است که روش JMCR پیشنهادی با بهره‌گیری از پروتکل زمان‌بندی TDMA میزان تداخلات درون-خوشه‌ای را تعدیل می‌کند؛ بنابراین بسته‌های بیشتری با موفقیت به مقصد رسیده، نرخ تحویل بسته افزایش می‌یابد. افزایش تدریجی نرخ تحویل بسته با افزایش تعداد وسایل نقلیه، از دیگر نتایج کسب‌شده در این شبیه‌سازی است.



شکل ۹- تغییرات نرخ تحویل بسته در مقابل افزایش تعداد وسایل نقلیه

با افزایش برد مخابراتی وسایل نقلیه، گره‌های شبکه می‌توانند با گره‌های همسایه بیشتری ارتباط برقرار کنند. از طرفی، مدت زمان اتصال پیوندها و در نتیجه، مدت زمان سرخوشه و عضو خوشه بودن افزایش می‌یابد. کاهش تغییرات سرخوشه، کاهش تغییرات گره‌های عضو و کاهش تعداد خوشه‌ها به معنای افزایش پایداری خوشه‌هاست؛ اما باید این نکته را نیز در نظر داشت که تداخل ارسال‌ها در برد مخابراتی بیشتر، افزایش می‌یابد. چنانچه این تداخل



شکل ۱۲- تغییرات نرخ تحویل بسته در مقابل افزایش بیشینه سرعت وسایل نقلیه

با این حال، در کنار مزایای فوق، الگوریتم JMCR از سربار کنترلی بیشتری در مقایسه با روش VMaSC-LTE برخوردار است. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، تبادل داده‌های کنترلی بیشتر برای نگهداری مسیرها و پایگاه داده مورد استفاده در مسیریابی، از مهم‌ترین دلایل این سرباری است. پایگاه داده خوشه‌بندی بزرگ‌تر نیز از دیگر نقاط ضعف روش پیشنهادی محسوب می‌شود.

۳-۵- جمع‌بندی مزایا و معایب الگوریتم پیشنهادی

با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده و همچنین نتایج حاصل در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی، می‌توان مزایای الگوریتم توزیعی پیشنهادی JMCR را به شرح زیر خلاصه کرد:

- تأخیر کمتر و نرخ تحویل بسته بیشتر در مقایسه با الگوریتم‌های VMaSC-LTE و NHOP.
- پایداری بالای خوشه‌ها نسبت به الگوریتم‌های مورد مقایسه.
- مسیریابی توزیعی، واکنشی و سازگار با خوشه‌بندی چند-پرسی.
- به‌روزرسانی سریع و آسان پایگاه داده مسیریابی.
- اشغال کم حافظه برای ذخیره‌سازی اطلاعات موجود در پایگاه داده مسیریابی.

با این حال، در کنار مزایای فوق، الگوریتم JMCR از سربار کنترلی بیشتری در مقایسه با روش VMaSC-LTE برخوردار است. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، تبادل داده‌های کنترلی بیشتر برای نگهداری مسیرها و پایگاه داده مورد استفاده در مسیریابی، از مهم‌ترین دلایل این سرباری است. پایگاه داده خوشه‌بندی بزرگ‌تر نیز از دیگر نقاط ضعف روش پیشنهادی محسوب می‌شود.

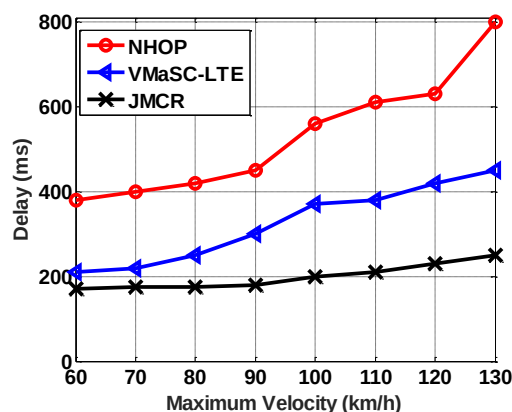
نقلیه، تعداد سیگنال‌های RTS^۱ و CTS^۲ که به‌ازای هر بسته ارسال می‌گردد، بیشتر می‌شود؛ بنابراین شاهد افزایش سریع‌تر تأخیر این دو الگوریتم هستیم.

۳-۵- جمع‌بندی مزایا و معایب الگوریتم پیشنهادی

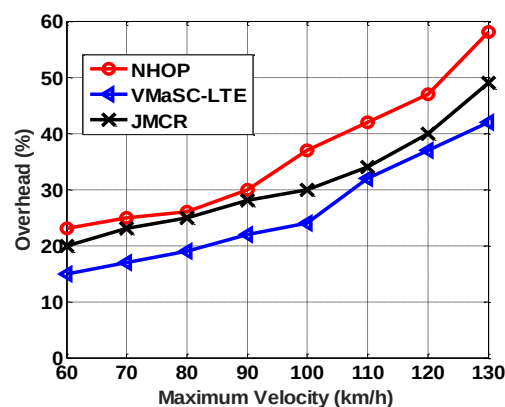
با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده و همچنین نتایج حاصل در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی، می‌توان مزایای الگوریتم توزیعی پیشنهادی JMCR را به شرح زیر خلاصه کرد:

- تأخیر کمتر و نرخ تحویل بسته بیشتر در مقایسه با الگوریتم‌های VMaSC-LTE و NHOP.
- پایداری بالای خوشه‌ها نسبت به الگوریتم‌های مورد مقایسه.

- مسیریابی توزیعی، واکنشی و سازگار با خوشه‌بندی چند-پرسی.
- به‌روزرسانی سریع و آسان پایگاه داده مسیریابی.
- اشغال کم حافظه برای ذخیره‌سازی اطلاعات موجود در پایگاه داده مسیریابی.



شکل ۱۰- تغییرات تأخیر در مقابل افزایش بیشینه سرعت وسایل نقلیه



شکل ۱۱- تغییرات سرباری در مقابل افزایش بیشینه سرعت وسایل نقلیه

² Clear To Send

¹ Request To Send

۶- نتیجه گیری

تحرک بالای گره‌ها و تغییرات سریع توپولوژی در شبکه‌های بین-خودرویی، طراحی یک پروتکل کارآمد را که بتواند بسته‌های داده را با حداقل تأخیر و حداقل سرباری به مقصد برساند، با چالش مواجه می‌کند. در این مقاله، الگوریتم کارآمدی موسوم به مسیریابی و خوشه‌بندی چند-پرسی توأم (JMCR) پیشنهاد شد که توأمان به سه مسئله خوشه‌بندی چند-پرسی، تعیین سرخوشه و طراحی درخت

های مسیریابی درون-خوشه می‌پردازد. این الگوریتم در مقایسه با دو روش VMaSC-LTE و NHOP از تأخیر کمتر و نرخ تحویل بسته بیشتر برخوردار است. همچنین ضمن آنکه توانسته سرباری قابل قبولی نسبت به روش VMaSC-LTE داشته باشد، میزان آن را در مقایسه با روش NHOP کاهش داده است. افزایش میزان سرباری، تأخیر و نرخ تحویل بسته با افزایش تعداد وسایل نقلیه، از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله محسوب می‌شود.

مراجع

- [1] A. Katiyar, D. Singh and R.S. Yadav, "State-of-the-art approach to clustering protocols in VANET: a survey", *Wireless Networks*, Vol. 26, 2020, pp. 5307–5336.
- [2] R.A. Nazib and S. Moh, "Routing protocols for unmanned aerial vehicle-aided vehicular ad hoc networks: a survey", *IEEE Access*, Vol. 8, April 2020, pp. 77535 – 77560,.
- [۳] سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی و عباس جوکار، «ارائه یک مدل ریاضی و روش حل ابتکاری برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دوسطحی با در نظر گرفتن شرایط گذاشت و برداشت در حالت عدم قطعیت»، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۳۳۹-۳۶۱.
- [4] R. Pitakaso, K. Sethanan and C. Theeraviriya, "Variable neighborhood strategy adaptive search for solving green 2-echelonlocation routing problem", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 173, Jun. 2020, 105406.
- [۵] عرفان بابایی تیرکلایی، ایرج مهدوی و میر مهدی سیداصفهان‌ی، «حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن سفرهای چندگانه و پنجره‌های زمانی در مدیریت پسماند شهری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری»، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۵، شماره ۵۰، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۱۷۹-۱۹۱.
- [6] S.T. Miri and S. Tabatabaei, "Improved routing vehicular ad-hoc networks (VANETs) based on mobility and bandwidth available criteria using fuzzy logic", *Wireless Personal Communications*, Apr. 2020, pp. 1263–1278.
- [۷] مجید یوسفی خوشبخت، اعظم دولت‌نژاد ثمرین و اسماعیل خرم، «یک الگوریتم ترکیبی اصلاحی مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز ظرفیت‌دار»، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۹۳۰-۱۱۰.
- [8] J. Li, Y. Han, P. Duan, Y. Han, B. Niu, C Li, Z Zheng and Yi. Liu, "Meta-heuristic algorithm for solving vehicle routing problems with time windows and synchronized visit constraints in prefabricated systems", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 250, March 2020.
- [9] Y. Chen, M. Fang, S. Shi, W. Guo and X. Zheng, "Distributed multi-hop clustering algorithm for VANETs based on neighborhood follow", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2015, No. 1, pp. 1-12.
- [10] G. Wolny, "Modified DMAC clustering algorithm for VANETs", in *proc. 2008 Third International Conference on Systems and Networks Communications*, 2008, pp. 268-273.
- [11] S. S. Wang and Y. S. Lin, "Performance evaluation of passive clustering based techniques for inter-vehicle communications", in *proc. The 19th Annual Wireless and Optical Communications Conference (WOCC 2010)*, 2010, pp. 1-5.
- [12] S. Ucar, S. C. Ergen and O. Ozkasap, "Multihop-cluster-based IEEE 802.11p and LTE hybrid architecture for VANET safety message dissemination", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 4, 2016, pp. 2621-2636.
- [13] Z. Zhang, A. Boukerche and R. Pazzi, "A novel multi-hop clustering scheme for vehicular ad-hoc networks", in *Proc. of the 9th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access*, 2011, pp. 19-26.

- [14] H. Fatemidokht, M.K. Rafsanjani, B.B. Gupta and Ch. Hsu, "Efficient and secure routing protocol based on artificial intelligence algorithms with UAV-assisted for vehicular ad hoc networks in intelligent transportation systems", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, January 2021, PP. 1-13.
- [15] A. Avokh and G. Mirjalily, "Interference optimization for multicast and broadcast traffics in multi-radio multi-channel wmnns equipped with directional antennas", *International Journal of Electronics and Communications (AEU)*, Vol. 83, 2018, pp. 439-450.
- [۱۶] امین شماعی چهارسوق و آوید آوخ، «مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌های خوشه‌بندی چند-پرشی در شبکه‌های بین-خودرویی»، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق و سیستم‌های هوشمند ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اسفند ۱۳۹۷، صفحه ۱-۶.
- [17] E. Dror, C. Avin and Z. Lotker, "Fast randomized algorithm for hierarchical clustering in vehicular ad-hoc networks", in *proc. Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net)*, 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean, 2011, pp. 1-8.
- [18] D. Zhang, H. Ge, T. Zhang, Y.Y. Cui, X. Liu and G. Mao, "New Multi-Hop Clustering Algorithm for Vehicular Ad Hoc Networks", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 20, No.4, 2018, pp. 1517 – 1530.
- [19] W. Li, A. Tizghadam and A. Leon-Garcia, "Robust clustering for connected vehicles using local network criticality", in *proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2012, pp. 7157-7161.
- [20] A. Calhan, "A fuzzy logic based clustering strategy for improving vehicular ad-hoc network performance", *Sadhana*, Vol. 40, No. 2, 2015, pp. 351-367.
- [21] O. Senouci, Z. Aliouat and S. Harous, "MCA-V2I: a multi-hop clustering approach over vehicle-to-internet communication for improving VANETs performances", *Future Generation Computer Systems*, Vol. 96, 2019, pp. 309-323.
- [22] K. Huang and B. J. Hu. "A new distributed mobility-based multi-hop clustering algorithm for vehicular ad hoc networks in highway scenarios", in *proc. IEEE Conference on Vehicular Technology (VTC2019-Fall)*, 2019, pp. 1-6, Honolulu, HI, USA.
- [23] H. Alabbas and Á.H. Huszák, "CAMVC: stable clustering algorithm for efficient multi-hop vehicular communication on highways", in *proc. 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Jul. 2020, Milan, Italy.
- [24] S. Guo, J. Zheng, Y. Qu, B.H. Zhao and Q.K. PanK, "Clustering and multi-hop routing with power control in wireless sensor networks", *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, Vol. 14, No. 1, 2007, pp. 49-57.
- [25] Z. Li and P. Xin, "Evidence-efficient multihop clustering routing scheme for large-scale wireless sensor networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 2017, Nov. 2017.
- [26] Z. Xu, L. Chen, C. Chen and X. Guan, "Joint clustering and routing design for reliable and efficient data collection in large-scale wireless sensor networks", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 4, 2016, pp. 520-532.
- [27] Y. Li, J. Zheng, H. Zhang, X. Ye, Z. Liu and J. Li, "Energy-efficient clustering and multi-hop routing algorithm based on GMM for power IoT network", in *proc. Proceedings of the 9th International Conference on Computer Engineering and Networks*, 2020, pp. 1169-1176.
- [28] A. Avokh and G. Mirjalily, "Performance analysis of broadcasting in small-scale multi-radio multi-channel wireless mesh networks", in *Proc. International Conference on Advanced Communications Technology*, 2012, pp. 537 542.
- [29] The network simulator NS-2, september 19, 2018. [Online]. Available: http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page. [accessed: september 19, 2018].
- [30] M. Fiore, J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet, "Vehicular mobility simulation for vanets," *40th Annual Simulation Symposium (ANSS'07)*, 2007, pp. 301-309.
- [31] R.K. Jaiswal, "Position-based routing protocol using Kalman filter as a prediction module for vehicular ad hoc networks", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 83, 2020, 106599.