

Hierarchical and Scalable Routing in Infrastructure-based Vehicular Networks

Bahman Ravaei^{1*}, Keyvan RahimiZadeh², and Sadegh MoshrefZadeh³

1*- Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2- Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.

3- Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.

^{1*}ravaei@yu.ac.ir, ²rahimizadeh@yu.ac.ir, and ³moshrefzadeh@yu.ac.ir

Corresponding author's address: Bahman Ravaei, Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Abstract- Vehicular delay tolerant networks (VDTNs), as a special type of vehicular networks, there is no end-to-end path exists between vehicle nodes. In this paper, a novel and scalable landmark-based forwarding method named Two-Layer Vehicular Delay Tolerant Routing (TLVDTR) is introduced that routes messages between regions and landmarks instead of performing routing between nodes. This method maps the network to a two-layer model. At the upper layer, the network operation area is divided to some regions by using the edge betweenness centrality and in the lower layer; a network of landmarks is organized to track vehicles' movement between popular places. Then, each Landmark finds the shortest path to other landmarks in its region and constructs an inter-landmark routing table. After that, by exploiting a distance vector algorithm and advertising routes mechanism, the routing table will be extended to store routes to landmarks of other regions. Beside the network structure organization, probabilities of transition between landmarks are computed by using nodes historical movement trajectory. Finally, by using both routing table and transition probabilities, our proposed method can select the suitable relays for carrying messages toward target landmarks. The evaluation results show the superiority of our proposed method in terms of delivering ratio (16%), average delay (17%) and forwarding cost (4%).

Keywords- Vehicular networks, Vehicular delay tolerant network, Landmark-based routing, Hierarchical routing.

مسیریابی سلسله مراتبی گسترش پذیر در شبکه‌های خودرویی دارای زیرساخت

بهمن روایی^{۱*}، کیوان رحیمی زاده^۲، صادق مشرفزاده^۳

^{۱*} - دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

^۲ - دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

^۳ - دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

^{۱*} ravaei@yu.ac.ir, ^۲rahimizadeh@yu.ac.ir, ^۳moshrefzadeh@yu.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: بهمن روایی، یاسوج، خیابان دانشجو، دانشگاه یاسوج، دانشکده فنی و مهندسی.

چکیده - شبکه‌های تحمل پذیر تاخیر خودرویی (VDTNs) دسته‌ای از شبکه‌های خودرویی می‌باشند که در آن‌ها مسیر انتها به انتها میان مبدا و مقصد وجود ندارد. در این مقاله، یک روش جدید جلورانی گسترش پذیر میان لندمارکی^۲ به نام مسیریابی تحمل پذیر تاخیر خودرویی دو لایه‌ای (TLVDTR^۳) برای این شبکه‌ها معرفی می‌شود که به جای مسیریابی میان خودروها به مسیریابی میان لندمارک‌ها^۴ اقدام می‌کند. این روش، شبکه را به صورت یک مدل دو لایه در نظر می‌گیرد و در لایه بالا با استفاده از مرکزیت لایه‌ای، شبکه به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شود که بر ناحیه‌های محیط شهری منطبق هستند و سپس در لایه پایین، در هر ناحیه تعدادی لندمارک تعریف می‌گردد. پس از آن، لندمارک‌های در محدوده هر ناحیه با استفاده از الگوریتم دیکسترا، جدول مسیریابی میان لندمارکی تشکیل می‌دهند و مسیر برای لندمارک‌های دور که در دیگر ناحیه‌ها هستند، با اعلان مسیر و یک الگوریتم بردار فاصله پیدا می‌شوند. این امر باعث کاهش هزینه یافتن مسیر می‌گردد. از طرف دیگر هر گره سابقه‌ای از حرکت‌های خود را نگهداری می‌کند، و از آن برای یافتن احتمال گذار میان لندمارک‌ها استفاده می‌کند. در نهایت با ترکیبی از جدول مسیریابی هر لندمارک و احتمال گذار خودروها در میان لندمارک‌ها، گره‌های رله مناسب برای حمل پیام به سمت لندمارک‌های مقصد انتخاب می‌گردند. نتایج ارزیابی‌های انجام گرفته و مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های رقیب نشان از بهبود روش پیشنهادی از جنبه‌های نرخ دریافت (۱۶٪)، متوسط تاخیر (۱۷٪) و هزینه جلورانی (۴٪) است.

واژه‌های کلیدی: شبکه خودرویی، شبکه خودرویی تحمل پذیر تاخیر، مسیریابی مبتنی بر لندمارک، مسیریابی سلسله مراتبی.

۱- مقدمه

اطلاعات [۷، ۸] و فراهم کردن اینترنت [۲، ۴] استفاده می‌شود. یکی از شاخه‌های شبکه‌های خودرویی به صورت شبکه‌های خودرویی تحمل پذیر تاخیر (VDTNs) [۴، ۶، ۹-۱۱] است که برای عمل در شرایطی پیشنهاد شده‌اند که در آن‌ها یک مسیر انتها به انتها میان گره‌های مبدا و مقصد وجود ندارد و می‌بایست از مکانیزم ذخیره-حمل-جلورانی برای تحویل پیام‌ها استفاده کرد [۹، ۱۴-۱۲].

در شبکه‌های VDTNs دو روش ارتباطی وجود دارد، که به صورت خودرو با خودرو (V2V^۵) و خودرو با زیرساخت (V2I^۶) هستند

رشد سریع فناوری‌های ارتباطی، ایده به وجود آمدن شهرهای هوشمند که هر شی در آن قابلیت پردازش و تبادل اطلاعات را داشته باشد فراهم می‌سازد [۱، ۲]. یکی از اشیاء موجود در محیط‌های شهری خودروها هستند، که شبکه‌ای از آن‌ها برای کاربردهای از قبیل ایمنی خیابان‌ها و جاده‌ها [۳-۶]، بهینه‌سازی جریان ترافیک [۴]، تبلیغات کالا و خدمات [۶]، شرایط بحرانی [۴، ۶]، ارتباطات روستایی و برون شهری [۲، ۴]، جمع‌آوری

[۵]. در ارتباطات V2I ارتباط میان خودروها و تجهیزات زیرساختی همانند ایستگاه‌های پایه و تجهیزات کنار جاده‌ای (RSU⁷) [۴، ۵، ۱۷-۱۵] است که برای تقویت شبکه و افزایش توانایی‌های جلودرانی شبکه استفاده می‌گردند.

پروتکل‌های مختلف و متنوعی برای مسیریابی و جلودرانی اطلاعات در شبکه‌های VDTNs پیشنهاد شده‌اند. دسته‌ای از روش‌ها که در پژوهش‌ها بسیار مورد توجه‌اند، روش‌های مبتنی بر لندمارک‌ها هستند. در این روش‌ها، شبکه به صورت لندمارک یا ناحیه‌هایی در نظر گرفته می‌شود که خودروها در میان آن‌ها حرکت می‌کنند و اغلب زمان حرکت یا توقف خود را در این نواحی سپری می‌کنند [۹، ۲۵-۱۸]. این دسته از روش‌ها خود به دو گروه تقسیم می‌گردند. گروه اول فرض می‌کنند که حرکت گره‌های خودرویی در میان این لندمارک‌ها دارای یک الگو و نظم مشخص است و با کشف این الگو می‌توان حرکت‌ها و ملاقات‌های آتی گره‌ها را پیش‌بینی نمود و از آن برای جلودرانی استفاده کرد [۱۹، ۲۱]. برای نمونه PER [۲۱] شبکه را به صورت تعدادی لندمارک تصور می‌کند و سپس احتمال ملاقات گره‌ها در هر لندمارک را محاسبه و براساس آن اقدام به انتخاب گره‌های رله می‌کند.

گروه دیگری از روش‌های مبتنی بر لندمارک از ایده مسیریابی میان لندمارکی بهره می‌برند [۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۵]. این گروه بر نظمی فراتر از نظم یک گره خاص در حرکت توجه نموده‌اند و تمرکز آن‌ها بر حرکت کلی گره‌ها در میان لندمارک‌ها و الگوی منظم ناشی از جریان گره‌ها در میان لندمارک‌ها است. یک لندمارک دارای تعداد محدودی لینک به لندمارک‌های همسایه است و جریانی از خودروها از این لینک‌ها در میان این لندمارک‌ها حرکت می‌کنند. از آنجا که این جریانی از خودروها به مراتب قابل اتکاتر از حرکت یک گره خاص است، بنابراین استفاده از این الگوی قابل اتکا و پیش‌بینی‌پذیر به کارایی و بهره‌وری بالاتر جلودرانی منجر می‌گردد. نمونه‌هایی از این روش‌ها DTN-FLOW [۲۰]، GeoMobCon [۲۲] و GeoAKOM [۲۵] هستند. بررسی بیشتر این روش‌ها در بخش کارهای مرتبط قرار داده شده است.

بررسی روش‌های موجود نشان می‌دهد که عملکرد این روش‌ها در شرایط دنیای واقعی مناسب نبوده و میزان معیارهای کارایی مانند تاخیر و نرخ دریافت پیام در آن‌ها مناسب نیست. در دنیای واقعی، محدوده عملیات شبکه بسیار گسترده و بزرگ است [۲۲، ۲۵] و گره‌ها در یک محدوده‌ی بزرگ حرکت می‌کنند، بنابراین جلودرانی دارای پیچیدگی و هزینه بسیاری است. برای مثال، خودروها در داده‌های مربوط به تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو [۲۶] در میان نواحی با اختلاف ۱۰۰ کیلومتری حرکت می‌کنند و محدوده

شهری در بورسا (ترکیه) [۲۵] حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع است. با توجه به بزرگی و گستردگی شبکه، پیچیدگی محاسباتی و زمانی ساخت جدول مسیریابی بالا بوده و همه‌پخشی پیام‌های اعلان شرایط لینک در کل شبکه، باعث تولید پیام‌ها فراتر از ظرفیت ارتباطی شبکه شده و بالطبع منجر به ازدحام می‌گردد. تغییرات در یک لینک شبکه می‌تواند باعث اعوجاج در کل شبکه گردد، زیرا هر لندمارک در شبکه مجبور است تا دوباره جدول مسیریابی خود را محاسبه نماید. بنابراین، یک معماری غیر ساخت یافته از لندمارک‌ها قادر به فراهم سازی کیفیت سرویس مورد نیاز برای کاربردهای شبکه را ندارد. زیرا تعداد زیاد لندمارک‌ها باعث پیچیدگی و کاهش کارایی می‌گردد.

اما اگر از ساختار سلسله مراتبی استفاده شود، بخش عمده‌ای از تغییرات در شبکه را می‌توان نادیده گرفت. بنابراین، در این مقاله ما یک رهیافت سلسله مراتبی پیشنهاد داده‌ایم تا با کاهش هزینه ساخت جدول‌های مسیریابی، یک روش گسترش‌پذیر برای مسیریابی و جلودرانی ارائه دهیم.

در این مقاله، یک روش جدید مسیریابی میان لندمارکی سلسله مراتبی به نام TLVDTR ارائه می‌شود که بر مشکلات یاد شده غلبه نماید. در این روش شبکه به تعدادی ناحیه تقسیم می‌شود. تقسیم‌بندی شبکه و فضای شهری به ناحیه‌های مختلف با ساختار محیط‌های شهری قابل انطباق است. زیرا هر شهر دارای مجموعه-ای از ناحیه‌ها است و این ناحیه‌ها به وسیله بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی به هم متصل شده‌اند و بخش عمده‌ای از ترافیک شهری را حمل می‌کنند [۲۷]. برای یافتن ناحیه‌ها از یک الگوریتم مبتنی بر مرکزیت لبه‌ای [۲۸] بهره برده‌ایم. هر ناحیه از تعدادی لندمارک تشکیل شده است. لندمارک‌ها مکان‌هایی از شبکه و فضای شهری می‌باشند که گره‌های خودرویی اغلب زمان خود را در آن‌ها سپری می‌کنند. پس از آن با توجه به تعداد خودروها و مسافت میان دو لندمارک جدول مسیریابی میان لندمارکی در محدوده هر ناحیه تشکیل می‌گردد و در گام بعد جدول مسیریابی گسترش داده می‌شود تا مسیر به دیگر ناحیه‌ها را نیز شامل شود. در آخرین گام از یک زنجیره مارکوف مرتبه K [۲۵] استفاده می‌شود تا گره‌های رله مناسب برای حمل پیام از یک لندمارک به لندمارک بعدی را انتخاب نماید.

بنابراین، نوآوری‌ها و مزایای روش پیشنهادی TLVDTR به نسبت روش‌های رقیب که آن‌ها نیز از مسیریابی میان لندمارکی استفاده می‌کنند عبارت است از:

الف) یک ساختار سلسله مراتبی از ناحیه‌ها و لندمارک‌ها پیشنهاد شده است که محدوده‌ی عملیات شبکه را بتوان مدیریت نمود و

لندمارک‌های مشترک انجام می‌گیرد [۲۷، ۲۹]. گره‌ها ترجیح می‌دهند که در تعداد محدودی از لندمارک رفت و آمد داشته باشند و اغلب وقت خود را در این لندمارک‌ها سپری کنند [۱۱] و به ندرت به دیگر لندمارک‌ها مراجعه می‌کنند و در صورت مراجعه نیز زمان حضور آن‌ها بسیار محدود است.

با توجه به الگوی منظم حرکت گره‌ها، با داشتن تاریخچه‌ی کافی از حرکت گره‌ها می‌توان حرکت آینده آنها را پیش‌بینی کرد [۲۱، ۳۰]. در پژوهش‌ها مرسوم است که حرکت گره را با یکی از نمونه‌های خانواده مارکوف مدل نمایند [۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۲]. به عبارت دیگر، حرکت گره میان لندمارک‌ها دارای ویژگی مارکوف فرض می‌شود.

ویژگی‌های محیط‌های شهری که خودروها را مجبور به حرکت در خیابان‌ها می‌نماید، پیش‌بینی‌پذیری حرکت گره‌ها میان لندمارک‌های این نوع شبکه‌ها را بیشتر از دیگر شبکه‌های سیار می‌نماید [۳۳]. در دنیای واقعی اگر کسی در یک شهر قدم بزند یا رانندگی نماید، مقصد بعدی او قابل پیش‌بینی است، زیرا خیابان‌ها و کوچه‌های شهر افراد را مجبور می‌کنند که در یک مسیر از قبل مشخص شده حرکت کنند. از طرف دیگر، افراد معمولاً یک مسیر روزانه دارند که از آن در روزهای مختلف پیروی می‌کنند و برای نمونه، همواره پس از عبور از نقطه‌ی A به سمت نقطه‌ی B حرکت می‌کنند (این نقاط A و B می‌توانند، خانه، محل کار و غیره باشند). بنابراین با توجه به توضیحات بالا و همچنین بررسی‌های انجام گرفته می‌توان به یک نتیجه مهم دست یافت: اگر یک گره در یک لندمارک مشخص باشد، آنگاه لندمارک بالقوه بعدی که گره به سمت آن حرکت می‌کند محدود به چند لندمارک خاص خواهد بود.

۲-۲- مسیریابی مبتنی بر لندمارک

برخی از روش‌های موجود از لندمارک‌ها یا محل تجمع گره‌ها در طراحی خود استفاده می‌کنند. در این روش‌ها معمولاً فرض بر این است که شبکه VDTN از تعدادی لندمارک تشکیل شده است که گره‌ها در میان این لندمارک‌ها حرکت می‌کنند [۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۳]. روش‌های مبتنی بر لندمارک را می‌توان در دو دسته گروه‌بندی کرد. دسته‌ای که بر حرکت هر گره به صورت مجزا متمرکز می‌باشند و دسته‌ای که حرکت کلی و همه گره‌ها با هم را مد نظر قرار می‌دهند.

دسته اول از روش‌های مبتنی بر لندمارک فرض می‌کنند که ملاقات یک جفت گره در صورتی که هر دو حداقل یک لندمارک مشترک داشته باشند، محتمل است و در انتخاب گره رله به این

قابلیت گسترش را در مسیریابی و جلورانی داشته باشیم.

ب) ساخت و به روز رسانی جدول مسیریابی لندمارک‌ها با اطلاعات محلی انجام می‌شود. مسیر میان لندمارک‌هایی که فاصله آن‌ها از هم زیاد است و در دو ناحیه مختلف قرار دارند به کمک اطلاعات منتشر شده از لندمارک‌های مرزی و ناحیه‌های همسایه انجام می‌گیرد. به همین علت نیازی به پخش سیل آسا در شبکه نیست.

ج) در کشف و یافتن ناحیه‌ها از یک الگوریتم مبتنی بر مرکزیت لبه‌ای بهره می‌بریم.

د) از ارزیابی‌های مبتنی بر داده‌های واقعی برای شناخت ساختار شبکه استفاده شده و نتایج ارزیابی نیز کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهند.

در ادامه این مقاله، ابتدا در بخش ۲ به مطالعه الگوی حرکت گره‌ها و روش‌های مبتنی بر لندمارک می‌پردازیم. بعد از آن در بخش ۳ مدل سیستم مطرح می‌شود و در بخش ۴ جزئیات روش پیشنهادی مطرح می‌گردد. سپس در بخش ۵ به ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از مجموعه داده‌های واقعی تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو و شهر رم پرداخته می‌شود. در نهایت نتیجه‌گیری این مقاله در بخش ۶ تشریح شده است.

۲- کارهای مرتبط

در این بخش به ارائه کارهای مرتبط در دو بخش الگوی حرکت گره‌ها و روش‌های مبتنی بر لندمارک می‌پردازیم.

۲-۱- الگوی حرکت گره‌ها

از آنجا که روش پیشنهادی وابسته به حرکت گره و به عبارت دیگر با فرض حرکت گره میان لندمارک‌ها است، در این بخش حرکت گره در شبکه بررسی می‌شود.

حرکت گره‌ها در گذر زمان دارای یک الگوی مشخص است و این حرکت به صورت کاملاً تصادفی نیست [۲۲]. حرکت گره‌ها در شبکه‌های خودرویی وابسته به علائق و الگوی رانندگی راننده خودرو است، که این امر حتی در تاکسی‌ها نیز دیده می‌شود [۲۲، ۲۵]. یک نمونه اخیر از بررسی حرکت تاکسی‌ها در شهر بورسا ترکیه بوده که یک الگوی تکرار شونده در حرکت آن‌ها بوده است [۲۵]. این الگو و نظم شامل حرکت گره در میان لندمارک‌های مختلف است، برای یک بازه زمانی به نسبت طولانی حفظ می‌شود.

گره‌های خودرویی که دارای علائق و الگوی رانندگی مشابه می‌باشند، همدیگر را بیشتر ملاقات می‌کنند و این ملاقات‌ها در

حرکت یک گره خاص میان لندمارک‌های مختلف را پیش‌بینی می‌کند. به صورت خاص، روش GeoAKOM که گسترشی از روش GeoMobCom است، از یک مدل مارکوف مرتبه K برای پیش‌بینی لندمارک بعدی استفاده می‌کند.

جدول ۱: مقایسه ای از روش‌های موجود و ویژگی‌های اصلی آن‌ها

نام روش	پیش‌بینی حرکت	نقطه دسترسی	محیط شبیه‌سازی	مجموعه داده
DTN-FLOW [۲۰]	مدل مارکوف مرتبه K	بله	توسعه داده شده توسط نویسندگان	DNET و DART
GreedyFlow [۲۳]	مدل مارکوف مرتبه K	خیر	توسعه داده شده توسط نویسندگان	DNET, DART و ROMA
PER [۲۱]	مدل شبه مارکوف	بله	توسعه داده شده توسط نویسندگان	Stanford Trace
BUBBLE [۱۸] Rap	گروه اجتماعی مشترک و مرکزیت گره‌ای	خیر	شبیه ساز Hagglesim	Infocom05, Hong-Infocom06 و Cambridge, Kong Reality
GeoMobCon [۲۲]	مدل حرکت ماکرو و میکرو	بله	شبیه ساز ONE	Shanghai
GeoAKOM [۲۵]	مدل حرکت ماکرو و میکرو و مدل مارکوف مرتبه K	بله	شبیه ساز ONE	تاکسی‌های شهر بوسا
MCDP [۳۱]	مدل مارکوف	خیر	شبیه ساز OMNeT++	تولید به صورت مصنوعی از طریق شبیه ساز حرکت محیط های شهری SUMO
DART: پردیس دانشگاه دارتموث DNET: دیزل نت Shanghai: تاکسی‌های شهر شانگهای ROMA: تاکسی‌های شهر رم Infocom05: گروهی از حاضرین در کنفرانس Infocom 2005 Infocom06: گروهی از حاضرین در کنفرانس Infocom 2006 Hong-Kong: افراد انتخاب شده‌ای در شهر هنگ کنگ Cambridge: گروهی از دانشجویان دانشگاه کمبریج Reality: گروهی از دانشجویان دانشگاه MIT Stanford Trace: دانشکده علوم کامپیوتر دانشگاه استنفورد				

در نهایت می‌توان به روش MCDP [۳۱] اشاره کرد، که دارای یک اصل ساده برای انتشار و جلورانی پیام‌ها است. این اصل در یک جمله به صورت «جلورانی در صورتی که مرتبط باشد» است. به عبارت دیگر، یک گره رله زمانی اقدام به جلورانی پیام می‌کند، که پیام برای گره‌های مقصد جذاب باشد و در صورت عدم جذابیت آن برای مقصدها، آن را نادیده می‌گیرد. در این روش، معیارهای متفاوتی برای جذاب بودن و یا مرتبط بودن مطرح می‌کند. ولیکن، مقاله مذکور برای سادگی تنها به احتمال ملاقات گره از یک لندمارک در آینده توجه می‌کند و به عبارتی در صورتی که

امر دقت می‌کنند. لندمارک‌ها در این دسته براساس یک علاقه یا امر مشترک به وجود آمده‌اند. نمونه‌هایی از این دسته از روش‌های برپایه لندمارک عبارتند از PER [۲۱] و BUBBLE Rap [۱۸]. روش PER حرکت گره میان لندمارک‌ها را با زنجیره شبه مارکوف مدل می‌کند و احتمال حضور گره‌ها در لندمارک‌های مختلف را می‌یابد. در صورتی که احتمال ملاقات یک گره در یکی از لندمارک‌ها با گره مقصد بیشتر از رله باشد، این گره به عنوان رله انتخاب می‌گردد.

نمونه دیگری از دسته اول از روش‌های مبتنی بر لندمارک، روش BUBBLE Rap است که، ترکیبی از لندمارک‌ها و مرکزیت است. لازم به ذکر است که روش BUBBLE Rap از مفهومی به نام گروه اجتماعی استفاده می‌کند که از لحاظ ساختار و کارکرد می‌توان آنرا معادل لندمارک در دیگر روش‌ها فرض نمود.

در دسته دوم که بر حرکت کلی گره‌ها میان لندمارک‌ها متمرکز است، به جای مسیریابی میان گره‌ها، مسیریابی میان لندمارک‌ها پیشنهاد شده و شبکه‌ای از گره‌ها به شبکه‌ای از لندمارک‌ها مدل می‌گردد. برای نمونه در روش DTN-FLOW [۲۰]، وقتی یک پیام تولید می‌گردد، برای مسیریابی آن یک مسیر از لندمارک‌ها تعیین می‌گردد و سپس پیام به گره رله‌ای تحویل داده می‌شود که دارای بالاترین احتمال حرکت به سمت لندمارک بعدی است. در روش DTN-FLOW هر لندمارک دارای یک نقطه دسترسی و بافر ذخیره محتوا است که به ذخیره موقت پیام‌ها در لندمارک کمک می‌کند و باعث افزایش کارایی و بهره‌وری مدل می‌گردد.

روش دیگری که نویسندگان مقاله DTN-FLOW پیشنهاد داده‌اند، روشی است به نام GreedyFlow [۲۳] که بسیاری از فرضیات و ایده‌های روش قبلی را به ارث برده است، ولی در آن لندمارک‌ها فاقد نقطه دسترسی و بافر ذخیره محتوا می‌باشند و عملاً با افت کارایی نسبت به DTN-FLOW مواجه شده است. روش GreedyFlow از یک مفهوم به نام نقشه جهانی لندمارک‌ها استفاده می‌کند که شامل موقعیت‌های مکانی لندمارک‌ها در شبکه است و قبل از شروع کار شبکه ساخته می‌شود و هر کدام از گره‌های شبکه یک نسخه از این نقشه جهانی را در اختیار دارند و از این نقشه برای جهت کلی جلورانی پیام‌ها استفاده می‌کنند.

در نهایت می‌توان به دو روش GeoMobCon [۲۲] و GeoAKOM [۲۵] اشاره کرد که حرکت گره‌ها را به دو صورت ماکرو و میکرو تقسیم‌بندی می‌کند. الگوی حرکت ماکرو به جریان خودروها میان لندمارک می‌پردازد و فارغ از یک گره خاص، حرکت کلی میان بخش‌های مختلف شبکه را در نظر می‌گیرد. الگوی حرکت میکرو بر یک گره خاص متمرکز می‌گردد و با یک مدل احتمالاتی،

آن‌ها را به صورت مجموعه $\mathbb{L} = \{L_1, L_2, \dots, L_N\}$ نشان خواهیم داد، که هر ناحیه دارای یک مجموعه لندمارک است. برای نمونه ناحیه L_x شامل مجموعه لندمارک $\mathbb{L}_x = \{L_{x,1}, L_{x,2}, \dots, L_{x,M}\}$ است.

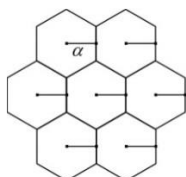
در روش پیشنهادی، مکان‌های محبوب یا جذاب را به عنوان لندمارک انتخاب می‌کنیم که بخش عمده حرکت و توقف گره‌ها را پوشش می‌دهند و اغلب ملاقات گره‌ها و بالطبع موقعیت‌های جلورانی در آن‌ها اتفاق می‌افتد. هر لندمارک در خود یک بافر ذخیره محتوا دارد که می‌تواند پیام‌ها را به صورت موقت ذخیره نماید و سپس آن‌ها را به کمک خودروهای عبوری به لندمارک بعدی ارسال نماید.

ناحیه‌ها عملاً یک مفهوم انتزاعی می‌باشند و برخلاف لندمارک‌ها که دارای بافرهای ذخیره محتوا می‌باشند، دارای هیچ زیرساختی نمی‌باشند. وظیفه اصلی لایه بالاتر فراهم کردن یک ساختار سلسله‌مراتبی در راستای افزایش گسترش‌پذیری روش پیشنهادی است. به عبارت دیگر، این رهیافت برای سناریوهایی که دارای ناحیه عملیات گسترده و دارای تعداد زیادی گره می‌باشند، طراحی شده است.

برای مسیریابی، هر لندمارک یک جدول مسیریابی خواهد داشت و براساس این جدول اقدام به مسیریابی و جلورانی پیام‌ها می‌کند. یکی از چالش‌های این مقاله، ساخت جدول مسیریابی هر لندمارک است. در این راه، برای ساخت جدول مسیریابی از جریان خودروهایی که میان لندمارک‌ها حرکت می‌کنند، بهره می‌بریم و همچنین از فاصله و تعداد خودروهای میان دو لندمارک برای ساخت جدول مسیریابی میان لندمارکی بهره برده می‌شود.

۳-۲- لندمارک‌ها

همانگونه که در بخش کارهای مرتبط بیان شد، تمامی مکان‌ها محدوده عملیات در شبکه دارای یک اهمیت برای گره‌ها نیستند و بعضی برای گره‌ها جذاب‌تر می‌باشند و گره‌ها در آن‌ها حضور بیشتری می‌یابند. بنابراین می‌توان تنها بر مکان‌های محبوب یا همان لندمارک‌ها متمرکز شد. این کار از یک طرف باعث کاهش سربار پیاده‌سازی می‌شود و از طرف دیگر ساخت جدول‌های مسیریابی ساده‌تر شده و پیچیدگی آن کاهش می‌یابد.



شکل ۱: ساختار سلولی پیشنهادی برای یافتن لندمارک‌ها

احتمال عبور از یک لندمارک در آینده وجود داشته باشد، فرض می‌کند که پیام برای گره مقصد جذاب است. این مقاله، برای محاسبه احتمال ملاقات گره از یک لندمارک از یک مدل زنجیره مارکوف استفاده کرده است.

به صورت کلی، با نگاه دقیق‌تر به روش‌های موجود می‌توان به این نتیجه رسید که آن‌ها برای سناریوهایی طراحی شده‌اند که دارای تعداد کمی گره می‌باشند که در یک محیط کوچک پرسه می‌زنند. به عبارت دیگر این روش‌ها از دو جنبه غیرقابل گسترش می‌باشند که عبارتند از: محیط عملیاتی شبکه و تعداد گره‌هایی که در شبکه وجود دارند. برای نمونه روش GeoMobCon برای ساده‌تر کردن مدل اقدام به محدود کردن ناحیه شبیه‌سازی به یک بخش کوچک از شهر شانگهای می‌کند و تعدادی از گره‌ها را از شبیه‌سازی حذف می‌کند. برای جمع‌بندی این بخش، خلاصه‌ای از روش‌های موجود در جدول ۱ آمده است.

۳- مدل سیستم

در این بخش به ارائه مدل سیستم می‌پردازیم. به صورت کلی، شبکه به یکسری ناحیه تقسیم می‌شود و به جای مسیریابی میان گره‌ها، به مسیریابی میان ناحیه‌ها انجام می‌شود. برای یافتن ناحیه‌ها، ابتدا لندمارک‌ها یا همان مکان‌هایی که گره‌های خودرویی غالباً در آن‌ها حضور دارند و بخش عمده‌ای از زمان خود را در آن‌ها سپری می‌کنند را می‌یابیم. سپس با استفاده از روش مرکزیت لبه‌ای اقدام به یافتن شاهراه‌های متصل کننده‌ی بخش‌های مختلف شهر می‌کنیم. این شاهراه‌ها، بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی می‌باشند که ناحیه‌های مختلف در یک شهر را به هم متصل می‌کنند. با حذف این شاهراه‌ها، شهر به صورت جزیره‌های جدا از هم در خواهد آمد که می‌توان هر کدام از آنها را یک ناحیه در نظر گرفت. سپس اقدام به ساخت جدول‌های مسیریابی در هر لندمارک می‌کنیم و براساس این جدول‌ها مسیریابی بین بخش‌های مختلف انجام می‌گیرد.

۳-۱- کلیات ساختار روش پیشنهادی

در این مقاله یک ساختار دولایه‌ای برای مسیریابی و جلورانی پیام استفاده می‌شود. از آنجا که تعداد لندمارک‌ها در سناریوهای دنیای واقعی زیاد می‌باشند، بنابراین پیشنهاد داده‌ایم که از یک ساختار سلسله‌مراتبی برای مدیریت لندمارک‌ها و جدول‌های مسیریابی میان لندمارک‌ها استفاده کنیم. بنابراین در لایه پایین لندمارک‌ها قرار می‌گیرند و در لایه بالا تعدادی از لندمارک‌ها را در یک ناحیه قرار می‌دهیم. فرض می‌کنیم که شبکه از N ناحیه تشکیل شده و

دیگر از سلول خارج می‌شوند. این سناریو در بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی شهر مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر اگر گره از مسیر A1 وارد سلول شود و از مسیر E1 خارج خواهد شد، و اگر از طریق مسیر A2 وارد سلول شود از مسیر E2 خارج می‌شود. در سناریو سوم، سلول‌های محبوب خود دارای تعداد زیادی سلول محبوب همسایه می‌باشند و برای یک راه خروجی چندین راه ورودی به سلول وجود دارد، یا برای یک راه ورودی، چندین راه خروجی وجود دارد. این سناریو معمولاً در ناحیه‌های مرکزی شهر یا تقاطع‌ها دیده می‌شود.

در سناریو اول که سلول‌های محبوب از هم فاصله دارند، بدون محدودیت همه آن‌ها به عنوان لندمارک انتخاب می‌شوند. در سناریو دوم سلول‌ها به صورت یکی در میان به عنوان لندمارک انتخاب می‌شوند. در سناریو سوم، اگر یک سلول دارای چندین خروجی یا چندین ورودی باشد، آنگاه این سلول به عنوان لندمارک انتخاب می‌شود و سلول‌های همسایه و محبوب این سلول در صورتی که تنها یک مسیر ورودی و خروجی داشته باشند در زمره لندمارک قرار نمی‌گیرند، در غیر این صورت این سلول‌ها شامل حالت چند ورودی یا چند خروجی می‌شوند و خود به عنوان لندمارک انتخاب می‌شوند.

۳-۳- تعیین یا کشف ناحیه‌ها

اولین گام قبل از تعیین ناحیه‌ها یافتن، مشخص کردن لندمارک‌ها است که در بخش قبل انجام شد. سپس، یک گراف وزن دار $G = (V, E, W)$ که V مجموعه‌ی لندمارک‌ها و E مسیرهای میان لندمارک‌ها است، ساخته می‌شود. در این گراف لندمارک‌ها به صورت راس‌های گراف نمایش داده می‌شوند و اگر جریانی از خودرو میان دو لندمارک a و b وجود داشته باشد، آنگاه یال $e_{a,b}$ میان آن‌ها وجود خواهد داشت. وزن یال $e_{a,b}$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

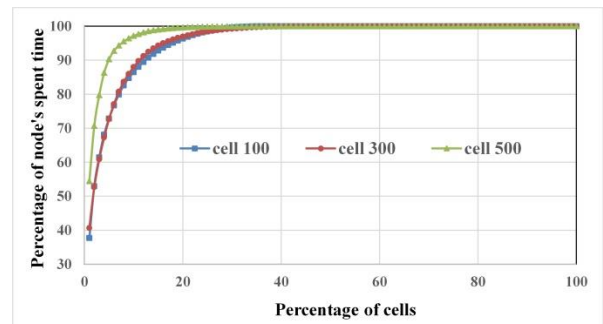
$$W_{a,b} = \frac{\tau_{a,b}}{\gamma_{a,b}} \quad (1)$$

وقتی که $\tau_{a,b}$ متوسط زمان حرکت خودروها میان لندمارک‌های a و b است و $\gamma_{a,b}$ متوسط تعداد خودروهایی است که در یک واحد زمانی میان لندمارک‌های a و b حرکت می‌کنند. در تشریح (۱) می‌توان بیان کرد که گره‌هایی که میان لندمارک‌ها حرکت می‌کند، امکان حمل و انتقال پیام میان لندمارک‌ها را دارند. هر چه تعداد ماشین‌هایی که میان دو لندمارک حرکت می‌کنند بیشتر باشد امکان و ظرفیت حمل پیام میان آن‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین تعداد خودروهایی که میان لندمارک‌ها حرکت می‌کنند

برای پیدا کردن لندمارک‌ها یک ساختار سلولی پیشنهاد شده است که ناحیه عملیات شبکه را به سلول‌هایی تقسیم نماید (شکل ۱). هر سلول قسمتی از شبکه را تحت پوشش قرار می‌دهد. اندازه این قسمت با شعاع سلول α مشخص می‌گردد، که فاصله از مرکز سلول با ناحیه‌های مرزی سلول است. بنابراین شعاع سلول، مساحت تحت پوشش سلول را مشخص می‌کند و ما به آن اندازه سلول می‌گوییم. بررسی الگوی حرکت و اقامت گره‌ها در سلول‌های مختلف آشکار می‌سازد که گره‌ها ترجیح می‌دهند در یک تعداد محدود از سلول‌ها اقامت یابند که ما آنها را سلول‌های می‌نامیم.

برای بررسی الگوی حرکت گره‌ها در میان سلول‌ها و یافتن لندمارک‌ها، از یک نمونه مجموعه داده به نام تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو [۲۰] استفاده کرده‌ایم. این مجموعه داده شامل اطلاعات ثبت شده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی ۵۳۶ تاکسی در یک بازه‌ی تقریباً یک ماهه از ۱۷ ماه می تا ۱۰ ماه ژوئن سال ۲۰۰۸ بوده است. این مجموعه داده دارای ریزدانگی خوبی در ثبت موقعیت‌های مکانی است به گونه‌ای که متوسط زمان میان ثبت موقعیت‌های مکانی متوالی حدوداً ۱۰ ثانیه است.

همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، حدود ۹۰ درصد از حرکت گره‌ها در یک دهم سلول‌ها (اندازه سلول ۳۰۰ متر) اتفاق می‌افتد و می‌توان سلول‌های که بیشتر زمان حرکت و اقامت گره‌ها در آنها اتفاق می‌افتد را به عنوان سلول‌های برتر یا محبوب انتخاب کرد. در این مقاله سلول‌های برتر به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که ۹۰ درصد از زمان اقامت گره‌ها در آن سلول‌ها واقع شود.



شکل ۲: درصد اقامت گره‌ها در سلول‌های محبوب

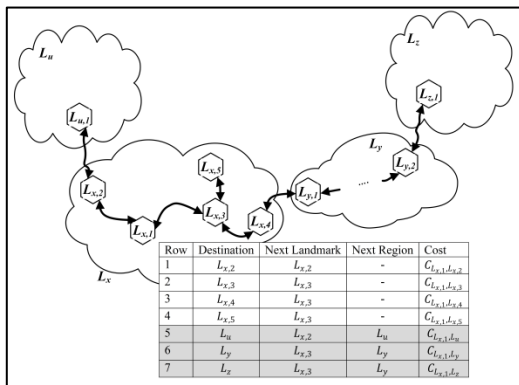
سلول‌های محبوب می‌توانند در سه سناریو مختلف براساس فاصله میان آنها و راه‌های ورود و خروج به آن‌ها از طرف دیگر سلول‌های برتر مورد دسته‌بندی قرار گیرند. در اولین سناریو، سلول‌های برتر دارای فاصله از هم می‌باشند و سلول برتری در همسایگی آنها وجود ندارد. این سناریو در محیط‌های غیرشلوغ یا تنگ دیده می‌شود. در سناریوی دوم، سلول‌های محبوب به صورت یک الگوی خطی در کنار هم قرار دارند و گره‌ها از طریق یک مسیر مشخص وارد یک سلول می‌گردند و سپس از طریق یک مسیر مشخص

L_x را به صورت $L_{x,i}$ نشان خواهیم داد. لازم به ذکر است که یافتن لندمارک‌ها و ناحیه‌ها در مقاله فعلی به صورت آفلاین انجام می‌گیرد. در توضیح چرایی آفلاین بودن این بخش باید به این نکته توجه شود که در هر لندمارک باید یک بافر ذخیره پیام نصب شود و این امر باید توسط مدیر شبکه و قبل از شروع کار شبکه انجام گیرد. این فرض در شبکه‌های خودروپی یک فرض معمول است و نیاز به تعیین محل نصب RSUها یا بافرهای ذخیره محتوا، قبل از شروع به کار شبکه و به صورت آفلاین انجام می‌شود.

۴- روش پیشنهادی

پس از تعیین ناحیه‌ها و لندمارک‌های درون آن‌ها، هر لندمارک اقدام به ساخت یک جدول مسیریابی می‌کند و براساس این جدول اقدام به جلورانی پیام‌ها می‌کند. اگر مبدا و مقصد در لندمارک‌های درون یک ناحیه باشند، جدول مسیریابی باید مسیری از لندمارک‌ها را فراهم نماید تا پیام به لندمارک مقصد برسد. در غیر این صورت، اگر لندمارک مقصد در ناحیه‌ای متفاوت از ناحیه لندمارک مبدا باشد، آنگاه جدول مسیریابی باید مسیری از ناحیه‌ها را برای رسیدن به ناحیه‌ای که لندمارک مقصد در آن قرار دارد فراهم نماید.

شکل ۳ نمونه‌ای از ساختار جدول مسیریابی را نشان می‌دهد. در این شکل جدول مسیریابی برای لندمارک $L_{x,1}$ نمایش داده شده است.



شکل ۳: ساختار جدول مسیریابی شامل رکوردهایی برای مقصدهایی از جنس لندمارک و ناحیه.

جدول مسیریابی هر لندمارک دارای دو دسته رکورد یا مدخل است. یک دسته از رکوردها که مسیر به یک لندمارک درون ناحیه را نشان می‌دهند و دسته دیگر رکوردهایی می‌باشند که مسیر به ناحیه‌های دیگر را نشان می‌دهند. مسیر به لندمارک‌های درون ناحیه از طریق یک پروتکل حالت لینک^۸ است که به کمک معیاری از تاخیر و پهنای باند تخمینی میان لندمارک‌ها به محاسبه‌ی سریع‌ترین مسیر میان لندمارک‌ها اقدام می‌کنند. یافتن مسیر به

باید به پهنای باند میان لندمارک‌ها تعبیر گردد. به عبارت دیگر، تعداد خودروهایی که میان دو لندمارک حرکت می‌کنند، نشان دهنده ظرفیت‌های جلورانی و پهنای باند میان آن‌ها است و هر چه زمان حرکت میان دو لندمارک طولانی‌تر باشد، پهنای باند کمتری میان دو لندمارک خواهد بود. بنابراین هزینه‌ی ارسال از یک یک لندمارک به لندمارک دیگر که به صورت وزن یال‌ها $(W_{a,b})$ نمایش داده می‌شود، رابطه‌ی مستقیم با زمان حرکت میان لندمارک‌ها و رابطه‌ی عکس با تعداد خودروهایی که میان آن‌ها حرکت می‌کنند، دارد.

بنابراین ما با یک گراف وزن‌دار مواجه هستیم و توسط یک الگوریتم مبتنی بر مرکزیت میانی یال اقدام به تقسیم‌بندی آن به ناحیه‌های مختلف می‌نماییم. مفهوم مرکزیت میانی یال بیان می‌کند که لینک‌هایی که میان نواحی مختلف می‌باشند، معمولاً متحمل ترافیک زیاد و شدیدی می‌شوند و عملاً گلوگاه‌های راه‌های ارتباطی میان نواحی مختلف می‌باشند. بنابراین هدف ما در اینجا عبارت است از پیدا کردن لینک‌های که گلوگاه می‌باشند و ترافیک میان دو ناحیه را حمل می‌کنند و با قطع آن‌ها در گراف به زیر گراف یا ناحیه‌های جدا از هم دست می‌یابیم.

بنابراین، گام اول یافتن مرکزیت لبه‌ای همه لینک‌های گراف است و سپس حذف لینک‌ها با بیشترین مقدار مرکزیت لبه‌ای است. اگر چند لینک دارای بالاترین مرکزیت لبه‌ای باشند، همگی باهم حذف می‌شوند. سپس، اقدام به محاسبه‌ی مجدد مرکزیت لبه‌ای برای لینک‌های باقی‌مانده می‌کنیم و فرآیند را ادامه می‌دهیم. مفهوم مرکزیت میانی یال نشان دهنده‌ی تعداد گره‌هایی از یک گراف است که کوتاهترین مسیر حرکت میان آن‌ها از یک لینک خاص می‌گذرد. برای محاسبه مرکزیت میانی از الگوریتم نیوتن [۲۱] استفاده کرده‌ایم.

فرآیند حذف لینک‌ها تا جایی ادامه می‌یابد که به بیشترین مقدار Q -ماژولاریتی برسیم.

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{a,b} (W_{a,b} - \frac{D_a D_b}{2m}) \delta(a,b) \quad [21] \quad (2)$$

به شرطی که تابع $\delta(a,b)$ دارای مقداری دودویی است و وقتی که لندمارک‌های a و b در یک ناحیه باشند یک است و در غیر این صورت دارای مقدار صفر باشد. حاصل جمع وزن یال‌های گراف با m و به صورت $m = \frac{1}{2} \sum_{a,b} W_{a,b}$ نشان داده شده است و D_a و D_b به ترتیب جمع وزن یال‌های (جمع درجات) راس a و b هستند.

با اجرای فرآیند بالا، ناحیه‌ها و لندمارک‌های واقع شده در آن‌ها مشخص می‌شود. پس از آن هر لندمارک واقع شده در هر ناحیه

محاسبه‌ی جدول مسیریابی میان لندمارکی می‌کند. برای این منظور، لندمارک‌ها الگوریتم دیکسترا را برای یافتن بهترین مسیر به لندمارک‌های مختلف اجرا می‌کنند و اطلاعات مسیرهای پیدا شده را در جدول مسیریابی قرار می‌دهند.

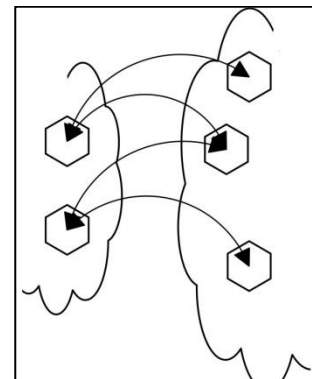
فاز دوم از یک الگوریتم بردار فاصله بهره می‌برد. در این فاز از جدول مسیریابی میان لندمارکی که در فاز اول ساخته شده استفاده می‌شود. پس از فاز اول، هر لندمارک درباره‌ی ناحیه‌های همسایه و بهترین مسیر به ناحیه‌های همسایه اطلاع دارد. همچنین، هر لندمارک از هزینه یا وزن لینک به ناحیه همسایه دارای اطلاعاتی است. بنابراین هر لندمارک از جمله، لندمارک‌های مرزی درباره‌ی همه ناحیه‌های همسایه ناحیه خود دارای اطلاع می‌باشند و این اطلاعات که شامل هزینه دسترسی یا لینک میان دو ناحیه است را به ناحیه‌ای که همسایه لندمارک مرزی است ارسال می‌کنند و همچنین اطلاعات مشابهی را از طریق لندمارک مرزی در ناحیه همسایه دریافت می‌کنند.

برای نمونه در شکل ۳ ناحیه L_x با ناحیه‌های L_u و L_y همسایه است و پس از فاز اول تمام لندمارک‌های درون L_x از ناحیه‌های L_u و L_y و مسیر دسترسی به آن‌ها اطلاع دارند. لندمارک $L_{x,a}$ که یک لندمارک مرزی در ناحیه L_x است اطلاعات مسیر به ناحیه L_u را به ناحیه L_y ارسال می‌کند و به لندمارک $L_{y,1}$ اطلاع می‌دهد که مسیری به ناحیه L_u می‌شناسد که دارای هزینه $C_{L_{x,a},L_u}$ است. لندمارک $L_{y,1}$ نیز اطلاعات مشابهی از مسیر به ناحیه‌ی L_z برای لندمارک $L_{x,4}$ می‌فرستد.

در ادامه، دیگر لندمارک‌های درون ناحیه‌های L_x و L_y می‌توانند جدول مسیریابی خود را به روزرسانی نمایند و یک رکورد برای رسیدن (به ترتیب) به ناحیه L_u و L_z به آن اضافه نمایند. با ادامه این فرآیند، لندمارک‌های مرزی از ناحیه‌های دیگر مطلع می‌شوند و دوباره آن‌ها را به دیگر ناحیه‌ها اعلان می‌کنند. سپس لندمارک‌های مرزی مسیر کشف شده به دیگر ناحیه‌ها را به لندمارک‌های درون ناحیه خود اعلام می‌نماید و این فرآیند تا زمانی که مسیر به دیگر ناحیه‌ها به یک پایداری برسد، ادامه می‌یابد. از آنجا که روش پیشنهادی به صورت بردار فاصله بوده، ما از روش‌های ممانعت از حلقه برای جلوگیری از به وجود آمدن حلقه در مسیرهای کشف شده نیز بهره برده‌ایم.

لندمارک مرزی در زمان اعلان مسیر به دیگر ناحیه‌ها باید هزینه دسترسی به ناحیه مذکور را بیان نماید. بنابراین هر لندمارک مرزی $L_{x,j}$ برای معرفی ناحیه L_z به ناحیه L_x در قالب یک پیام اعلام می‌کند که مسیری به ناحیه‌ی L_z می‌شناسد و این مسیر دارای هزینه‌ی $C_{L_{x,i},L_z}$ است. این هزینه با رابطه‌ی زیر بدست

ناحیه‌های دیگر به کمک یک پروتکل بردار فاصله^۹ انجام می‌شود. محاسبه جدول مسیریابی دارای دو فاز است. در فاز نخست، وزن لینک میان لندمارک‌ها در یک ناحیه، جدول مسیریابی میان لندمارکی در حوزه یک ناحیه و وزن لینک میان لندمارک‌ها با ناحیه‌های همسایه محاسبه می‌شود. در فاز دوم جدول مسیریابی میان ناحیه‌ای^{۱۰} محاسبه می‌گردد.



شکل ۴: ناحیه‌های همسایه و ارتباط میان چندین لندمارک از آن‌ها

فاز نخست تعیین وزن میان لندمارک‌ها است که با (۱) انجام می‌شود. سپس اطلاعات مربوط به وزن لینک میان لندمارک‌ها در محدوده یک ناحیه به صورت پیام‌های اعلان لینک پخش خواهد شد. با توجه به اینکه لندمارک‌های درون یک ناحیه دارای ارتباطات بیشتری نسبت به دیگر لندمارک‌ها می‌باشند، این رد و بدل کردن اطلاعات در حد یک ناحیه امکان پذیر است.

یکی دیگر از وظایف فاز اول محاسبه وزن لینک میان ناحیه‌ها است. اما در واقعیت ممکن است دو ناحیه با بیش از یک لینک به هم وصل شده باشند (شکل ۴) و یکی از این لینک‌ها از دیگر لینک‌ها توانایی بیشتری در حمل پیام داشته باشد.

توانایی یک لینک میان ناحیه‌ای می‌تواند ناشی از لینک میان دو لندمارک مرزی در دو ناحیه متناظر باشد و یا به علت ارتباطات داخلی خود ناحیه‌ها باشد. بنابراین هر لندمارک $L_{y,k}$ مرزی اقدام به محاسبه وزن یال خود با ناحیه همسایه L_x از طریق رابطه‌ی زیر می‌نماید.

$$W_{L_{y,k},L_x} = \min_i \left(\frac{W_{L_{y,k},L_x,i}}{\beta \times E_{x,i}} \right) \quad (3)$$

وقتی که $E_{x,i}$ یک شاخص از مرکزیت درجه‌ای لندمارک $L_{x,i}$ در ناحیه L_x و β نیز ضریب تعدیل مرکزیت است. سپس لندمارک‌های مرزی در یک ناحیه اقدام به انتشار پیام‌های اعلان وضعیت لینک برای دیگر لندمارک‌ها می‌کنند. بنابراین دو دسته پیام اعلان وضعیت لینک داریم: پیام‌های اعلان وضعیت لینک حاوی وزن لینک میان جفت لندمارک‌ها و لندمارک‌های مرزی با ناحیه‌های همسایه و هر لندمارک با دریافت این پیام‌ها اقدام به

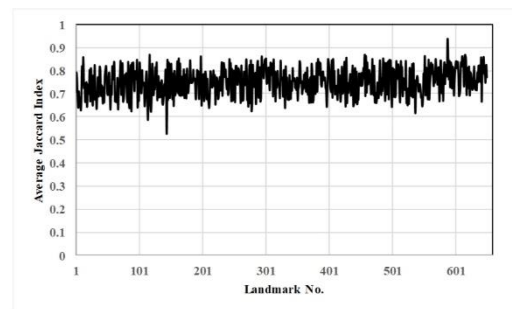
می آید.

$$C_{(L_x, i, L_z)} = W_{L_x, i, L_y, j} + C_{L_y, j, L_z} \quad (4)$$

وقتی که کمترین هزینه دسترسی (مجموع وزن یال‌ها) از لندمارک $L_{y,j}$ به ناحیه L_z است. این فرآیند به همین ترتیب ادامه می یابد تا تمامی ناحیه ها از مسیرهای دسترسی و هزینه ی دسترسی به یکدیگر اطلاع یابند.

۴-۱- پیش‌بینی حرکت و انتخاب گره‌های رله

گره‌ها در سناریوهای مختلف دارای الگوهای حرکتی مختلف می‌باشند. در سناریو تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو (و به صورت کلی سناریوهای شامل تاکسی‌ها) که مسیر حرکت خودروها وابسته به مقصد مسافر است، تعیین مسیر کلی حرکت و الگوی حرکت یک گره خاص پیچیده است. چون حرکت گره به یک عامل خارجی به نام مسافر وابسته است. ولی گره‌های این سناریوها نیز دارای یک نظم و الگو می‌باشند که در بین همه مشترک است. این الگو در حرکت به سمت لندمارک بعد خود را نشان می‌دهد. بدین معنا که اگر گرهی در یک لندمارک باشد، مسیرهای خروجی از این لندمارک محدود می‌باشند و تعیین لندمارک بعدی با توجه به الگوی کلی حرکت گره‌ها امکان پذیر است و گره‌ها در انتخاب لندمارک بعدی از یک الگو مشابه استفاده می‌کنند. شکل ۵ شباهت در الگوی حرکت گره‌ها میان لندمارک‌ها وقتی که اندازه سلول $\alpha = 100$ را نشان می‌دهد (در اندازه سلول ۱۰۰ تعداد لندمارک‌ها در حدود ۶۵۰ است). از طرف دیگر عادت‌های شخصی رانندگان نیز بر روی مسیر (حتی برای تاکسی‌ها [۱۹]) تاثیر گذار است.



شکل ۵: شباهت حرکت گره‌ها در لندمارک‌های مختلف با استفاده از شاخص شباهت ژاکار برای لندمارک با اندازه سلول $\alpha = 100$.

بنابراین می‌توان الگوی جریان خروجی از لندمارک‌ها را به کمک یک مدل احتمالی بیان کرد. به عبارتی، اگر خودرویی از لندمارک $L_{x,i}$ وارد لندمارک فعلی $L_{y,j}$ شود به چه احتمالی در گام بعدی وارد لندمارک $L_{z,k}$ می‌شود.

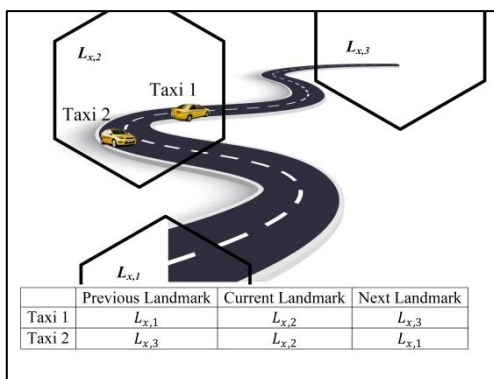
برای پیش‌بینی حرکت گره‌ها از یک زنجیره مارکوف مرتبه K

استفاده می‌کنیم. مارکوف مرتبه K فرض می‌کند که می‌توان حالت آتی را با استفاده از K حالت تاریخچه‌ای قبلی بدست آورد. اگر فرض می‌کنیم که یک گره r میان لندمارک‌های مختلف حرکت می‌کنند و تاریخچه موقعیت‌های مکانی آن در لندمارک‌های مختلف به صورت $H^r = h_1, h_2, \dots, h_n$ است وقتی که h_n لندمارک فعلی، h_{n-1} لندمارک قبلی و به طور کلی h_{n-t} برابر لندمارکی است که گره r در t واحد زمانی قبل در آن حضور داشته است.

برای بیان مدل حرکت گره r فرض می‌کنیم که $H^r(t, t + \tau) = h_t, h_{t+1}, \dots, h_{t+\tau}$ دنباله‌ای از لندمارک‌هایی است که گره r به صورت متوالی در آن‌ها حضور داشته است. احتمال حضور در لندمارک آتی $L_{z,i} = h_{n+1}$ به K لندمارک قبل وابسته باشد، با رابطه زیر نمایش داده خواهد شد.

$$P_{L_{x,i}, \eta}^r = \Pr(h_{n+1} = L_{z,i} | H^r(n - K : n) = \eta) = \frac{N^r(\eta, L_{x,i})}{N^r(\eta)} \quad (5)$$

وقتی که $N^r(s)$ نشان‌دهنده تعداد دفعاتی است که دنباله‌ی لندمارک‌های s در دنباله لندمارک‌های H^r مشاهده می‌شوند. هر گره براساس اطلاعات تاریخچه‌ای به محاسبه احتمال فوق اقدام می‌کند. لندمارک‌ها نیز با استفاده از این احتمال اقدام به انتخاب گره‌های رله می‌کنند. تعداد گره‌های رله انتخابی باید به گونه‌ای باشد که حاصل جمع $\sum_r P_{L_{x,i}, \eta}^r$ بیشتر از μ گردد. وقتی که μ ضریب اطمینان جلورانی است و هر چه بزرگتر باشد تعداد نسخه‌های ارسالی از لندمارک $L_{y,j}$ به لندمارک $L_{z,k}$ بیشتر خواهد بود. بنابراین هر لندمارک متولی پیام را به تعدادی خودرو رله تحویل می‌دهد تا حداقل یکی از این نسخه‌ها به لندمارک بعدی تحویل داده شود.



شکل ۶: سناریو دوم و قرارگیری سلول‌های محبوب در کنار هم به صورت الگوی خطی.

حداقل مقدار K باید به صورت $K = 2$ باشد. این امر یک توضیح ساده دارد. برای تعیین لندمارک بعدی در حرکت یک خودرو نیازمند دانستن جهت حرکت آن هستیم (شکل ۶) و برای دانستن

θ در ارزیابی به ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ کیلوبایت مقداردهی شده‌اند. هر گره تنها می‌تواند به اندازه بافر خود پیام تحویل گیرد و در صورت پر شدن بافر از پذیرش پیام‌های جدید اجتناب می‌ورزد. همانگونه که از قبل بیان شد، ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های رقیب بر روی مجموعه داده‌های شهر رم و شهر سانفرانسیسکو انجام شده است ولی به علت کمبود فضا و مشابهت در نتایج هر دو مجموعه داده، تنها نتایج اثر نرخ تولید بسته برای مجموعه داده شهر رم آورده شده است و در بررسی اثر دیگر موارد از ذکر نمودارهای مرتبط با مجموعه داده شهر رم خودداری شده است.

۵-۱- کارایی براساس نرخ‌های متفاوت تولید بسته

در ابتدا کارایی براساس نرخ تولید پیام λ بررسی می‌گردد، این نرخ بین ۲۰ تا ۸۰ متغیر خواهد بود. در ادامه نرخ دریافت، متوسط تاخیر و هزینه جلورانی برای روش‌های مختلف بررسی می‌گردند.

۵-۱-۱- نرخ دریافت موفقیت آمیز

شکل ۷ و ۸ نرخ دریافت برای چهار روشی که در ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند را در سناریوها با نرخ‌های متفاوت تولید پیام بر روی مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو و شهر رم نشان می‌دهند. با بررسی شکل ۷ می‌توان مشاهده نمود، که نرخ‌های دریافت به صورت $TLVDTR > MCDP > DTN-FLOW > GeoMobCon \approx GeoAKOM$ مجموعه داده شهر رم است، نرخ دریافت روش‌ها به صورت $TLVDTR > DTN-FLOW > MCDP > GeoMobCon > GeoAKOM$ هستند.

شکل‌های ۷ و ۸ به وضوح نشان می‌دهند که نرخ دریافت روش پیشنهادی از دیگر روش‌ها بالاتر است و کمترین فاصله میان روش پیشنهادی و روش‌های رقیب با روش $MCDP$ و $DTN-FLOW$ است. در تشریح این نتیجه می‌توان به شیوه کارکرد روش‌های رقیب اشاره نمود. همانگونه که قبلاً بیان شد، هر سه روش $DTN-FLOW$ ، $GeoMobCon$ و $GeoAKOM$ نیز همانند روش ما یک روش مسیریابی میان لندمارکی می‌باشند که در هر لندمارک یک بافر ذخیره محتوا وجود دارد و این بافر یک نقش فعال در الگوریتم مسیریابی دارد. ولی وقتی تعداد لندمارک‌ها در شبکه زیاد شود، در مدیریت رد و بدل شدن اطلاعات میان لندمارک‌ها به خوبی روش ما عمل نمی‌کنند و در ساخت جدول مسیریابی کارا و مقاوم در برابر اعوجاج‌های شبکه دارای مشکل می‌باشند. روش $MCDP$ نیز یک روش مبتنی بر لندمارک است، ولی از بافر ذخیره محتوا در این روش استفاده نمی‌کند، بلکه با پیش‌بینی موقعیت مکانی آتی گره‌های مقصد به کمک یک مرکز مدیریت ترافیک^{۱۲} امکان

جهت حداقل به یک لندمارک قبل احتیاج است. بنابراین حداقل مقدار K باید دو باشد که در این مقاله نیز ما همین مقدار را انتخاب کرده‌ایم. البته می‌توان برای بالا بردن دقت پیش‌بینی از مدل‌هایی با مرتبه بالاتر استفاده کرد.

۵- ارزیابی روش پیشنهادی

این بخش به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی $TLVDTR$ و مقایسه آن با روش‌های مسیریابی دیگر می‌پردازد. از آنجا که روش پیشنهادی یک روش مسیریابی میان لندمارکی است، با روش‌های برپایه مسیریابی میان لندمارکی $DTN-FLOW$ [۲۰]، $GeoMobCon$ [۲۲]، $GeoAKOM$ [۲۵] و $MCDP$ [۳۱] مقایسه می‌گردد.

برای ارزیابی از سه معیار استفاده شده است: نرخ دریافت موفقیت آمیز، متوسط تاخیر، هزینه جلورانی. نرخ دریافت موفقیت آمیز بیانگر درصدی از پیام‌ها است، که به صورت موفقیت آمیز به مقصد تحویل داده می‌شوند. متوسط تاخیر براساس تاخیر تجربه شده در پیام‌هایی که به صورت موفقیت آمیز به مقصد تحویل داده شده‌اند، محاسبه می‌گردد. هزینه‌ی جلورانی اشاره به متوسط تعداد عملیات جلورانی برای هر پیام دارد.

ارزیابی‌های انجام گرفته بر روی مجموعه داده تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو [۲۶] و مجموعه داده تاکسی‌های شهر رم [۳۴] انجام گرفته است. تعداد خودروها در مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو ۵۳۶ بوده که اطلاعات موقعیت مکانی آن‌ها در یک بازه زمانی حدوداً یک ماهه ثبت شده است. هر تاکسی دارای یک ابزار ثبت موقعیت‌های مکانی حاصل از GPS بوده است. مجموعه داده شهر رم نیز دارای موقعیت مکانی در یک بازه زمانی یک ماهه برای ۳۲۰ تاکسی بوده است.

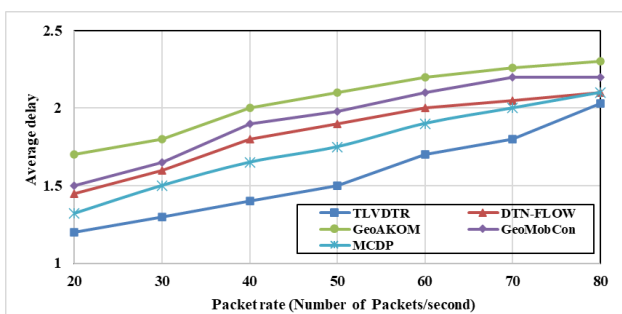
ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل‌های رقیب در محیط شبیه‌ساز ONE [۳۵] بوده و از تنظیمات پیش فرض شبیه‌ساز استفاده شده است. با توجه به اینکه حرکت گره‌ها براساس مجموعه داده واقعی بوده، اندازه محیط شبیه‌سازی، سرعت، توقف و حرکت گره‌ها کاملاً وابسته به مجموعه داده بوده است. در تمامی روش‌ها از یک سوم پیمایش برای مقداردهی اولیه و آموزش روش‌ها استفاده شده است. سپس، پیام‌ها با نرخ λ در روز برای هر لندمارک تولید و به صورت تصادفی به یک لندمارک مقصد منسوب شده است. مقدار پیش‌فرض زمان انقضاء پیام^{۱۱} TTL برای هر پیام سه روز و نیم در نظر گرفته شده است و پس از رسیدن زمان انقضاء، پیام حذف می‌گردد. فرض بر این است که هر بسته دارای حجم یک کیلوبایت است و بافر موجود در هر گره θ KB است. مقدار پیش‌فرض λ و

توانایی حمل پیام میان لندمارک‌ها را دارند، محدود است و افزایش نرخ تولید پیام باعث افزایش بار بر این گره‌ها می‌گردد. به عبارتی افزایش نرخ تولید پیام باعث پر شدن بافر گره‌ها و بالطبع نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام‌ها کاهش خواهد یافت.

نکته‌ی دیگری که در مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، بالاتر بودن نرخ دریافت در مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو نسبت به مجموعه داده شهر رم است. مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو دارای تعداد گره بیشتری بوده و تعداد گره‌های بیشتر به معنای موقعیت‌های جلورانی بیشتر است و باعث موفقیت بالاتر در جنبه نرخ دریافت می‌گردد.

۵-۱-۲- متوسط تاخیر

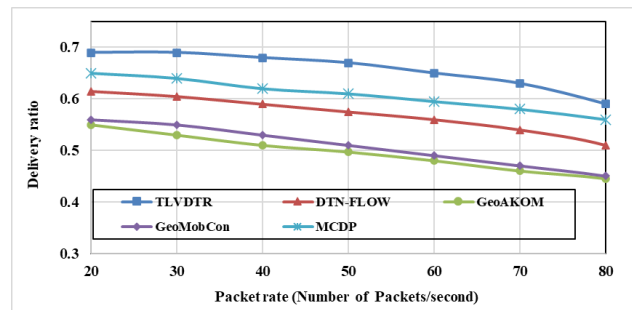
شکل ۹ و ۱۰ نشان دهنده‌ی متوسط تاخیر روش‌های مورد بررسی براساس نرخ تولید پیام است. شکل ۹ نشان می‌دهد که به صورت کلی و با اغماض متوسط تاخیر روش‌های مختلف به ترتیب $TLVDTR < MCDP \approx DTN-FLOW \approx GeoMobCon < GeoAKOM$ است. شکل ۱۰ نیز متوسط تاخیر در مجموعه داده شهر رم نشان می‌دهد که به ترتیب $TLVDTR < MCDP < DTN-FLOW < GeoMobCon < GeoAKOM$ است. در هر دو مجموعه داده، کمترین تاخیر متعلق به روش پیشنهادی است و بیشترین تاخیر متعلق به روش $GeoAKOM$ بوده است. روش پیشنهادی $TLVDTR$ سعی می‌کند کوتاهترین مسیر و در عین حال محتمل‌ترین مسیر را (با استفاده از مرکزیت لندمارک‌های مرزی و احتمال حرکت گره‌های رله به سمت لندمارک بعدی) برای رسیدن به لندمارک مقصد انتخاب کند. به همین علت متوسط تاخیر در این روش از دیگر روش‌ها کمتر شده است.



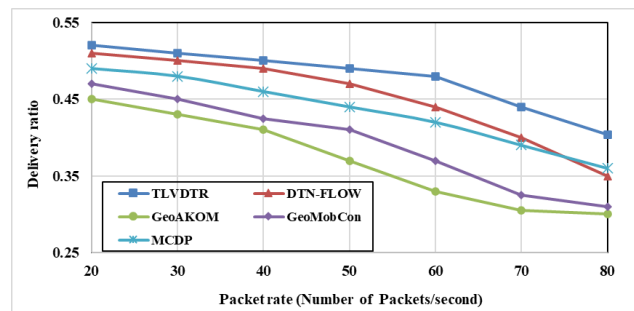
شکل ۱۰: تاثیر نرخ تولید پیام بر متوسط تاخیر در دیتاست رم

از طرف دیگر تمامی روش‌ها نسبت به افزایش نرخ تولید پیام با افزایش متوسط تاخیر مواجه می‌شوند. با افزایش نرخ تولید پیام، بافر گره‌های رله سریع‌تر پر می‌گردد و لندمارک‌ها برای ارسال پیام‌ها باید منتظر گره رله دیگری باشند که امکان حمل پیام‌ها را

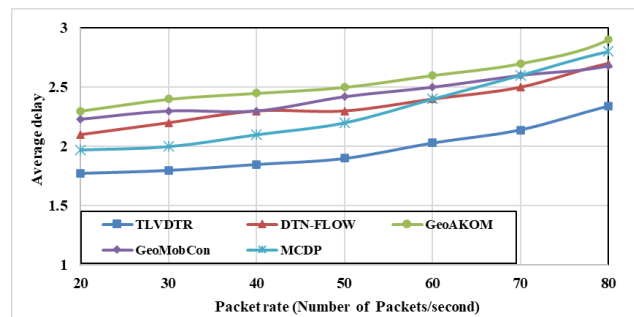
ارسال داده برای لندمارک‌های مقصد را فراهم می‌کند. بررسی نرخ دریافت پیام این روش نشان دهنده کارایی بهتر آن در مجموعه داده سانفرانسیسکو به نسبت مجموعه داده شهر رم است. این تفاوت در کارایی به علت تراکم و پیش‌بینی‌پذیری گره‌ها در مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو به نسبت شهر رم می‌باشد.



شکل ۷: تاثیر نرخ تولید پیام بر نرخ دریافت پیام در دیتاست سانفرانسیسکو



شکل ۸: تاثیر نرخ تولید پیام بر نرخ دریافت پیام در دیتاست رم



شکل ۹: تاثیر نرخ تولید پیام بر متوسط تاخیر در دیتاست سانفرانسیسکو

از طرف دیگر، روش $TLVDTR$ به علت استفاده از ساختار مارکوف مرتبه دو، می‌تواند به صورت کارا جهت حرکت گره‌ها و لندمارک‌های آتی را پیش‌بینی کند. بنابراین، این پیش‌بینی دقیق‌تر لندمارک‌های آتی در روش پیشنهادی ما، اثر خود را بر روی کارایی روش پیشنهادی از جنبه‌های مختلف نشان می‌دهد. بررسی نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام در هر دو شکل ۷ و ۸ نشان می‌دهد، که در تمامی روش‌ها با افزایش نرخ تولید پیام، نرخ دریافت کاهش می‌یابد. در شبکه‌های $VDTN$ تعداد گره‌هایی که

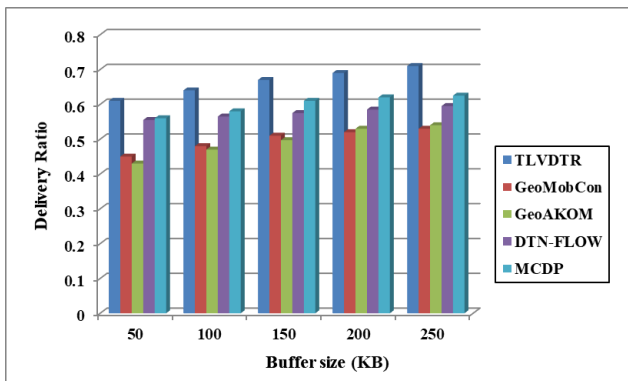
۵-۲- تاثیر اثر میزان بافر بر کارایی

در این بخش به بررسی اثر اندازه بافر بر روی کارایی روش پیشنهادی و روش‌های رقیب می‌پردازیم. شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب اثر بافر بر روی نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام، متوسط تاخیر و هزینه جلورانی بر روی مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو را نشان می‌دهند.

۵-۲-۱- نرخ دریافت موفقیت آمیز

تاثیر میزان بافر بر روی نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام‌ها در شکل ۱۳ رسم شده است. اثر اندازه بافر بر روی روش‌های مختلف به صورت $TLVDTR > MCDP > DTN-FLOW > GeoMobCon \approx GeoAKOM$ است.

همان‌گونه که شکل ۱۳ نشان می‌دهد، اثر افزایش بافر بر روی نرخ دریافت برای تمامی روش‌ها اندکی مثبت بوده است. علت این امر وجود فضای ذخیره بیشتر برای پیام‌ها و افزوده شدن بر توانایی حمل پیام‌ها است، که باعث می‌شود فرصت‌های بیشتری برای جلورانی پیام‌ها به وجود بیاید و به عبارتی ظرفیت شبکه در حمل پیام‌ها افزایش یابد. بیشترین نرخ تحویل موفقیت آمیز پیام همانند قبل متعلق به TLVDTR و کمترین متعلق به GeoMobCon بوده است.



شکل ۱۳: تاثیر اندازه بافر بر نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام

۵-۲-۲- متوسط تاخیر

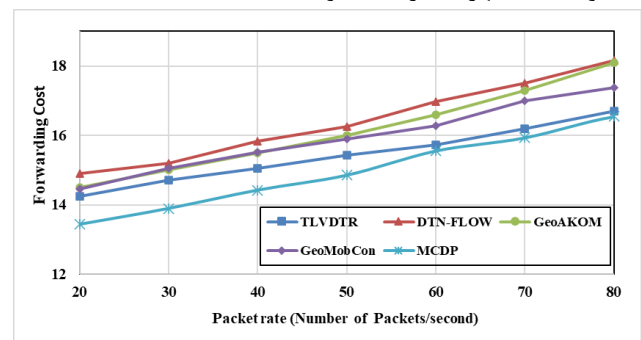
تاثیر میزان بافر بر روی متوسط تاخیر در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. اثر اندازه بافر بر روی متوسط تاخیر همانند قبل به صورت $TLVDTR < MCDP < DTN-FLOW < GeoMobCon < GeoAKOM$ بوده که به دلیل همان علت‌های بیان شده در قبل است.

داشته باشد و این امر باعث افزایش تاخیر در همه روش‌ها می‌شود.

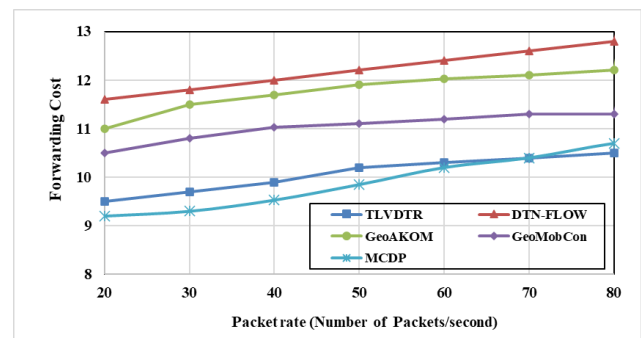
۵-۱-۳- هزینه جلورانی

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ هزینه جلورانی براساس نرخ تولید پیام را نشان می‌دهند. در شکل ۱۱ که نشان دهنده میزان هزینه جلورانی در مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو است، هزینه جلورانی در روش‌های مختلف به صورت $GeoAKOM \approx GeoMobCon \approx DTN-FLOW > TLVDTR > MCDP$ است. هزینه جلورانی روش‌ها تا حدودی به هم نزدیک است که بخشی از این شباهت بر اثر ذات مسیریابی میان لندمارکی این روش‌ها است. کمترین هزینه جلورانی به روش MCDP اختصاص دارد، زیرا در این روش پیام‌ها زمانی ارسال می‌گردند که گره به سمت یک لندمارک خاص حرکت کند و عملاً بخشی از عمل پیش بینی در این مفهوم وجود دارد.

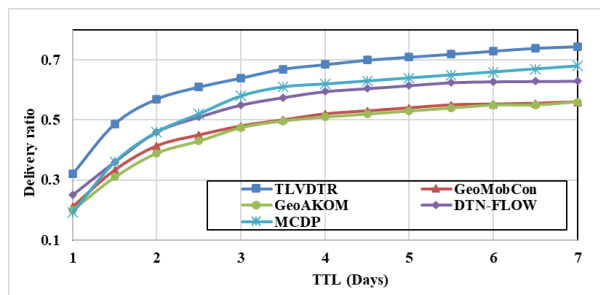
شکل ۱۲ میزان هزینه جلورانی در روش‌های مختلف را بر روی مجموعه داده شهر رم نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که هزینه جلورانی به صورت $GeoAKOM > GeoMobCon > DTN-FLOW \approx TLVDTR > MCDP$ است. مقایسه نتایج بر روی این مجموعه داده نشان می‌دهد که هزینه جلورانی در مجموعه داده شهر رم کمتر بوده است، که این کم بودن به علت موقعیت‌های جلورانی کمتر در این مجموعه داده به نسبت مجموعه داده شهر سانفرانسیسکو است.



شکل ۱۱: تاثیر نرخ تولید پیام بر هزینه جلورانی در دیتاست سانفرانسیسکو



شکل ۱۲: تاثیر نرخ تولید پیام بر هزینه جلورانی در دیتاست رم



شکل ۱۶: تاثیر زمان انقضاء پیام بر نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام

۵-۳- اثر TTL بر کارایی

افزایش TTL باعث به وجود آمدن فرصت‌های جلورانی بیشتر و افزایش نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام‌ها خواهد شد. این افزایش نرخ دریافت موفقیت آمیز در کنار افزایش تاخیر و هزینه جلورانی در تمامی روش‌ها است. شکل ۱۶ اثر TTL بر روی نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام را نشان می‌دهد. ترتیب روش‌ها از جنبه نرخ دریافت موفقیت آمیز پیام همانند اثر نرخ تولید پیام و اندازه بافر و به همان علت‌هایی است که در قبل بیان گردید. در اینجا با توجه به کمبود فضا، تنها نمودار مرتبط با اثر TTL بر روی نرخ دریافت آورده شده است و از آوردن بقیه صرف نظر شده است.

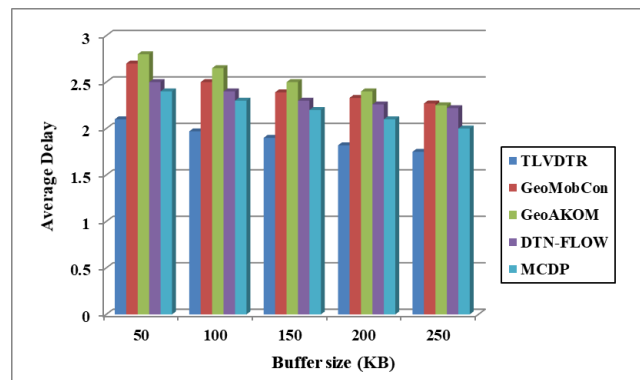
۵-۴- جمع بندی ارزیابی

برای جمع بندی بخش ارزیابی، اثر پارامترهای مختلف بر روی همه روش‌ها در کنار هم آورده شده است. همانگونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، تاثیر افزایش تولید بسته باعث کاهش معیارهای کارایی به صورت کلی می‌گردد. از طرف دیگر افزایش بافر باعث بهبود معیارهای نرخ دریافت و تاخیر می‌شود، ولی دارای اثر منفی بر روی سربار جلورانی است. افزایش TTL منجر به بهبود نرخ دریافت و افزایش تاخیر و سربار جلورانی می‌شود.

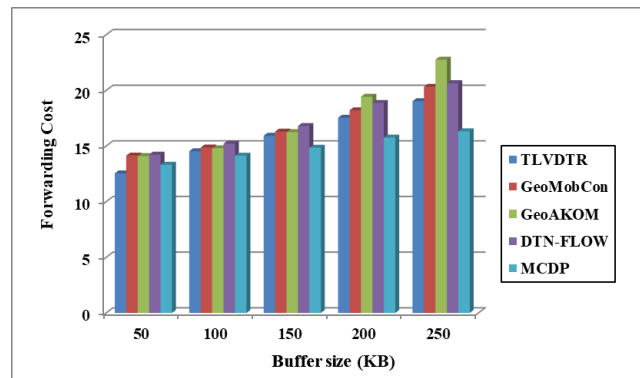
جدول ۲: تاثیر پارامترهای مختلف بر معیارهای کارایی

	نرخ دریافت	تاخیر	سربار جلورانی
نرخ تولید	کاهش	افزایش	افزایش
بافر	افزایش	کاهش	افزایش
TTL	افزایش	افزایش	افزایش

برای مقایسه کارکرد کلی تمام روش‌ها، بدترین و بهترین روش از جنبه‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده‌اند. بهترین کارکردها از جنبه نرخ دریافت، تاخیر و سربار جلورانی متعلق به روش پیشنهادی است. زیرا روش پیشنهادی یک ساختار سلسله مراتبی دارد که انتشار اطلاعات را مدیریت می‌کند و در عین حال که



شکل ۱۴: تاثیر اندازه بافر بر متوسط تاخیر



شکل ۱۵: تاثیر اندازه بافر بر هزینه جلورانی

افزایش بافر باعث کاهش متوسط تاخیر در تمامی روش‌ها شده است. علت این امر با توجه به افزایش موقعیت‌های جلورانی و تحویل پیام به مقصد با افزایش میزان بافر قابل بیان است. به عبارتی، با افزایش میزان حافظه، پیام‌ها نیازمند انتظار در لندمارک‌ها نیستند و بافر گره‌های خودرویی برای حمل آن‌ها میان لندمارک‌ها ظرفیت دارند و می‌توانند آن‌ها را میان لندمارک‌ها حمل نمایند و بالطبع در زمان کمتری به مقصد تحویل دهند.

۵-۲-۳- هزینه جلورانی

تاثیر اندازه بافر بر هزینه جلورانی در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. ترتیب روش‌ها براساس هزینه جلورانی با تغییر اندازه بافر به صورت $TLVDTR \approx MCDP \approx GeoMobCon \approx DTN-FLOW \approx GeoAKOM$ بوده، که علت این ترتیب همانند علت بیان شده برای هزینه جلورانی با تغییر نرخ تولید پیام است. با افزایش بافر هزینه جلورانی برای تمامی روش‌ها اندکی افزایش را نشان می‌دهد. این افزایش هزینه به علت افزایش تعداد پیام‌های موجود در حافظه‌ی هر گره و بالطبع جلورانی بیشتر پیام‌ها است. این موقعیت‌های جلورانی به وجود آمده خود علت افزایش هزینه خواهند شد.

نهایتا پیام به لندمارک مقصد تحویل داده شود. این دو لایه‌ای بودن، در راستای گسترش‌پذیری روش بوده است. برای کشف ناحیه‌ها از یک الگوریتم مبتنی بر مرکزیت یال میانی استفاده شده است. در لایه پایینی، هر لندمارک جدول مسیریابی میان ناحیه‌ها و لندمارک‌ها را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، هر گره اطلاعات مربوط به حرکت میان لندمارک‌های مختلف را جمع‌آوری می‌کند و از این اطلاعات در ساخت یک مدل پیش‌بینی حرکت گره‌ها به کمک زنجیر ماکوف مرتبه K استفاده می‌کند. در نهایت، با استفاده از جدول مسیریابی و مدل پیش‌بینی حرکت گره‌ها یک روش جلورانی میان لندمارکی ارائه شده است. ارزیابی روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌ی تاکسی‌های شهر سانفرانسیسکو و رم نشان دهنده‌ی کارایی روش TLVDTR به نسبت دیگر روش‌های مسیریابی میان لندمارکی است. در ادامه این کار، قصد داریم که کشف ناحیه‌ها به صورت توزیع شده انجام گیرد و بعضی از فرض‌هایی همانند وجود بافر ذخیره محتوا در هر لندمارک را حذف کنیم.

مراجع

- [1] K. M. Alam, M. Saini, and A. E. Saddik, "Toward Social Internet of Vehicles: Concept, Architecture, and Applications," IEEE Access, vol. 3, pp. 343-357, 2015.
- [2] S. Perumal, V. Raman, G. N. Samy, B. Shanmugam, K. Kisenasamy, and S. Ponnann, "Comprehensive literature review on delay tolerant network (DTN) framework for improving the efficiency of internet connection in rural regions of Malaysia," International Journal of System Assurance Engineering and Management, vol. 13, pp. 764-777, 2022.
- [3] W. Li, W. Song, Q. Lu, and C. Yue, "Reliable congestion control mechanism for safety applications in urban VANETs," Ad Hoc Networks, vol. 98, p. 102033, 2020.
- [4] V. N. G. J. Soares and J. J. P. C. Rodrigues, "4 - Vehicular delay-tolerant networks," in Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs) (Second Edition), J. J. P. C. Rodrigues, Ed., ed: Woodhead Publishing, pp. 59-78, 2021.
- [5] J. Chen, G. Mao, C. Li, W. Liang, and D. Zhang, "Capacity of Cooperative Vehicular Networks with Infrastructure Support: Multiuser Case," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, pp. 1546-1560, 2018.
- [6] N. Benamar, K. D. Singh, M. Benamar, D. El Ouadghiri, and J.-M. Bonnin, "Routing protocols in Vehicular Delay Tolerant Networks: A comprehensive survey," Computer Communications, vol. 48, pp. 141-158, 2014.
- [7] C. Li, H. Lu, Y. Xiang, and R. Gao, "Geo-DMP: A DTN-Based Mobile Prototype for Geospatial Data Retrieval," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, p. 8, 2020.
- [8] O. Choi, S. Kim, J. Jeong, H. Lee, and S. Chong, "Delay-Optimal Data Forwarding in Vehicular Sensor Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, pp. 6389-6402, 2016.
- [9] H. Nascimento, P. R. Pereira, and N. Magaia, "Congestion-Aware Geocast Routing in Vehicular Delay-Tolerant Networks," Electronics, vol. 9, p. 477, 2020.

سربار را کاهش می‌دهد، ولیکن اطلاعات ضروری برای انتخاب گره‌های رله مناسب را نیز در اختیار گره‌های فرستنده قرار می‌دهد. از طرف دیگر، مدل مارکوف مرتبه دو به همراه ساختار سلسله‌مراتبی لندمارک‌ها منجر به قدرت مدل پیش‌بینی لندمارک‌های آتی در روش TLVDTR شده است.

بدترین نرخ دریافت و تاخیر متعلق به GeoAKOM است. زیرا این روش اقدام به پیش‌بینی حرکت‌های آتی گره‌ها براساس الگوی دیگر گره‌ها کرده و فرض می‌کند که بعضی از گره‌ها فاقد سیستم GPS هستند، که این امر باعث می‌شود از جنبه‌های نرخ دریافت و تاخیر نسبت به دیگر روش‌ها عملکرد ضعیف‌تری داشته باشد. بدترین سربار در روش DTN-FLOW مشاهده می‌شود، زیرا از یک مکانیزم چند پخشی کنترل نشده برای جلورانی پیام‌ها استفاده می‌کند. این مکانیزم چندپخشی، نرخ دریافت و تاخیر مطلوبی برای DTN-FLOW رقم می‌زند، ولی منجر به افزایش سربار روش می‌شود.

جدول ۳: بهترین و بدترین روش از جنبه معیارهای مختلف کارایی

بدترین	بهترین	
GeoAKOM	TLVDTR	نرخ دریافت
GeoAKOM	TLVDTR	تاخیر
DTN-FLOW	TLVDTR & MCDP	سربار جلورانی

بررسی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های رقیب نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از جنبه‌های مختلف بهبود قابل توجهی داشته است. میزان بهبود روش TLVDTR نسبت به نزدیکترین رقیب در نرخ دریافت ۱۶ درصد، متوسط تاخیر ۱۷ درصد و هزینه جلورانی در بیشتر موارد رقابت نزدیکی با MCDP دارد و پس از MCDP با رقیب بعدی حدود چهار درصد است. در کنار ساختار سلسله‌مراتبی، مدل پیش‌بینی مارکوف مرتبه دو و وجود بافرهای ذخیره محتوا، مهمترین عامل‌ها در بهبود کارکرد روش پیشنهادی هستند.

۶- نتیجه‌گیری

انتقال داده میان لندمارک‌های مختلف می‌تواند در کاربردهای متنوعی استفاده شود. در این مقاله، ما یک الگوریتم جدید به نام TLVDTR ارائه دادیم که پیام‌ها را میان لندمارک‌ها در یک روش سلسله‌مراتبی انتقال می‌دهد. برای بهره‌برداری بهتر از حرکت گره‌ها، روش TLVDTR از یک رهیافت دولایه‌ای مسیریابی میان ناحیه‌ای و میان لندمارکی برای نقل و انتقال پیام‌ها بهره می‌برد، تا

- Vehicle Traffic," IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, pp. 9525-9541, 2022.
- [28] M. E. J. Newman, "Analysis of weighted networks," Physical Review E, vol. 70, p. 056131, 2004.
- [29] D. Wu, B. Liu, Q. Yang, and R. Wang, "Social-aware cooperative caching mechanism in mobile social networks," Journal of Network and Computer Applications, vol. 149, p. 102457, 2020.
- [30] F. Sun, P. Wang, J. Zhao, N. Xu, J. Zeng, J. Tao, et al., "Mobile Data Traffic Prediction by Exploiting Time-Evolving User Mobility Patterns," IEEE Transactions on Mobile Computing, pp. 1-14, 2021.
- [31] T. Yeferny and S. B. Yahia, "A Markov chain-based data dissemination protocol for vehicular ad hoc networks," Computer Communications, vol. 180, p. 303-314, 2021.
- [32] G. A. Montoya, C. Lozano-Garzon, and Y. Donoso, "Energy-Efficient and Delay Sensitive Routing Paths Using Mobility Prediction in Mobile WSN: Mathematical Optimization, Markov Chains, and Deep Learning Approaches," IEEE Access, vol. 9, pp. 153382-153400, 2021.
- [33] V. Koolwal and K. K. Mohbey, "A comprehensive survey on trajectory-based location prediction," Iran Journal of Computer Science, vol. 3, pp. 65-91, 2020.
- [34] B. Lorenzo, B. Marco, L. Pierpaolo, B. Giuseppe, A. Raul, and R. Antonello, "CRAWDAD dataset roma/taxi (v. 2014-07-17)," ed, 2014.
- [35] A. Keränen, J. Ott, and T. Kärkkäinen, "The ONE simulator for DTN protocol evaluation," presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, Rome, Italy, 2009.
- [10] H. Kang, S. H. Ahmed, D. Kim, and Y.-S. Chung, "Routing protocols for vehicular delay tolerant networks: a survey," Int. J. Distrib. Sen. Netw., p.1-9, 2015.
- [11] B. Ravaei, K. Rahimizadeh, and A. Dehghani, "Intelligent and hierarchical message delivery mechanism in vehicular delay tolerant networks," Telecommunication Systems, vol. 78, pp. 65-83, 2021.
- [12] L. Rashidi, D. Towsley, A. Mohseni-kabir, and A. Movaghar, "On the Performance Analysis of Epidemic Routing in Non-Sparse Delay Tolerant Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, pp. 1-13, 2022.
- [۱۳] علی غفاری، سمیه دباغی‌پور، و زینب متقی‌نیا، "ارائه پروتکلی برای توزیع گره‌های چاهک در شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر،" مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات، جلد ۴ شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴.
- [14] J. Singh, S. K. Dhurandher, and I. Woungang, "Geocommunity Based Data Forwarding in Social Delay Tolerant Networks," in Advances in Computing, Informatics, Networking and Cybersecurity, P. Nicopolitidis, S. Misra, L. T. Yang, B. Zeigler, and Z. Ning, Eds., ed Cham: Springer International Publishing, pp. 421-442, 2022.
- [15] C. Wu, T. Yoshinaga, D. Bayar, and Y. Ji, "Learning for adaptive anycast in vehicular delay tolerant networks," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 10, pp. 1379-1388, 2019.
- [16] L. Yan, H. Shen, and K. Chen, "MobiT: Distributed and Congestion-Resilient Trajectory-Based Routing for Vehicular Delay Tolerant Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 26, pp. 1078-1091, 2018.
- [17] S. Akhavan Bitaghsir and A. Khonsari, "Modeling and improving the throughput of vehicular networks using cache enabled RSUs," Telecommunication Systems, vol. 70, pp. 391-404, 2019.
- [18] P. Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, "BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 10, pp. 1576-1589, 2011.
- [19] B. Ravaei, M. Sabaei, H. Pedram, and S. Valaee, "Community-aware single-copy content forwarding in Mobile Social Network," Wireless Networks, vol. 24, pp. 2705-2721, 2018.
- [20] K. Chen and H. Shen, "DTN-FLOW: Inter-Landmark Data Flow for High-Throughput Routing in DTNs," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 23, pp. 212-226, 2015.
- [21] Q. Yuan, I. Cardei, and J. Wu, "An Efficient Prediction-Based Routing in Disruption-Tolerant Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, pp. 19-31, 2012.
- [22] L. Zhang, B. Yu, and J. Pan, "GeoMobCon: A Mobility-Contact-Aware Geocast Scheme for Urban VANETs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, pp. 6715-6730, 2016.
- [23] K. Chen and H. Shen, "Greedyflow: Distributed greedy packet routing between landmarks in DTNs," Ad Hoc Networks, vol. 83, pp. 168-181, 2019.
- [24] K. Khalid, I. Woungang, S. K. Dhurandher, and J. Singh, "Reinforcement learning-based fuzzy geocast routing protocol for opportunistic networks," Internet of Things, vol. 14, p. 100384, 2021.
- [25] E. T. Saglam, Y. Yaslan, and S. F. Oktug, "GeoAKOM: A Smart Geocasting Protocol for Vehicular Networks," Procedia Computer Science, vol. 184, pp. 364-371, 2021.
- [26] P. Michal, S.-D. Natasa, and G. Matthias, "CRAWDAD dataset epfl/mobility (v. 2009-02-24)," ed, 2009.
- [27] L. Yan, H. Shen, J. Zhao, C. Xu, F. Luo, C. Qiu, et al., "CatCharger: Deploying In-Motion Wireless Chargers in a Metropolitan Road Network via Categorization and Clustering of

پاورقی‌ها:

- ¹ Vehicular Delay Tolerant Networks
- ² Landmark
- ³ Two Layer Vehicular Delay Tolerant Routing
- ⁴ Landmarks
- ⁵ Vehicle to Vehicle
- ⁶ Vehicle to Infrastructure
- ⁷ Road Side Unit
- ⁸ Link State
- ⁹ Distance Vector
- ¹⁰ Inter-region
- ¹¹ Time to live
- ¹² Traffic Management Center