نشریه علمی- ترویجی محاسبات نرم
سال چهارم/ شمارهٔ هشتم/ پاییز و زمستان ۹۴/ صفحهٔ ۶۸ـ۸۳

دریافت مقاله: ۹۴/۴/۱۲
پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۱۰

پروتکل مسیریابی خودتطبیقی با محدودهٔ تأخیر برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی

زینب موحدی[1*]، امینه مازندرانی[2]

[1] استادیار، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
zmovahedi@iust.ac.ir
[2] کارشناس‌ارشد، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
a.mazandarani@gmail.com

چکیده: شبکه‌های موردی بین‌خودرویی گونه‌ای از شبکه‌های موردی سیار است که نودهای آن را وسایل نقلیهٔ موجود در خیابان تشکیل می‌دهند. مسیریابی در این شبکه‌ها به‌دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها، نظیر سرعت بالای وسایل نقلیه و توپولوژی بسیار پویا، همواره مورد توجه کمیته‌های تحقیقاتی بوده است. ازآنجایی‌که در این شبکه‌ها، امکان ارسال به گره بعدی در تمامی مکان‌ها و ساعات برای وسایل نقلیه وجود ندارد، پروتکل‌های مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر که ماهیت غیرمتصل شبکه را در تصمیمات مسیریابی لحاظ می‌کنند، با اقبال بسیاری مواجه شده‌اند. اما پروتکل‌های ارائه‌شده در این حوزه، علی‌رغم مزایای بسیار، بدون توجه به نوع کاربرد بسته، عملیات مسیریابی را انجام می‌دهند. برخی از این پروتکل‌ها با اولویت دادن به راهبرد ارسال چندگامی بسته، موجب افزایش سربار شبکه و درنتیجه، تأخیر مضاعف بسته‌های اورژانس می‌شوند. برخی دیگر با اولویت دادن به راهبرد ذخیره و حمل، موجب تحویل بسته‌های اورژانس با تأخیر غیرقابل قبول می‌شوند. در این مقاله، برای حل چالش‌های مطرح‌شده، پروتکل مسیریابی خودتطبیقی تحمل‌پذیر تأخیر را ارائه کردیم که به‌صورت بین‌لایه‌ای و پویا، با درنظرگرفتن نوع ترافیک در لایهٔ کاربرد و شرایط شبکه، تصمیمات مسیریابی مناسب را در هر زمان اتخاذ می‌کند. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی ضمن حفظ مزایای پروتکل‌های تحمل‌پذیرتأخیر، نرخ تحویل بسته‌های اورژانس را تا ۳۵ درصد بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی: سیستم حمل‌ونقل هوشمند، شبکه‌های موردی بین‌خودورویی، پروتکل‌های مسیریابی، پروتکل مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر، پروتکل مسیریابی با محدودهٔ تأخیر، راهبرد ذخیره و حمل، خودتطبیقی.

۱. مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در حوزهٔ تکنولوژی‌های بی‌سیم و سیستم‌های وابسته، کاربرد فناوری ارتباطات را در حوزه‌های جدید بسط داده است [۱ و ۲]. با درنظرگرفتن مزایای چنین پیشرفت‌هایی در فناوری، محققان و تولیدکنندگان خودرو و تجهیزات نیز فرصت را مغتنم شمرده تا با به‌کارگیری قابلیت‌های ارتباطات در قالب شبکه‌های موردی راهکاری مطمئن و کم‌هزینه برای سیستم حمل‌ونقل هوشمند[۲] ارائه کنند. این نوع از شبکه‌ها می‌توانند به‌عنوان پلت‌فرمی[۳] مشترک برای انبوهی از کاربردها مانند دستیار راننده، امنیت جاده، بهبود ترافیک، کاربردهای تبلیغاتی یا سرگرمی به‌کار گرفته شوند [۲ـ۴].

چالش‌های موجود در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی از قبیل سرعت و چگالی نودها، توپولوژی پویای شبکه، عمر کوتاه لینک و محدودیت منابع بی‌سیم، مسیریابی را به یکی از چالش‌برانگیزترین زمینه‌های تحقیقاتی این شبکه‌ها تبدیل کرده است. با توجه به این مسائل و محدودیت‌ها، امروزه پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت مکانی[۴] که از اطلاعات مختصاتی نودها در فرایند مسیریابی بهره می‌جویند، گوی سبقت را از سایر انواع پروتکل‌های ارائه‌شده برای این شبکه‌ها ربوده‌اند [۴ و ۵]. این پروتکل‌ها بر پایهٔ سه فرض طراحی شده‌اند: الف. تمامی خودروها با استفاده از GPS[۵] از مختصات جغرافیایی خود مطلع‌اند؛ ب. هر نود با ارسال پریودیک پیغام‌های بیکن[۶]، تمامی همسایگانی را که در برد انتقالش[۷] قرار دارند، می‌شناسد؛ پ. وسیلهٔ نقلیهٔ مبدأ با استفاده از سرویس‌دهندهٔ مکان از مختصات گره مقصد آگاهی پیدا می‌کند [۴ـ۶].

پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت مکانی در دو دستهٔ اصلی توسعه یافته‌اند: ۱. پروتکل‌های مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر[۸]؛ ۲. پروتکل‌های مسیریابی غیرتحمل‌پذیر تأخیر[۹]. دستهٔ اول، پروتکل‌هایی هستند که ماهیت شبکه را غیرمتصل می‌دانند و با درنظرگرفتن این مسئله اجازه می‌دهند تا نودها در مواقع لزوم، بستهٔ داده را در بافر[۱۰] خود ذخیره و حمل کنند. برخلاف دستهٔ اول، پروتکل‌های غیرتحمل‌پذیر تأخیر ماهیت شبکه را متصل پنداشته و فرض می‌کنند همواره نود بهتری به‌عنوان گام بعدی به‌سمت مقصد وجود دارد [۷ـ۸].

امروزه، پروتکل‌های مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر از اقبال بیشتری از طرف جامعهٔ تحقیقاتی برخوردار شده‌اند [۸]. در واقع، سرعت بالای وسایل نقلیه و تراکم متفاوت خودروها در ساعات و مکان‌های مختلف موجب می‌شود که در برخی مواقع، امکان دسترسی به شبکه برای وسایل نقلیه وجود نداشته باشد؛ بنابراین، پروتکل‌های مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر از دید واقع‌بینانه‌تری نسبت به شرایط شبکه برخوردارند.

باوجوداینکه تاکنون چندین پروتکل مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی توسعه یافته‌اند، آن‌ها نیز به‌خصوص در مقیاس‌های بالا از ضعف‌هایی رنج می‌برند. در واقع، این پروتکل‌ها بدون توجه به نوع کاربرد، با تقدم دادن به ارسال بسته از طریق حمل کردن، حتی در شرایط مناسب بار و اتصال شبکه نیز تحویل بسته را در زمانی طولانی انجام می‌دهند که این امر ممکن است موجب نارضایتی کاربران شبکه گردد؛ بنابراین، پروتکل‌های ارائه‌شده به‌صورت تک‌بعدی تنها برای کاربردهایی با آستانه‌تأخیر[۱۱] بالا و گاهی تا چند دقیقه مناسب‌اند. حال‌آنکه شمار زیادی از کاربردهای شبکه و به‌خصوص آن‌هایی که در بخش ایمنی توسعه یافته‌اند، نیازمند تحویل در زمانی کمتر از یک ثانیه‌اند.

برای پاسخ‌گویی به این کمبودها و معضلات، در این مقاله پروتکل مسیریابی خودتطبیقی تحمل‌پذیر تأخیر[۱۲] را ارائه دادیم که با در نظر داشتن شرایط شبکه و نوع ترافیک داده،

1. Vehicular Ad hoc Network (VANET)
2. Intelligence Transportation System (ITS)
3. Platform
4. Position-Based Routing Protocol
5. Global Positioning System
6. Beacon
7. Transmission Range
8. Delay Tolerant Network
9. Non-Delay Tolerant Network
10. Buffer
11. Delay Threshold
12. Self-Adaptive Delay-Bounded Routing (SADR)

تصمیم‌های مسیریابی مناسب را اتخاذ می‌کند. این پروتکل برخلاف سایر پروتکل‌های تحمل‌پذیر تأخیر پیشین، بدون تعصب بر یک روش انتقال خاص، راهبرد هدایت مناسب را در هر زمان، متناسب با نوع بستهٔ داده، وضعیت اتصال نود و بار شبکه اتخاذ می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های پروتکل مسیریابی ارائه‌شده، عملکرد پویا و بین‌لایه‌ای[1] آن است که ضمن بهره‌گیری از مزایای پروتکل‌های تحمل‌پذیر تأخیر، بسته‌های کاربردهای اولویت‌دار را نیز با گارانتی‌های مورد نیاز آن‌ها به مقصد می‌رساند.

در ادامهٔ مقاله به بررسی پروتکل‌های مسیریابی تحمل‌پذیر تأخیر که تاکنون برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی توسعه یافته‌اند، خواهیم پرداخت. سپس در بخش سوم، طرح پیشنهادی خود را در سه بخش مجزای محاسبهٔ پارامترها، انتخاب مسیر و انتخاب راهبرد انتقال بسته ارائه خواهیم کرد. نتیجهٔ ارزیابی‌های پروتکل ارائه‌شده را تحت شرایط و پارامترهای مختلف در بخش چهارم به نمایش خواهیم گذاشت. در بخش پنجم، به تحلیل میزان حافظهٔ مصرفی و نرخ شکست مسیر در پروتکل پیشنهادی خواهیم پرداخت. سپس در بخش انتهایی، نتیجه‌گیری مقاله و کارهای آینده را بررسی خواهیم کرد.

۲. کارهای پیشین

همزمان با توسعهٔ پروتکل‌های مسیریابی متنوع برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی، مقاله‌های مروری متعددی به بررسی و دسته‌بندی آن‌ها پرداختند [۳، ۵، ۶ و ۸ــ۱۰]. ازآنجایی‌که رویکرد تحمل‌پذیر تأخیر در سال‌های اخیر ارائه شده، در غالب مقاله‌های مروری موجود توجه خاصی به آن‌ها نشده است؛ ازاین‌رو، در این مقاله نخست به بررسی پروتکل‌های تحمل‌پذیر تأخیر ارائه‌شده برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی می‌پردازیم. در تمامی پروتکل‌های ارائه‌شده، مقصد، یک نقطهٔ دسترسی[2] ثابت فرض شده و نحوهٔ پخش آن‌ها به‌گونه‌ای است که کل شبکه را تحت پوشش ندارند.

علاوه‌براین، نودهای شبکه دارای نقشهٔ محیط شبکه‌اند که در آن، مختصات مکانی چهارراه‌ها و خیابان‌ها به‌صورت گراف ذخیره شده است.

نخستین‌بار، پروتکل VADD[3] [۱۱]، با هدف کمینه‌سازی تأخیر تحویل بسته‌های داده، ضمن درنظرداشتن ماهیت عدم‌اتصال در شبکه ارائه شد. در این پروتکل، اولویت ارسال بسته از طریق راهبرد ارسال بی‌سیم است، ولی در صورت عدم وجود نود مناسب در میان همسایه‌ها، بسته در بافر نود ذخیره شده و همراه آن حمل می‌شود. نود حامل بسته در VADD تلاش می‌کند تا در هر تقاطع، با انتخاب سگمنتی با ترافیک خودرویی بالاتر، شانس اتصال مسیر و درنتیجه، امکان استفاده از رسانهٔ بی‌سیم را افزایش داده و بسته را با کمترین تأخیر ممکن به مقصد برساند.

ازآنجایی‌که کاربردهای جاری در شبکه‌های بین‌خودرویی از لحاظ آستانه‌تأخیر نیازمندی‌های متفاوتی دارند، اصرار برای کمینه ساختن تأخیر تحویل همهٔ بسته‌ها منجر به افزایش حجم تبادل داده شده و با توجه به محدودیت منابع بی‌سیم، کاربردهای شبکه را ناگزیر در رقابتی تنگاتنگ وارد می‌کند؛ ازاین‌رو، پروتکل‌های مسیریابی با محدودهٔ تأخیر[4] با هدف صرفه‌جویی در پهنای باند شبکه ارائه شدند.

در مقالهٔ [۱۲]، پروتکل مسیریابی با محدودهٔ تأخیر با هدف تحویل بستهٔ داده با کمترین تعداد ارسال بی‌سیم در بازه تأخیر مورد قبول آن ارائه شده است. این پروتکل در دو شمای حریصانه (D-Greedy) و کم‌هزینه (D-MinCost) طراحی شده است. شمای حریصانه، تنها از اطلاعات محلی نود برای مسیریابی استفاده می‌کند. در این شما، به‌وسیلهٔ الگوریتم دایجسترا[5] توالی سگمنت‌هایی که بسته را روی کوتاه‌ترین مسیر به‌سمت مقصد هدایت می‌کنند، محاسبه شده و در سرآیند بسته ذخیره می‌شود. سپس در هر گام نود حامل بسته با پیشگویی متواتر تأخیر تحویل بسته و مقایسهٔ آن با بودجهٔ تأخیر باقی‌مانده، راهبرد انتقال مناسب را انتخاب می‌کند. در

1. Cross-layer
2. Access Point (AP)
3. Vehicle-Assisted Data Delivery
4. Delay-Bounded Routing Protocol
5. Dijkstra Algorithm

این رویه، تا زمانی که بسته بتواند با روش حمل کردن در آستانه‌تأخیر خود به مقصد برسد، ارسال از این روش در اولویت قرار دارد.

شمای کم‌هزینه برای مسیریابی از اطلاعات سراسری شبکه که در نقشهٔ دیجیتالی بارگذاری شده است، بهره می‌گیرد. در این رویه پس از تولید بسته، ابتدا به‌ازای تمامی یال‌های گراف شبکه، یالی موازی و هم‌جهت با آن در نظر گرفته می‌شود. راهبرد هدایت بسته در یال اولیه، حمل کردن و در یال همتا، ارسال چندگامی[1] فرض می‌شود. سپس توالی بهینه‌ای از سگمنت‌ها که مجموع ارسال‌های چندگامی در آن کمینه بوده و درعین‌حال، مجموع تأخیر کل مسیر از آستانه‌تأخیر تجاوز نکند، از طریق الگوریتم DSA[2] [۱۳] محاسبه می‌شود. این الگوریتم به‌منظور کاهش پیچیدگی محاسبهٔ مسیر بهینه، با حذف یال‌های با تأخیر کم، به مسیرهای با تأخیر بیشتر اولویت می‌دهد. خروجی الگوریتم DSA علاوه‌بر تعیین مسیر مناسب، راهبرد انتقال مناسب در هر سگمنت را نیز مشخص می‌کند.

در پروتکل یادشده، نودها فقط در تقاطع‌ها قادر به تعویض راهبرد هدایت بسته هستند؛ ازاین‌رو، تغییر روش انتقال بسته به راهبرد مناسب در زمان مناسب امکان‌پذیر نیست. برای حل این مسئله، پروتکل مسیریابی با محدودهٔ تأخیر مبتنی بر رگرسیون خطی[3] [۱۴]، از طریق نظارت بر روند پیشرفت بسته در مسیر، راهبرد هدایت مناسب را در هر زمان انتخاب می‌کند. این پروتکل در دو شمای حریصانه (LR-Greedy) و متمرکز (LR-Centralized) ارائه شده است.

شمای حریصانه تنها از اطلاعات محلی نود برای مسیریابی استفاده می‌کند. در این شما، کوتاه‌ترین مسیر به‌وسیلهٔ الگوریتم دایجسترا محاسبه شده و در سرآیند بسته ذخیره می‌شود. برای تعیین مسیر در شمای متمرکز، نخست تعداد ارسال‌های بی‌سیم مورد نیاز در هر سگمنت با الهام از داده‌های ترافیکی نقشه، مانند سرعت متوسط و چگالی خودروها محاسبه شده و سپس با استفاده از برنامه‌نویسی پویا، توالی بهینه‌ای از سگمنت‌ها که مجموع ارسال‌های بی‌سیم در آن کمینه باشد، به‌عنوان مسیر مناسب انتخاب می‌شود. در هر دو شمای حریصانه و متمرکز به‌وسیلهٔ تحلیل رگرسیون خطی، تأخیر انتها به انتهای تحویل بسته با توجه به روند پیشرفت فعلی پیش‌بینی می‌شود. اگر زمان پیش‌بینی شده بزرگ‌تر از آستانه‌تأخیر باشد، راهبرد هدایت بی‌سیم و در غیر این صورت، روش ذخیره و حمل به‌عنوان روش انتقال بسته انتخاب می‌شود.

با توجه به اینکه در پروتکل‌های مسیریابی با محدودهٔ تأخیر، اولویت همواره بر حمل بسته بوده، تحویل بسته‌ها در مقصد حتی در شرایط پایین بودن بار شبکه، نزدیک به آستانه‌تأخیر اتفاق می‌افتد [۱۲، ۱۴ و ۱۵]. این امر ممکن است موجب نارضایتی کابران شود؛ ازاین‌رو، پروتکل مسیریابی آگاه از بار با آستانه‌تأخیر[4] [۱۶] با هدف بهینه‌سازی مصرف باند به‌جای کمینه کردن آن در دو شمای حریصانه (LARD-Greedy) و بهینه (LARD-Optimal) ارائه شده است.

در شمای حریصانه، فرایند مسیریابی مشابه سایر شماهای حریصانه انجام می‌شود. در شمای بهینه، نود مبدأ انحراف معیار چگالی وسایل نقلیه در هر سگمنت از چگالی بحرانی را با استفاده از اطلاعات سراسری شبکه محاسبه می‌کند. سپس، الگوریتم مسیریابی DSA [۱۳] توالی بهینه‌ای از سگمنت‌ها را که مجموع انحراف‌معیار از چگالی بحرانی آن کمینه بوده و مجموع تأخیر کل مسیر آن از آستانه‌تأخیر تجاوز نمی‌کند، به‌دست می‌آورد. در هر دو شما، وضعیت پیشرفت بسته به‌صورت متواتر توسط نود حامل آن بررسی می‌شود. اگر سرعت تحویل بسته مناسب نباشد، راهبرد هدایت به ارسال چندگامی تغییر کرده و در غیر این صورت، تصمیم‌گیری راجع به روش هدایت بسته با توجه به وضعیت بار شبکه صورت می‌گیرد.

۳. طرح پیشنهادی پروتکل مسیریابی خودتطبیقی با محدودهٔ تأخیر

همان‌طور که در بخش پیشین اشاره شد، پروتکل‌های موجود

1. Multi-hop Forwarding
2. Delay Scaling Algorithm
3. Linear Regression-Based Delay-Bounded Routing Protocol
4. Load Aware Routing with Delay Threshold

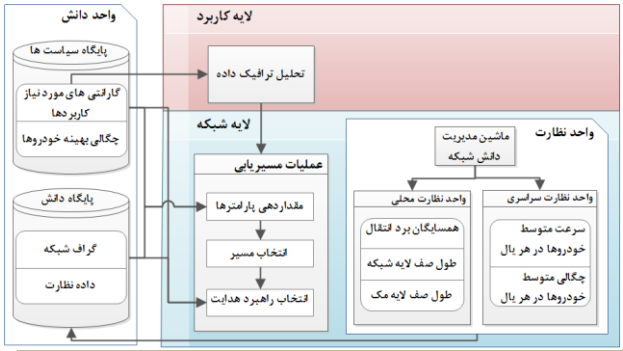
علی‌رغم مزایای بسیاری که دارند، قابلیت مسیریابی مناسب به‌منظور پاسخگویی به نیازمندی‌های متنوع انواع بسته‌های داده ندارند. در واقع، برخی از این پروتکل‌ها، کمینه کردن تأخیر تحویل بسته‌ها را بدون توجه به نیازمندی‌های کاربرد هدف قرار داده‌اند که این امر موجب تحمیل سربار زیاد به شبکه و متعاقب آن از دست رفتن بسته‌های بسیاری در اثر تصادم می‌شود.

در مقابل، پروتکل‌هایی که از محدودهٔ تأخیر برای صرفه‌جویی در پهنای باند بهره می‌گیرند، عمدتاً هزینه‌های مختلفی را به‌ازای هر سگمنت شبکه در نظر گرفته که این امر، انتخاب بهترین مسیر را به یک مسئله NP-Complete تبدیل می‌کند. این پروتکل‌ها از الگوریتم DSA که یال‌هایی با تأخیر کمتر از ۱ ثانیه را از گراف شبکه حذف می‌کند، به‌منظور کاهش پیچیدگی گراف وزن‌دار تولیدشده استفاده می‌کنند؛ ازاین‌رو، قابلیت انتخاب مسیر برای کاربردهایی با آستانه‌تأخیر بسیار کم را از دست می‌دهند. همچنین، اکثریت این پروتکل‌ها یا بر استفاده از راهبردی خاص برای انتقال بسته اصرار می‌ورزند یا قابلیت تعویض راهبرد انتقال خود را در زمان مناسب ندارند که این امر نیز کارایی شبکه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد.

برای رفع مشکلات یاد شده، در این مقاله به ارائهٔ پروتکل خودتطبیقی با محدودهٔ تأخیر می‌پردازیم. از خصوصیات منحصربه‌فرد پروتکل پیشنهادی، عملکرد بین‌لایه‌ای آن است که با تحلیل نوع ترافیک داده در لایهٔ کاربرد، تصمیمات مسیریابی مناسب را در هر زمان با توجه به نیازها و گارانتی‌های مورد نیاز کاربرد مربوط اتخاذ می‌کند. این کاربردها بر حسب آستانه‌تأخیر به دو دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند: ۱. کاربردهایی که نسبت به تأخیر حساس‌اند؛ ۲. کاربردهایی که تحمل تأخیر دارند؛ برای مثال، کاربردی که بروز تصادف را اطلاع‌رسانی می‌کند نسبت به پیغام اطلاع‌رسانی آب‌وهوا یا دادهٔ مربوط به کاربردهای سرگرمی اولویت بسیار بالاتری دارد و باید در سریع‌ترین زمان ممکن، گزارش تصادف را به مراکز بیمارستانی یا پایگاه‌های پلیس اطلاع‌رسانی کند.

به‌علاوه، پروتکل پیشنهادی براساس دانشی که از طریق نظارت بر شرایط شبکه به‌صورت پویا به‌دست می‌آورد، با تعیین پارامترهای مؤثر متعددی شامل سرعت و چگالی متوسط خودروها و بار ارتباطات تلاش می‌کند مسیر و راهبرد انتقال بسته را به‌گونه‌ای انتخاب کند که کارایی شبکه بهینه باشد. در ضمن، به‌منظور کاهش پیچیدگی فرایند انتخاب بهترین مسیر برای کاربردهای حساس به تأخیر که در آن، یال‌های با تأخیر کم در اولویت‌اند، الگوریتم P-DSA را پیشنهاد داده‌ایم که نقص‌های یادشده در الگوریتم DSA را برطرف می‌کند.

شکل (۱) نمایی از معماری پروتکل ارائه‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، این پروتکل از سه بخش مجزا به نام‌های واحد نظارت، واحد دانش و واحد مدیریت عملیات مسیریابی تشکیل شده است که در ادامه به توضیح هریک می‌پردازیم.



شکل (۱): معماری پروتکل پیشنهادی

۱.۳. واحد نظارت[1]

واحد نظارت، وظیفهٔ نظارت بر شرایط شبکه را در دو بخش سراسری و محلی بر عهده دارد. بخش سراسری، وظیفهٔ نظارت بر سرعت و چگالی متوسط خودروها در هر یال گراف شبکه را داشته و اطلاعات خود را در هر بار ارتباط نود با واحدهای کنار جاده[2] به‌دست می‌آورد. چگالی متوسط وسایل نقلیه از این حیث مهم است که وضعیت اتصال نودها را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ برای مثال، شانس اتصال به شبکه در تراکم پایین خودروها بسیار کمتر از ترافیک عادی

1. Monitoring Unit
2. Road Side Unit (RSU)

است. سرعت متوسط وسایل نقلیه در محاسبهٔ تأخیر تحویل بسته‌ها در شبکه به‌کار گرفته می‌شود. اندازه‌گیری این پارامتر در انتخاب آگاهانهٔ مسیر با توجه به تأخیر آن کمک می‌کند [۱۷].

بخش محلی موظف به نظارت محیط اطراف نود است. این بخش پیغام‌های بیکن را که توسط همسایگان نود ارسال شده، دریافت می‌کند و از این طریق لیست همسایگان نود را به‌روز نگه می‌دارد. علاوه‌براین، سایر اطلاعات این پیغام‌های بیکن نظیر طول صف لایهٔ شبکه و طول صف لایهٔ مک[1] نود همسایه را به همراه طول صف لایهٔ شبکه و مک خود نود جمع‌آوری می‌کند. این اطلاعات برای تخمین بار شبکه و متعاقب آن محاسبهٔ کیفیت ارتباطات به‌کار می‌روند. بدین معنی که هرچه بار شبکه بیشتر باشد، شبکه از کیفیت پایین‌تری به‌دلیل احتمال نرخ تصادم[2] بالا برای بسته‌های داده برخوردار است. داده‌های جمع‌آوری‌شده در واحد نظارت برای ذخیره‌سازی به پایگاه دانش فرستاده می‌شود.

۲.۳. واحد دانش[3]

مطابق شکل (۱)، هر نود واحد دانشی دارد که در آن، داده‌های مربوط به وضعیت شبکه و سیاست‌گذاری‌های آن به‌ترتیب در پایگاه دانش و پایگاه سیاست‌ها ذخیره می‌شود. پایگاه دانش حاوی اطلاعات گراف شبکه و داده‌های جمع‌آوری‌شده در واحد نظارت است. گراف شبکه که به‌صورت G (V, E) نمایش داده می‌شود، خلاصه‌شدهٔ نقشهٔ محیط شبکه بوده که در آن، V نمایانگر مجموعه‌تقاطع‌های شبکه و E نمایانگر مجموعه خیابان‌های آن است. همان‌طور که در واحد نظارت عنوان شد، داده‌های این واحد شامل بار محلی نود و همچنین سرعت و چگالی متوسط خودروها در هر یال است. میزان بار محلی نود از طریق نرمالیزه کردن طول صف لایهٔ شبکه و طول صف لایهٔ مک خود نود و همسایگانش محاسبه می‌شود.

پایگاه سیاست‌ها نیز شامل اطلاعاتی نظیر ویژگی‌ها و گارانتی‌های مورد نیاز هر بستهٔ داده و همچنین مقدار چگالی بهینهٔ شبکه است. چگالی بهینهٔ شبکه، میزانی از تراکم خودروهاست که در آن، شبکه بهترین عملکرد را خواهد داشت.

۳.۳. واحد مدیریت عملیات مسیریابی

واحد مدیریت عملیات مسیریابی، ترافیک تولید شده در نود مبدأ را با استفاده از پایگاه سیاست‌ها از لحاظ ویژگی و گارانتی‌های مورد نیاز ارزیابی کرده و سپس با توجه به نتایج این تحلیل‌ها، تصمیمات مناسب را در لایهٔ مسیریابی اتخاذ می‌کند. به‌علاوه، این واحد مسئولیت اتخاذ تصمیات مسیریابی را تا رسیدن بسته به مقصد بر عهده دارد. مطابق شکل (۲) در این پروتکل، رویهٔ مسیریابی در سه زیرواحد محاسبهٔ پارامترها، انتخاب مسیر و انتخاب راهبرد انتقال بسته، توسعه داده شده است. در ادامه به شرح جزئیات هر واحد می‌پردازیم.

۱.۳.۳. زیرواحد محاسبهٔ پارامترها

این زیرواحد وظیفهٔ مقداردهی مؤلفه‌های درگیر در مسیریابی را بر عهده دارد. در این باره، نخست برای هر بستهٔ داده با توجه به نوع کاربرد آن، آستانه‌تأخیر مناسبی تعیین می‌شود که تحویل بسته پس از منقضی شدن آن اعتباری ندارد. همچنین، این زیرواحد گراف شبکه را برای اتخاذ تصمیمات مسیریابی وزن‌دهی کرده و به واحد انتخاب مسیر تحویل می‌دهد. به این منظور، به هر یال گراف شبکه، دو پارامتر انحراف‌معیار چگالی سگمنت از چگالی بهینه و بودجهٔ تأخیر قابل‌قبول در سگمنت تخصیص داده می‌شود. در ادامه، نحوهٔ محاسبه هرکدام از پارامترهای انحراف‌معیار چگالی، بودجهٔ تأخیر برای کاربردهای تحمل‌پذیر تأخیر و بودجهٔ تأخیر برای کاربردهای حساس به تأخیر را شرح می‌دهیم.

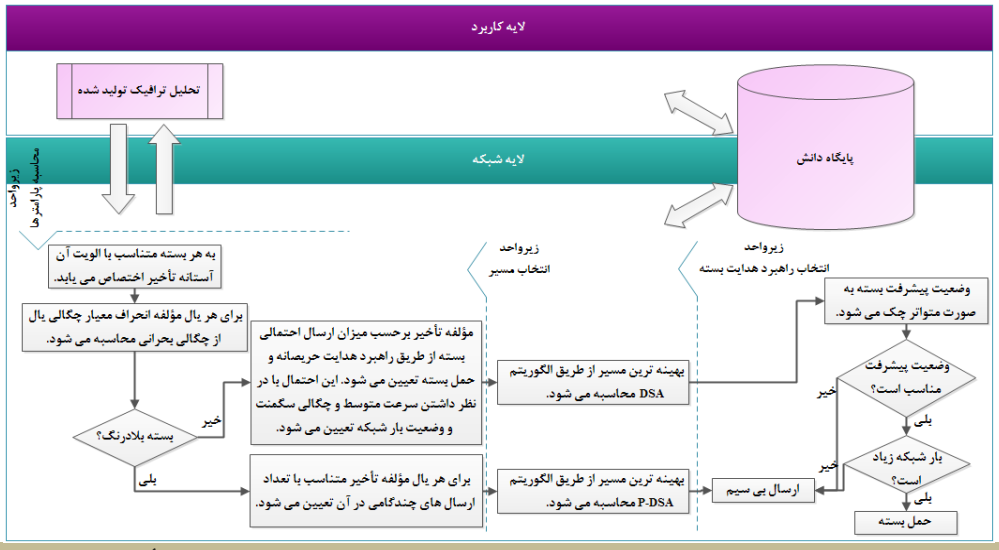
پارامتر انحراف‌معیار چگالی سگمنت از چگالی بهینه

پیش‌تر اشاره شد که چگالی وسایل نقلیه پارامتری تعیین‌کننده در کیفیت ارتباطات بین‌خودرویی است. از سویی در محیط‌های کم‌تراکم، شانس اتصال نودها به شبکه به‌دلیل عدم وجود نود همسایه کاهش می‌یابد، و از سویی دیگر در

1. MAC Layer Queue
2. Collision
3. Knowledge Base

محیط‌هایی با تراکم بالا، افزایش بار ارتباطات به‌دلیل حضور وسایل نقلیهٔ متعدد، منجر به افزایش تصادم و ازدیاد نرخ از دست دادن بسته می‌شود؛ ازاین‌رو، در پروتکل پیشنهادی انحراف‌معیار چگالی هر یال از چگالی بهینه (μ_{ij}) به‌جای مقدار مطلق چگالی آن مورد توجه قرار می‌گیرد. این مقدار برای هریک از سگمنت‌های شبکه از طریق معادلهٔ (۱) به‌دست می‌آید:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} \rho - \bar{\rho}_{ij} / \rho & \bar{\rho}_{ij} \le \rho \\ \bar{\rho}_{ij} - \rho / \bar{\rho}_{ij} & \bar{\rho}_{ij} > \rho \end{cases} \quad (۱)$$



شکل (۲): واحد مدیریت عملیات مسیریابی پروتکل مسیریابی خودتطبیقی با محدودهٔ تأخیر

در این رابطه، ρ و $\bar{\rho}_{ij}$ هرکدام به‌ترتیب برابر چگالی بهینه و چگالی متوسط سگمنت ij هستند. این اطلاعات از واحد دانش نود استخراج می‌شوند.

پارامتر بودجهٔ تأخیر

در پروتکل پیشنهادی، محاسبهٔ بودجهٔ تأخیر قابل‌قبول در سگمنت براساس نوع ترافیک داده صورت می‌پذیرد. بودجهٔ تأخیر برای کاربردهایی با اولویت پایین براساس نسبت مسافتی که بهینه‌تر است، بسته در سگمنت حمل شود (λ_{ij}) محاسبه می‌شود. این نسبت از طریق معادلهٔ (۲) و براساس پارامتر وضعیت بار محلی نرمالیزه‌شده (L) و انحراف‌معیار چگالی سگمنت (μ_{ij}) به‌دست می‌آید:

$$\lambda_{ij} = k_1 L + k_2 \mu_{ij} \quad 0 \le k_1, k_2 \le 1 \quad (۲)$$

روشن است که هرچه مقدار بار شبکه و انحراف‌معیار چگالی سگمنت نسبت به میزان بهینهٔ آن بیشتر باشد، پروتکل ترجیح می‌دهد بسته در طول مسافت بیشتری حمل شود. اگر تأخیر ارسال چندگامی بسته در تمام طول سگمنت ($DelM_{ij}$) را از رابطهٔ (۳) و تأخیر انتقال بسته با حمل کردن در تمام طول سگمنت ($DelC_{ij}$) را از رابطهٔ (۴) به‌دست آوریم، بودجهٔ تأخیر سگمنت (Del_{ij}) از معادلهٔ (۵) حاصل می‌شود:

$$DelM_{ij} = len_{ij} / R \times q \quad (۳)$$

$$DelC_{ij} = len_{ij} / \bar{v}_{ij} \quad (۴)$$

$$Del_{ij} = \lambda_{ij} DelC_{ij} + (1 - \lambda_{ij}) DelM_{ij} \quad (۵)$$

در این رابطه، R برد انتقال نود، q مدت زمان هر ارسال بی‌سیم، len_{ij} طول سگمنت ij و $\bar{v}_{ij}$ سرعت متوسط خودروها در آن سگمنت است که تمامی این داده‌ها از پایگاه دانش نود به‌دست می‌آید.

برای کاربردهای اورژانس با اولویت بالا با فرض اینکه تمام طول سگمنت از طریق رسانهٔ بی‌سیم طی شود، بودجهٔ تأخیر از معادلهٔ (۳) تعیین می‌شود.

۲.۳.۳. زیرواحد انتخاب مسیر

پس از مقداردهی پارامترهای مؤثر در مسیریابی، گراف وزن‌دار شبکه G(V, E) به‌عنوان ورودی برای الگوریتم مسیریابی فرستاده می‌شود. هدف الگوریتم مسیریابی پیدا کردن مسیری با کمینهٔ انحراف‌معیار چگالی خودروها از چگالی بهینه است، به‌طوری‌که مجموع تأخیر کل مسیر از آستانه‌تأخیر تجاوز نکند. ازآنجایی‌که این مسئله NP-Complete است، برای حل آن از دو الگوریتم مسیریابی متفاوت با توجه به نوع ترافیک داده استفاده کردیم. برای کاربردهایی با اولویت پایین از الگوریتم پیشین مسیریابی DSA بهره گرفتیم و برای کاربردهایی با اولویت بالا الگوریتم مسیریابی P-DSA را ارائه نمودیم. مطابق پروتکل‌های پیشین، مسیر منتخب از طریق الگوریتم‌های یادشده، در سرآیند بسته حمل می‌شود.

الگوریتم مسیریابی کاربردهای تحمل‌پذیر تأخیر (DSA)

پروتکل مسیریابی خودتطبیقی با محدودهٔ تأخیر برای مسیریابی بسته‌های داده با اولویت کم مانند کارهای پیشین از الگوریتم DSA استفاده می‌کند. مهم‌ترین مزیت این الگوریتم آن است که با اولویت دادن به مسیرهایی با تأخیر بیشتر (البته در محدودهٔ آستانه‌تأخیر مجاز)، مسیرهای با تأخیر کم برای کاربردهایی با اولویت بالاتر کنار گذاشته می‌شود. برای رسیدن به این هدف، الگوریتم DSA از روش مقیاس‌گذاری استفاده می‌کند. در این روش، مؤلفهٔ تأخیر هر یال (d_{ij}) از طریق معادلهٔ (۶) به نسبت عدد مقیاس (τ) که مقداری بسیار کوچک‌تر از آستانه‌تأخیر دارد ($\tau \ll TTL$)، کوچک شده و سپس به‌سمت پایین گرد می‌شود:

$$d_\tau = \left[d_{ij} \times {}^{\tau}/_{TTL}\right] \qquad (۶)$$

در اینجا d_τ مؤلفه تأخیر مقیاس‌گذاری‌شده است. درنتیجهٔ این معادله، تأخیر بسیاری از یال‌های گراف شبکه که عدد تأخیر کمتری داشتند، صفر شده که از آن‌ها در عملیات مسیریابی صرف‌نظر می‌شود. هرچه میزان عدد مقیاس کوچک‌تر باشد، یال‌های بیشتری از فرایند مسیریابی حذف می‌شوند. در مرحلهٔ بعد، الگوریتم مسیریابی در میان یال‌های باقی‌مانده، به دنبال مسیر مناسب می‌شود. اگر در این مرحله مسیری یافت نشد، عدد مقیاس دو برابر شده و مراحل تکرار می‌شود.

الگوریتم مسیریابی کاربردهایی حساس به تأخیر (P-DSA)

همان‌طور که مشاهده شد، الگوریتم DSA به‌دلیل اولویت دادن به مسیرهایی با تأخیر بیشتر در محدودهٔ تأخیر برای کاربردهای اورژانس مناسب نیست. همچنین، این الگوریتم برای تبدیل عدد تأخیر به مقداری صحیح از عمل گرد کردن استفاده می‌کند؛ ازاین‌رو، یال‌های با تأخیر کمتر از یک ثانیه هرگز در فرایند مسیریابی در نظر گرفته نمی‌شوند؛ بنابراین، برای کاربردهای اورژانس با آستانه‌تأخیر بسیار کم، این امر به‌منزلهٔ شکست همیشگی در مسیریابی است. در این مقاله، الگوریتم P-DSA را برای کاربردهایی با اولویت بالا ارائه داده‌ایم که به‌صورت حریصانه، بهترین مسیر را برای ارسال این بسته‌ها برمی‌گزینند. این الگوریتم نخست با درنظرگرفتن یک متغیر بسیار کوچک (α) به‌عنوان طول بازه، تأخیر یال‌ها را متناسب با بازه‌ای که در آن قرار دارند، از طریق رابطهٔ (۷) تبدیل به عدد صحیح می‌کند:

$$d_\alpha = \begin{cases} 0 & t_{ij} > TTL \\ \left[{t_{ij}}/{\alpha}\right] + 1 & t_{ij} \le TTL \ and t_{ij} \,\%\, \alpha \neq 0 \\ \left[{t_{ij}}/{\alpha}\right] & t_{ij} \le TTL \ and t_{ij} \,\%\, \alpha = 0 \end{cases} \qquad (۷)$$

در این معادله، به‌منظور حفظ یال‌هایی با تأخیر اندک در محدودهٔ آستانه‌تأخیر، مقدار بازه محاسبه‌شده برای هر یال را به‌سمت بالا گرد می‌شود. در ضمن، به‌منظور ساده‌سازی گراف شبکه، مؤلفه بودجه تأخیر یال‌هایی با تأخیر بزرگ‌تر از آستانه‌تأخیر برابر صفر در نظر گرفته شده و این یال‌ها در مسیریابی صرف‌نظر می‌شوند. درنتیجهٔ اعمال معادلهٔ (۷) روی گراف وزن‌دار شبکه، گراف بازه‌گذاری شده $G_\alpha(V,E)$ به‌دست می‌آید.

سپس الگوریتم مسیریابی، جدول هزینه- مسیر $\mathrm{L(v,t)}$ را برای گراف بازه‌گذاری‌شده تشکیل می‌دهد. در این مسئله، منظور از هزینه، همان انحراف‌معیار چگالی سگمنت از چگالی

بهینه است. سطرهای این جدول شامل نودهای گراف شبکه و ستون‌های آن برابر اعداد صحیح بین صفر تا آستانه‌تأخیر بازه‌گذاری شده است. به‌ازای هر درایه (j, t) جدول، از بین مسیرهای موجود مسیری که با کمینهٔ هزینه در آستانه‌تأخیر t از نود مبدأ به نود j وارد می‌شوند، انتخاب شده و برای آن جفت (هزینه، سر دیگر یال ورودی به نود j) در آن درایه قرار داده می‌شود. پس از تکمیل جدول، نود مبدأ درایه با کمترین هزینه را از سطر مربوط به نود مقصد انتخاب کرده و مسیر را به‌صورت بازگشتی از جدول استخراج می‌کند. الگوریتم (۱) فرایند الگوریتم P-DSA را نشان می‌دهند.

الگوریتم P-DSA

ورودی:

۱. گراف جهت‌دار و وزن‌دار G با مؤلفه‌های تأخیر t_{ij} و انحراف‌معیار l_{ij}

۲. آستانه‌تأخیر TTL

۳. متغیر α تعریف می‌شود. $(\alpha \ll TTL)$

رویهٔ الگوریتم:

گام اول: گراف $G(V,E)$ به‌وسیلهٔ بازه‌گذاری به گراف $G_\alpha(V,E)$ تبدیل می‌شود.

گام دوم: جدول هزینه- مسیر $L(v,t)$ شکل می‌گیرد و مقداردهی اولیه می‌شود:

$$L(1,t)=0, \quad t=0,\dots,\alpha$$
$$L(j,t)=\infty, \quad j=2,\dots,n \& t=0,\dots,\alpha$$

گام سوم: به‌ازای هر درایه (j, t) جدول هزینه- مسیر، از بین مسیرهای موجود مسیری که با کمینهٔ هزینه در آستانه‌تأخیر t از نود مبدأ به نود j وارد می‌شود، انتخاب شده و برای آن جفت (هزینه، سر دیگر یال ورودی به نود j) در آن درایه قرار داده می‌شود.

$$L(j,t)=\min\{L(j,t-1), \min_{k|\, t_{kj}\le t \& (k,j)\in E}\{L(k,t-t_{kj})+l_{kj}\}\}$$
$$j=2,\dots,n \& t=1,\dots,\alpha$$

خروجی:

مسیری با کمترین هزینه و با حداکثر تأخیر برابر $TTL(1+\varepsilon)$ برای بسته‌های با اولویت بالا به‌دست می‌آید.

الگوریتم (۱): الگوریتم مسیریابی P-DSA

۳.۳.۳. زیرواحد انتخاب راهبرد انتقال بسته

در پروتکل مسیریابی خودتطبیقی پیشنهادی مانند سایر پروتکل‌های تحمل‌پذیر تأخیر، انتقال بسته به دو روش ارسال چندگامی و راهبرد ذخیره و حمل بسته در بافر وسیلهٔ نقلیه انجام می‌شود. در این پروتکل برای بسته‌های حساس به تأخیر، به‌دلیل لزوم تحویل فوری آن‌ها همواره انتقال بسته از طریق رسانهٔ بی‌سیم در اولویت قرار می‌گیرد. در مقابل، به‌منظور انتخاب راهبرد هدایت مناسب برای کاربردهای تحمل‌پذیر تأخیر، نود حامل بسته به‌طور متناوب وضعیت پیشرفت بسته را از طریق معادلهٔ (۸) نظارت می‌کند:

$$P = {dst}/{del} \times {t_{ij}}/{len_{ij}} \quad t>0, t_{ij}>0 \qquad (۸)$$

در این معادله، t_{ij} ، dst و del به‌ترتیب بودجهٔ تأخیر سگمنت کنونی، میزان مسافت طی‌شده از آن و زمان سپری‌شده از بودجهٔ تأخیر سگمنت کنونی است. اگر عدد به‌دست‌آمده برای متغیر P کوچک‌تر از یک باشد $(P<1)$، نشان می‌دهد سرعت تحویل بسته مناسب نبوده و راهبرد هدایت به ارسال چندگامی تغییر می‌کند. در غیر این صورت، تصمیم‌گیری راجع به راهبرد هدایت متناسب با وضعیت بار محلی نود صورت می‌گیرد. اگر بار کم یا متوسط باشد، راهبرد ارسال چندگامی و اگر بار زیاد باشد، راهبرد حمل کردن برای صرفه‌جویی در پهنای باند، در اولویت قرار می‌گیرد.

زمانی که وسیلهٔ نقلیه در تقاطع قرار دارد، برای هر بستهٔ ذخیره‌شده در بافر، با استفاده از جدول همسایگی چک می‌کند که آیا همسایه‌ای دارد که به‌سمت سگمنت بعدی ذخیره شده در سرآیند بسته حرکت کند یا خیر. اگر چنین همسایه‌ای وجود داشت، بسته مستقیم به آن ارسال می‌شود و در غیر این صورت، بسته توسط خود وسیلهٔ نقلیه حمل می‌شود. هر زمان که احساس شود بسته از مسیر بهینهٔ ذخیره‌شده در سرآیند خود خارج شده است، الگوریتم مسیریابی مجدد برای آن اجرا شده و مسیری جدید انتخاب می‌شود.

۴. ارزیابی پروتکل پیشنهادی

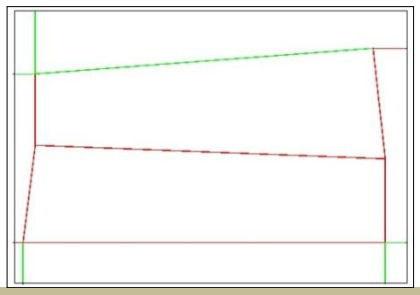
به‌منظور ارزیابی عملکرد پروتکل مسیریابی پیشنهادی SADR، آن را در شبیه‌ساز NS2[1] پیاده‌سازی کرده و با پروتکل مسیریابی LARD-Optimal ـ که در بخش کارهای پیشین شرح داده شده

1. Network Simulator 2: http://www.isi.edu/nsnam/ns/

است ـ مقایسه کردیم. پروتکل LARD-Optimal به این علت به‌عنوان مبنای ارزیابی‌ها انتخاب شده است که تمامی پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد شبکه‌های موردی بین‌خودرویی مانند بار شبکه، چگالی و سرعت متوسط وسایل نقلیه را در فرایند مسیریابی لحاظ می‌کند و از این حیث، نسبت به سایر پروتکل‌های تحمل‌پذیر تأخیر موجود برتری دارد. به‌علاوه، این پروتکل با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف پهنای‌باند به‌جای کمینه‌سازی آن، ارسال از طریق رسانهٔ بی‌سیم را در شرایط مناسب بار ترافیکی در اولویت قرار می‌دهد؛ این امر سبب دریافت سریع بسته‌ها در شرایط مناسب ترافیک شده و از این حیث نیز نسبت به سایر پروتکل‌های پیشین عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

۱.۴. محیط شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌های مقاله در سیستم‌عامل لینوکس توزیع ابونتو ۱۴,۰۴[1] و با استفاده از شبیه‌ساز NS2.35 انجام شده است. به‌منظور تولید توپولوژی شبکه و سناریوی تحرک خودروها از نرم‌افزار VanetMobiSim1-1[2] [۱۸] بهره بردیم. همچنین، به‌عنوان نقشهٔ محیط شبکه و مسیرها بخشی از نقشه شهر واشنگتن ناحیهٔ کلمبیا[3] استفاده شده که در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل (۳): نمایی از محیط شبکهٔ مورد استفاده

به‌منظور ارزیابی تأثیر چگالی خودروها، بار شبکه و سرعت وسایل نقلیه، عملکرد پروتکل مسیریابی SADR را تحت چهار چگالی وسیلهٔ نقلیه مختلف (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰)، دو تعداد اتصال متفاوت (۱۰ و ۱۶)، ۱۰ نرخ مختلف ارسال بسته (۰/۱– ۱/۰) و دو بیشینهٔ سرعت متفاوت (۱۱ و ۱۶ متر بر ثانیه) مورد ارزیابی قرار دادیم. همچنین، برای ارزیابی کارایی پروتکل پیشنهادی برای هر گونه کاربرد جاری در شبکه، دو نوع ترافیک بلادرنگ و غیربلادرنگ را در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفتیم. کاربرد VOIP[4] با آستانه‌تأخیری برابر ۰/۱ ثانیه به‌عنوان ترافیک بلادرنگ و کاربرد CBR[5] با آستانه‌تأخیری برابر ۶۰ ثانیه به‌عنوان ترافیک غیر بلادرنگ در شبیه‌سازی‌ها منظور شده است. شبیه‌سازی‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کردیم که همواره ٪۵۰ اتصالات ترافیک VOIP و ٪۵۰ دیگر ترافیک غیر بلادرنگ باشد. همه شبیه‌سازی‌ها ۳۰ بار تکرار و نتایج آن‌ها برای بازه اطمینان ٪۹۵ رسم شده است. جدول (۱) و (۲) به‌ترتیب پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌ساز NS2 و نرم‌افزار VanetMobiSim را نمایش می‌دهد.

جدول (۱): پارامترهای مورد استفاده در تنظیمات شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
سایز شبکه	۳۵۰m ×۲۵۰ m
پروتکل لایه MAC	IEEE802.11
برد انتقال	۱۰۰ متر
تعداد نودها	۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰
طول صف مسیریابی	۶۴ بسته
طول صف مک	۶۴ بسته
سایز بافر	۲۰۰ بسته
بیشینهٔ سرعت خودروها	۱۱ و ۱۶ متر بر ثانیه
چگالی بحرانی	۶
زمان شبیه‌سازی	۲۵۰ ثانیه
وقفه بیکن	۱ ثانیه
تعداد اتصالات	۱۰ و ۱۶
سایز بستهٔ داده	۵۱۲ بایت
نرخ تولید بسته	[۰/۱ – ۱/۰]
نوع ترافیک داده	CBR ٪۵۰، VOIP ٪۵۰

جدول (۲): پارامترهای مورد استفاده در تنظیمات VanetMobiSim

پارامتر	مقدار
طول جغرافیایی مرکز	-۷۷۰۱۷۶۰۰
عرض جغرافیایی مرکز	+۳۸۹۰۶۳۰۰
تعداد چهارراه‌ها	۶
تعداد سگمنت‌ها	۱۴

1. Ubuntu 14.04
2. http://www.vanet.eurecom.fr
3. Washington, D.C.: http://www2.census.gov/geo/tiger/tgrcd108/DC/
4. Voice Over IP
5. Constant Bit Rate

۲.۴. نتایج و تحلیل ارزیابی‌ها

در این بخش از مقاله، به ارائهٔ نتایج و بررسی عملکرد پروتکل مسیریابی پیشنهادی SADR در مقایسه با پروتکل مسیریابی LARD-Optimal می‌پردازیم. در این مقاله، دو معیار برای ارزیابی کارایی شبکه در نظر گرفته شده است:

- نرخ تحویل بسته (PDR[1]): درصد بسته‌هایی که بدون منقضی شدن آستانه‌تأخیر به مقصد می‌رسند.
- تأخیر تحویل (Delay): میانگین تأخیر بسته‌های رسیده به مقصد را مشخص می‌کند.

در ادامه، به بررسی تأثیر مقادیر مختلف تراکم نودها، بار ارتباطات و سرعت تحرک خودروها بر عملکرد پروتکل پیشنهادی می‌پردازیم.

۱.۲.۴. تأثیر تراکم نودها

در شکل‌های (۴) و (۵)، به‌ترتیب نرخ تحویل و تأخیر تحویل بسته‌های اولویت‌دار، بدون اولویت و کل ترافیک به‌عنوان تابعی از نرخ ارسال داده تحت چهار چگالی وسیلهٔ نقلیه مختلف و در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و تعداد اتصال ۱۰ برای هر دو پروتکل SADR و LARD-Optimal رسم شده است. مطابق نمودارهای شکل (۴)، با افزایش تعداد نودهای شبکه از ۵۰ به ۱۰۰، حدود ۵ تا ۷ درصد افزایش در نرخ تحویل بسته‌های بدون اولویت مشاهده می‌شود. این افزایش به‌دلیل زیاد شدن احتمال اتصال در سگمنت‌های شبکه و همچنین بالا رفتن احتمال پیدا شدن همسایهٔ مناسب نود برای گام بعدی است؛ البته این امر در تراکم‌های بالاتر (۱۵۰ و ۲۰۰ نود) با توجه به افزایش پدیدهٔ پایانه مخفی[2] و درنتیجه احتمال تصادم بالاتر، تأثیر قابل‌توجهی در نرخ تحویل بسته نشان نمی‌دهد. به‌علاوه، مطابق انتظار با افزایش نرخ ارسال داده، نرخ تحویل بسته‌های انواع ترافیک به‌دلیل افزایش بار شبکه و متعاقب آن، افزایش احتمال تصادم بسته‌ها کاهش می‌یابد.

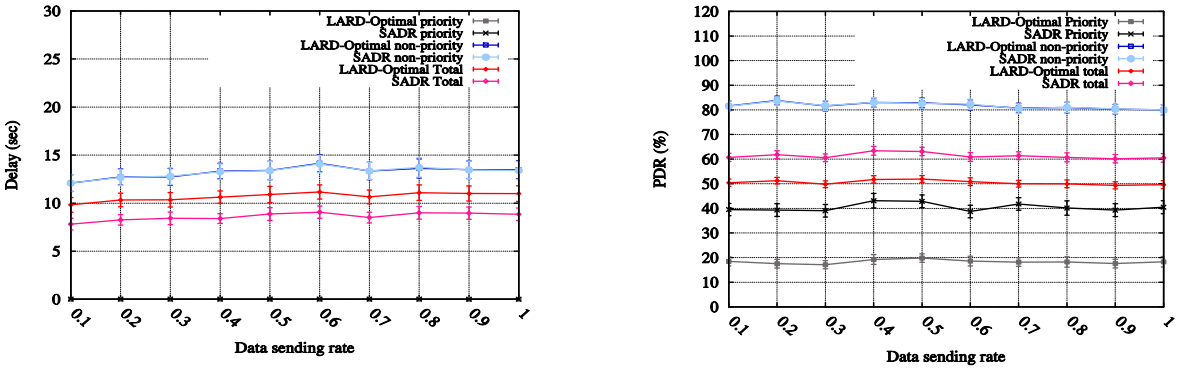
همچنین مطابق شکل (۴) نرخ تحویل بسته‌های اولویت‌دار VOIP و درنتیجه کل ترافیک در پروتکل مسیریابی SADR به‌صورت قابل‌توجهی (تا ٪۳۵ برای ترافیک VOIP و ٪۱۵ برای کل ترافیک) از پروتکل LARD-Optimal بهینه‌تر است.

در واقع، پروتکل SADR با انتخاب هوشمندانهٔ الگوریتم مسیریابی متناسب با نوع کاربرد، امکان تحول بسته‌ای بلادرنگ را در زمان مناسب آن فراهم می‌کند. این برتری در تراکم بالاترخودروها نمایان‌تر است. همچنین، در این پروتکل مطابق انتظار، با افزایش تعداد وسایل نقلیه، نرخ تحویل بسته‌های VOIP و کل ترافیک افزایش می‌یابد. در مقابل، در پروتکل LARD-Optimal به‌دلیل ناتوانی الگوریتم DSA در مسیریابی برای بسته‌های بلادرنگ، نرخ تحویل این بسته‌ها همواره ناچیز بوده و با افزایش تعداد نودها، زیاد نمی‌شود. در این پروتکل، تنها بسته‌های اولویت‌داری به مقصد خواهند رسید که در سگمنت‌های مجاور با چهارراه مقصد تولید شوند.

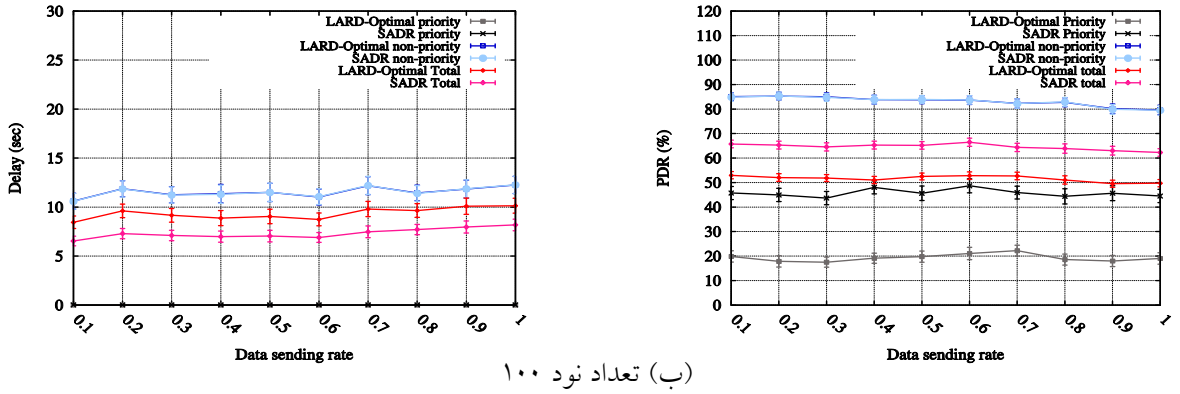
نتایج ترسیم‌شده در شکل (۵) نشان می‌دهد که در پروتکل SADR با وجود افزایش ۳۰درصدی نرخ تحویل بسته‌های VOIP، تأخیر تحویل بسیار ناچیز و در حد ۰/۰۱ است. نمودارهای تأخیر تحویل بسته‌های VOIP در هر دو شمای مورد مقایسه، مقداری نزدیک به صفر دارد؛ ازاین‌رو، به‌صورت هم‌پوشان، نزدیک به خط صفر ترسیم شده‌اند. علاوه‌براین، تأخیر تحویل کل ترافیک در پروتکل SADR بهبودی چشمگیر (حدود یک هزار تا دو هزار میلی‌ثانیه) دارد. این امر به‌دلیل افزایش قابل توجه درصد تحویل بسته‌های VOIP است که با تأخیر تحویل بسیار ناچیز خود، منجر به کاهش شدید تأخیر تحویل کل ترافیک می‌شوند.

به‌علاوه، نتایج مقایسه‌ای بین نمودارهای شکل (۵) گویای بهبود تأخیر بسته‌های کاربردهای مختلف در تراکم‌های بالاتر برای هر دو پروتکل است. در واقع، با افزایش تعداد نودها بسته‌هایی که به‌دلیل عدم پیدا شدن همسایه مناسب در تراکم‌های پایین در بافر ذخیره و حمل می‌شدند، به احتمال بیشتری همسایه مناسب خود را پیدا خواهند کرد. همچنین، تأخیر تحویل بسته‌ها همزمان با افزایش نرخ ارسال داده، فزونی می‌یابد؛ این امر به‌دلیل بالارفتن احتمال حمل بسته در بافر وسیلهٔ نقلیه در شرایط افزایش بار است.

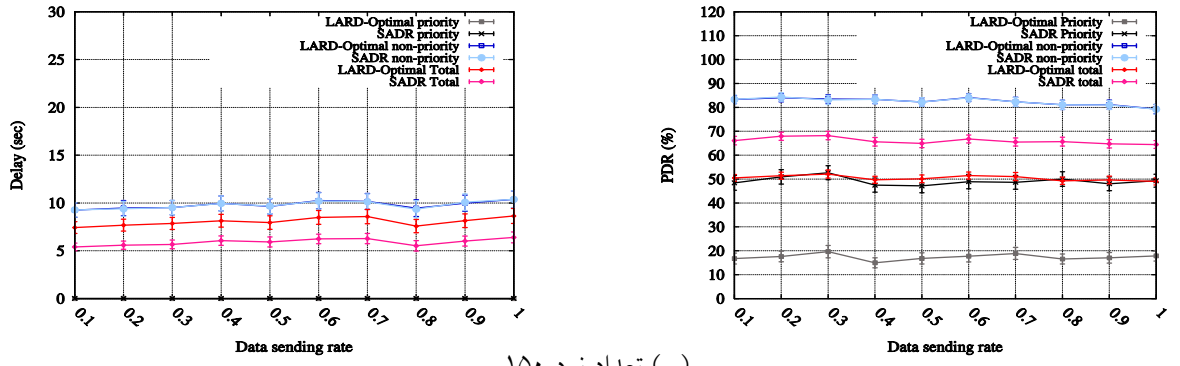
1. Packet Delivery Ratio
2. Hidden Terminal



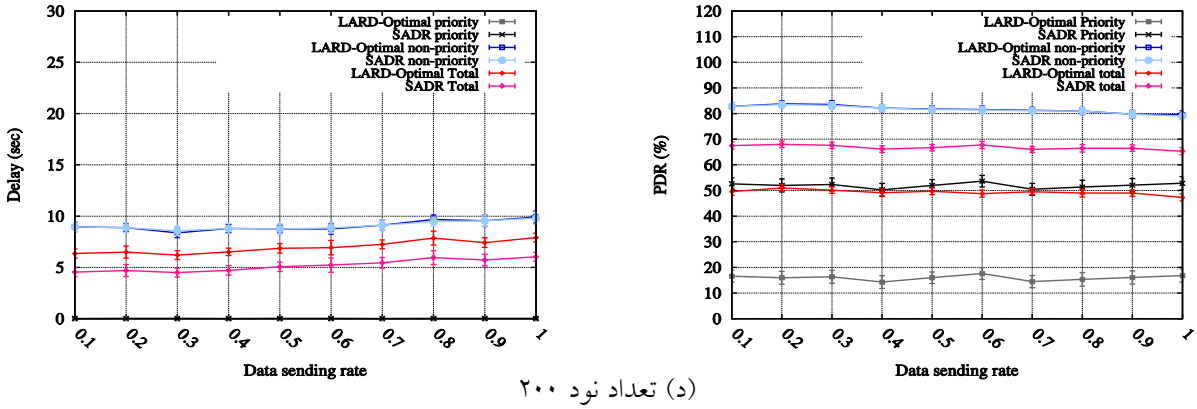
(الف) تعداد نود ۵۰



(ب) تعداد نود ۱۰۰



(ج) تعداد نود ۱۵۰



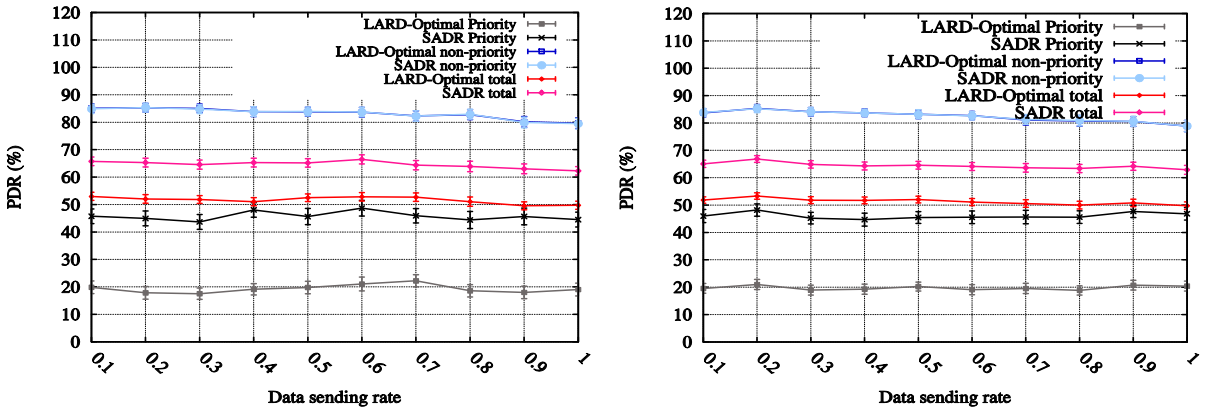
(د) تعداد نود ۲۰۰

شکل (۴): نمودار نرخ تحویل بسته‌ها در تراکم‌های مختلف برای تعداد اتصالات ۱۰، بیشینهٔ سرعت ۱۶ متر بر ثانیه

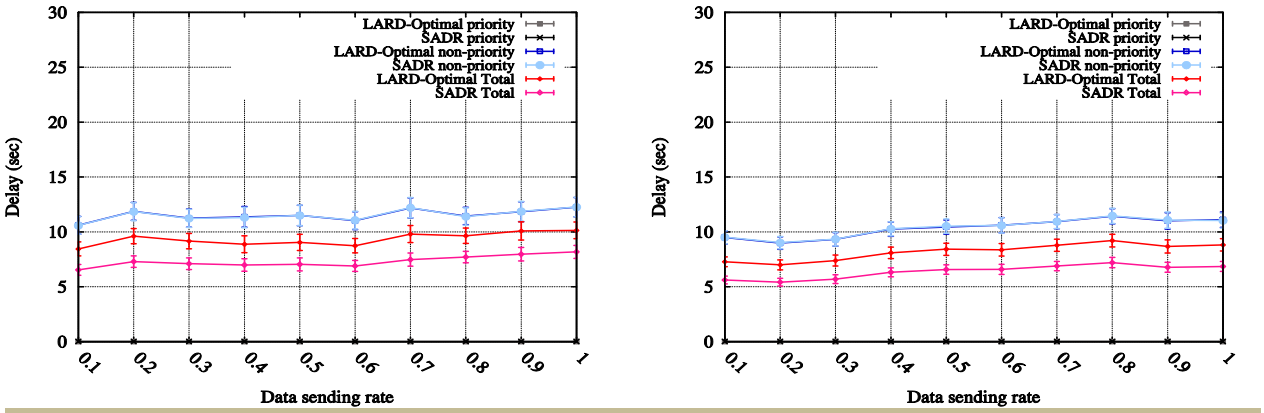
شکل (۵): نمودار تأخیر تحویل بسته‌ها در تراکم‌های مختلف برای تعداد اتصالات ۱۰، بیشینهٔ سرعت ۱۶ متر بر ثانیه

۲.۲.۴. تأثیر تعداد اتصالات

در شکل‌های (۶) و (۷)، نمودار نرخ تحویل و تأخیر تحویل بسته‌های اولویت‌دار، بدون اولویت و کل ترافیک به‌عنوان تابعی از نرخ ارسال داده تحت دو اتصال مختلف (۱۰ و ۱۶) در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و چگالی وسیلهٔ نقلیه ۱۰۰ رسم شده است.



شکل (۶): نمودار نرخ تحویل بسته‌ها برای تعداد نودهای ۱۰۰، سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و تعداد اتصالات به‌ترتیب از راست به چپ ۱۶ و ۱۰



شکل (۷): نمودار تأخیر تحویل بسته‌ها برای تعداد نودهای ۱۰۰، سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و تعداد اتصالات به‌ترتیب از راست به چپ ۱۶ و ۱۰

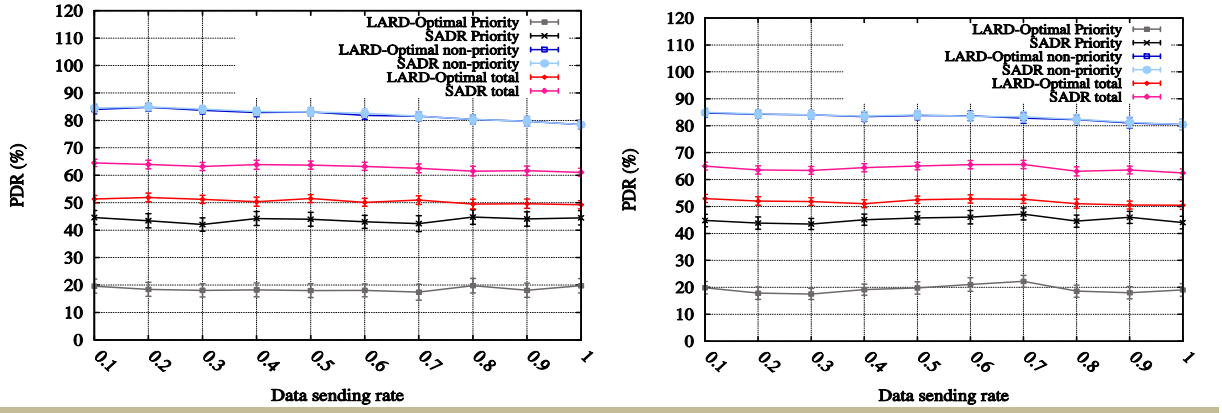
بررسی‌ها نشان می‌دهد پروتکل SADR نرخ تحویل و تأخیر تحویل را در هر دو کمیت بار شبکه نسبت به پروتکل LARD-Optimal بهبود می‌بخشد. همان‌طور که شکل (۶) نشان می‌دهد، نرخ تحویل بسته‌ها در هر دو پروتکل در بار شبکهٔ پایین‌تر به‌علت ازدحام کمتر اندکی بهتر است. همچنین، به‌دلیل کاهش نرخ تحویل بسته‌ها در تعداد اتصالات بیشتر و کاهش بار عملی شبکه، تأخیر تحویل بسته‌ها در تعداد اتصالات ۱۶ اندکی بهبود نشان می‌دهد.

۳.۲.۴. تأثیر سرعت نودها

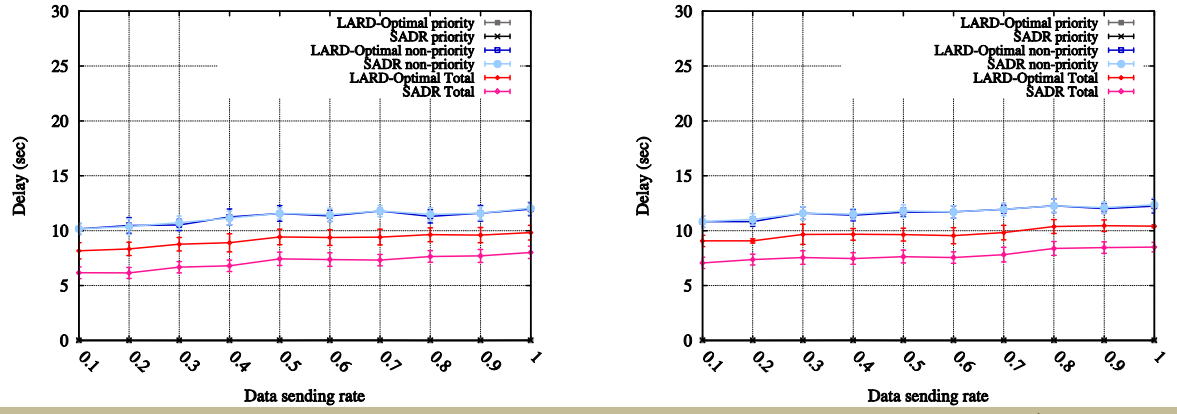
در شکل‌های (۸) و (۹)، نرخ تحویل و تأخیر تحویل بسته‌های اولویت‌دار، بدون اولویت و کل ترافیک به‌عنوان تابعی از نرخ ارسال داده تحت دو سرعت مختلف (۱۱و ۱۶ متر بر ثانیه) برای تعداد اتصالات ۱۰ و چگالی خودرو ۱۰۰ رسم شده است.

نتایج نشان می‌دهد پروتکل SADR نرخ تحویل و تأخیر تحویل را در سرعت‌های مختلف وسایل نقلیه بهبود می‌بخشد. مطابق شکل (۸)، نرخ تحویل بسته‌ها در هر دو پروتکل با افزایش سرعت تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. علت این امر این است که از یک طرف، افزایش سرعت خودروها موجب افزایش احتمال شکست لینک و از دست رفتن بسته‌های ارسالی از طریق راهبرد بی‌سیم شده و از طرفی دیگر، با توجه به کاهش احتمال انتخاب این راهبرد در سرعت‌های بالاتر،

بسته‌های کمتری را به‌دلیل شکست لینک از دست می‌دهیم. همچنین مطابق شکل (۹)، با افزایش سرعت و متعاقب آن افزایش احتمال حمل بسته، تأخیر تحویل بسته‌ها افزایش می‌یابد.



شکل (۸): نمودار نرخ تحویل بسته‌ها برای تعداد نودهای ۱۰۰، تعداد اتصالات ۱۰ و بیشینهٔ سرعت به‌ترتیب از راست به چپ ۱۶ و ۱۱ متر بر ثانیه



شکل (۹): نمودار تأخیر تحویل بسته‌ها برای تعداد نودهای ۱۰۰، تعداد اتصالات ۱۰ و بیشینهٔ سرعت به‌ترتیب از راست به چپ ۱۶ و ۱۱ متر بر ثانیه

۵. بحث و بررسی

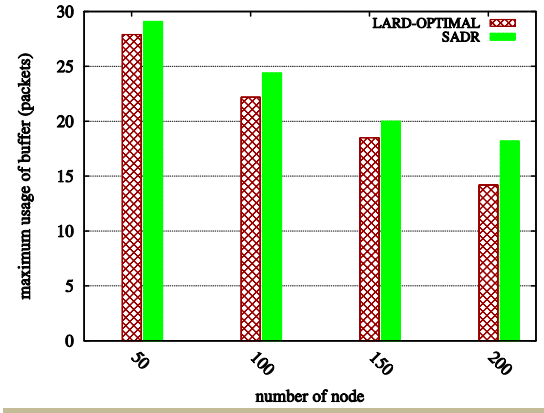
همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، پروتکل پیشنهادی منجر به بهبود عملکرد شبکه در شرایط مختلف گردید. در این بخش، به بحث و بررسی پیرامون هزینه‌های پروتکل SADR و LARD-Optimal از لحاظ حافظهٔ مصرفی و بار محاسباتی جهت مسیریابی می‌پردازیم. به‌منظور مطالعهٔ میزان حافظهٔ مصرفی جهت مسیریابی، بیشینهٔ مصرف بافر خودروها در کل زمان شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، بار محاسباتی جهت مسیریابی براساس تعداد دفعاتی که به‌علت شکست مسیر، فرایند انتخاب مسیر مجدداً تکرار می‌شود محاسبه شده است. منظور از شکست مسیر، قرار گرفتن بستهٔ در حال حمل در سگمنتی خارج از مسیر قبلی محاسبه‌شده در سرآیند آن است.

۵.۱. میزان حافظه مصرفی

در شکل (۱۰)، میزان حافظهٔ مصرفی جهت مسیریابی برای هر دو پروتکل SADR و LARD-Optimal تحت چگالی‌های متفاوت وسایل نقلیه در تعداد اتصالات ۱۰ و بیشینهٔ سرعت ۱۶ متر بر ثانیه رسم شده است.

مطابق این نمودار، بیشینهٔ مصرف بافر پروتکل SADR نسبت به پروتکل LARD-Optimal افزایش چندانی نداشته است. این در حالی است که پروتکل پیشنهادی توانسته بود عملکرد شبکه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشد. همچنین، با افزایش تعداد نودهای شبکه، بیشینهٔ تعداد بسته‌های ذخیره‌شده در بافر برای هر دو پروتکل کاهش یافته است. این امر بدین علت است که افزایش تراکم شبکه موجب

کندی ترافیک وسایل نقلیه شده و متعاقب آن احتمال انتخاب راهبرد ذخیره و حمل برای هدایت بسته کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده برای سایر پارامترهای شبیه‌سازی روند مشابهی را دنبال می‌کند.



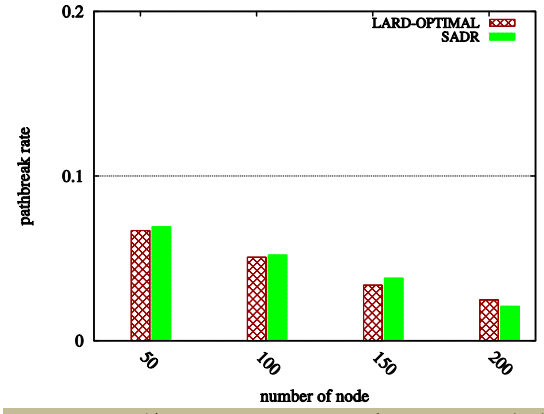
شکل (۱۰): نمودار بیشینهٔ مصرف بافر در تعداد اتصالات ۱۰ و سرعت ۱۶ متر بر ثانیه

۲.۵. نرخ شکست مسیر

در شکل (۱۱)، نرخ شکست مسیر تحت چگالی‌های متفاوت وسایل نقلیه در تعداد اتصالات ۱۰ و بیشینهٔ سرعت ۱۶ متر بر ثانیه برای هر دو پروتکل SADR و LARD-Optimal رسم شده است. سایر شبیه‌سازی‌ها نتایج مشابهی را نشان می‌دهد.

مطابق این نمودار، نرخ شکست مسیر در پروتکل مسیریابی SADR به‌علت اولویت دادن به راهبرد ذخیره و حمل، اندکی از پروتکل مسیریابی LARD-Optimal بیشتر است که البته این میزان افزایش (کمتر از ۰٫۵ درصد) قابل چشم‌پوشی است. گفتنی است که به‌دلیل تعبیهٔ رویهٔ محاسبه مجدد مسیر، پدیدهٔ شکست در مسیر موجب از دست دادن بسته و کاهش کارایی شبکه نخواهد شد.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، نرخ شکست در مسیر با افزایش تعداد نودهای شبکه برای هر دو پروتکل کاهش یافته است. این امر بدین علت است که در تراکم بالاتر به‌علت کندی ترافیک شبکه، احتمال حمل بسته کاهش یافته و درنتیجه، احتمال شکست در مسیر نیز کاهش می‌یابد.



شکل (۱۱): نمودار نرخ شکست مسیر در تعداد اتصالات ۱۰ وسرعت ۱۶ متر بر ثانیه

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، پروتکل مسیریابی خودتطبیقی تحمل‌پذیر تأخیر (SADR) را ارائه کردیم که با ماهیت بین‌لایه‌ای و پویا، تصمیمات مسیریابی مناسب را در هر زمان با توجه به شرایط شبکه و نوع کاربرد اتخاذ می‌کند. الگوریتم پیشنهادی با درنظرداشتن پارامترهای تأثیرگذاری مانند بار شبکه، سرعت و چگالی وسایل نقلیه راهبرد مناسب انتقال بسته را با توجه به نوع ترافیک در هر زمان انتخاب می‌کند. درنظرداشتن نوع ترافیک تولیدشده، این امکان را می‌دهد که در بستری که از مزیت‌های شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر سود می‌برد، بسته‌های حساس به تأخیر با توجه به گارانتی‌های خاص کاربرد ارسال شوند. همچنین، به‌منظور تعیین مسیر بهینه برای این بسته‌ها، الگوریتم جدیدی به نام P-DSA را ارائه کردیم که ضمن ساده‌سازی گراف شبکه، نقص الگوریتم پیشین DSA را در حذف مسیرهای با تأخیر کم اصلاح می‌کند.

در نهایت، به‌منظور ارزیابی پروتکل مسیریابی پیشنهادی، عملکرد آن را از نقطه‌نظر معیارهای نرخ و تأخیر تحویل بسته‌های بلادرنگ، غیر بلادرنگ و کل ترافیک در تراکم‌های مختلف خودروها، میزان بار شبکه‌ای متفاوت و سرعت‌های مختلف وسایل نقلیه با پروتکل مسیریابی LARD-Optimal مقایسه کردیم. به‌علاوه، به‌منظور ارزیابی هزینه‌های مسیریابی، پروتکل پیشنهادی را با پروتکل LARD-Optimal از نظر میزان حافظهٔ مصرفی و بار محاسباتی جهت مسیریابی مورد ارزیابی قرار دادیم. نتایج شبیه‌سازی‌ها بهبود چشمگیری را در نرخ

تحویل بسته‌های اولویت‌دار (تا ۳۵ درصد) و به تبع آن در نرخ تحویل کل (تا ۱۵ درصد) نسبت به پروتکل LARD-Optimal نشان می‌دهد. این در حالی است که تمامی انواع ترافیک شبکه مطابق گارانتی تأخیر درخواستی کاربرد و بدون افزایش قابل ملاحظه در حافظهٔ مصرفی و بار محاسباتی نودها به مقصد می‌رسند. در ضمن، نرخ تحویل بسته‌های بدون اولویت و تأخیر تحویل آن‌ها مشابه پروتکل مسیریابی LARD-Optimal بوده و در وضعیت بسیار خوبی قرار دارد.

به‌عنوان یک چشم‌انداز آتی می‌توانیم پروتکل پیشنهادی را در حضور کاربردهای متنوع‌تر با آستانه‌تأخیرهای متفاوت توسعه داده و ارزیابی کنیم. به‌علاوه، به‌منظور بهبود کیفیت ارائه خدمات برای ترافیک‌های حساس به تأخیر در نظر داریم با استفاده از تکنیک کنترل هوشمند توان ارسال، امکان یافتن همسایه مناسب را به‌خصوص در محل‌های تقاطع افزایش دهیم.

مراجع

[1] Toor, Y., Muhlethaler, P., Laouiti, A., "*Vehicle ad hoc networks: applications and related technical issues*", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, Vol. 10, No. 3, pp. 74-88, 2008.

[2] Rasmeet S., Kumar, N., Rodrigues, Joel C., "*Clustering in vehicular ad hoc networks: taxonomy, challenges and solutions*", Vehicular Communications, Elsevier, Vol. 1, No. 3, pp. 134-152, 2014.

[3] Sharef, B.T., Alsaqour, R.A., Ismail, M., "*Comparative study of variant position-based VANET routing protocols*", The 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), Elsevier Procedia Technology, Vol. 11, pp. 532-539, 2013.

[4] Füßler, H., Mauve, M., Hartenstein, H., Kasemann, M., Vollmer, D., "*Location-based routing for vehicular ad-hoc networks*", Mobile Computing and Communications Review (MC2R), ACM, Vol. 7, No. 1, pp. 47-49, 2003.

[5] Li, F., Wang, Y., "*Routing in vehicular ad hoc networks: A survey*", Vehicular Technology Magazine, IEEE, Vol. 2, No. 2, pp. 12-22, 2008.

[6] Lee, C., Lee, U., Gerla, M., "*Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks*", Chapter of Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges, Eds. M. Watfa, IGI Global, DOI: 10.4018/978-1-61520-913-2.ch008, pp. 149-170, 2010.

[7] Benamar, N., et al., "*Routing protocols in vehicular delay tolerant networks: A comprehensive survey*", Computer Communications, Elsevier, Vol. 48, pp. 141-158, 2014.

[8] Patel, N.J., Jhaveri, R.H., "*Trust based approaches for secure routing in VANET: A Survey*", The 1st International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA), Elsevier Procedia Computer Science, Vol. 45, pp. 592-601, 2015.

[9] Dua, A., Kumar, N., Bawa, S., "*A systematic review on routing protocols for vehicular ad hoc networks*", Vehicular Communications, Elsevier, Vol. 1, No. 1, pp. 33-52, 2014.

[10] Sharef, B.T., Alsaqour, R.A., Ismail, M., "*Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey*", Network and Computer Applications, Elsevier, Vol. 40, pp. 363-396, 2014.

[11] Zhao, J., Cao, G., "*VADD: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks*", IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 57, No. 3, pp. 1910-1922, 2008.

[12] Skordylis, A., Trigoni, N., "*Delay-bounded routing in vehicular ad-hoc networks*", The 9th International Symposium on Mobile Ad-hoc Networking and Computing (MobiHoc), ACM, pp. 341-350, 2008.

[13] Goel, A., Ramakrishnan, G., Kataria, D., Logothetis, D., "*Efficient computation of delay-sensitive routes from one source to all destinations*", The 20th International Conference of Computer and Communications Societies (INFOCOM), IEEE, Vol. 2, pp. 854-858, 2001.

[14] Chen, Y.S., Hsu, C.S., Siao, Y.G, "*Linear regression-based delay-bounded routing protocols for vehicular ad hoc networks*", The 71st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), IEEE, pp. 1-5, 2010.

[15] Chen, Y.S., Hsu, C.S., Jiang, Y.T., "*A delay-bounded routing protocols for vehicular ad hoc networks with traffic lights*", International Conference on Communication, Networks and Satellite (ComNetSat), IEEE, pp. 122-126, 2012.

[16] Feng, Y., Fan, M., Xiao, Q., Wang, L., "*Load aware routing with delay threshold for vehicular ad hoc networks*", The 16th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), IEEE, pp. 868-873, 2010.

[17] Jabbarpour, M.R. et al, "*Analyzing the impacts of velocity and density on intelligent position-based routing protocols*", Journal of Computational Science, Elsevier, Vol. 11, pp. 177-184, , 2015.

[18] Haerri, J., Filali, F., Bonnet C., Fiore, M., "*VanetMobiSim: Generating realistic mobility patterns for VANETs*", The 3rd International Workshop on Vehicular Ad-hoc Networks, ACM, pp. 96-97, 2006.