بهار ۱۴۰۰، دوره ۶، شماره ۱، پیاپی ۲۰
DOR :20.1001.1.2538161.1400.6.1.5.3

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک راهبرد ارسال مکان محور در شبکه‌های داده‌نام خودرویی

فاطمه کثیری
گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: fe_kasiri@yahoo.com

نگار نجفی
گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: m.imani@srbiau.ac.ir

رسول صادقی*
گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: r.sadeghi.2005@gmail.com

سید مهدی فقیه ایمانی
گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: negarnajafi2016@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر معماری نوظهوری به نام شبکه‌های داده‌نام مطرح شده که الگوی نامِ محتوا را جایگزین الگوی میزبان‌محور پروتکل IP نموده است. شبکه‌های داده‌نام با ویژگی‌هایی مانند دارا بودن حافظه پنهان و ذخیره‌سازی درون‌شبکه‌ای و پشتیبانی از ارتباط نامتقارن توانسته است سازگاری با شبکه‌های متعددی ازجمله شبکه‌های خودرویی را نشان دهد. در این معماری راهبرد همه‌پخشی جهت ارسال درخواست در شبکه‌های خودروئی مناسب می‌باشد ولی به دلیل انتشار درخواست‌ها و افزایش ازدحام و تداخل عملکرد شبکه را کاهش می‌دهد. اگر از راهبرد بهترین مسیر نیز در توپولوژی شبکه خودروئی استفاده شود، اگر خودرو از محدوده مسیریاب بی‌سیم کنار جاده خارج شود دریافت بسته به شکست برخورد خواهد کرد. حال اگر مسیریاب‌های بالادست مسیریاب‌های کنار جاده‌ای به راهبرد همه‌پخشی مجهز شوند، دریافت بسته با شکست مواجه نمی‌شود و مسیریاب بی‌سیم بعدی داده مورد نظر را می‌تواند تحویل دهد که منجر به افزایش دریافت بسته‌های داده خواهد شد. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌ساز ndnSIM سناریویی از نوع شبکه‌های خودروئی شبیه‌سازی نموده و راهبرد پیشنهادی کارایی شبکه‌های خودروئی را نسبت به راهبردهای موجود (همه‌پخشی و بهترین مسیر) بهبود ببخشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش سرعت خودروها، افزایش دریافت بسته‌های داده درخواست شده را تا ۷ درصد بهبود دهیم. داده‌ها نیز با میانگین تاخیر و میانگین تعداد ارسال مجدد

* نویسنده مسئول

کمتـــری به ترتیـــب ۳/۳ درصد و ۲ درصـــد همراه خواهد بود. در ســـناریوی دیگری با این که تعداد درخواست‌های تولید شـــده را افزایش دادیم با این حال تعداد دریافت داده درخواســـت شـــده حدوداً ۷ درصد افزایش نشـــان داده و درصد کاهش میانگین تاخیر دریافت داده و میانگین تعداد ارسال مجدد نیز به ترتیب ۳/۱ و ۸/۷ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شـــبکه داده‌نام، راهبردهای ارســـال، شبکه‌های خودرویی، ارزیابی

مقدمه

در ســـال‌های اخیر معماری شبکه‌های داده‌نام (NDN)[1] در شبکه‌های اقتضایی خودرویی (VANET)[2] مورد استقبال قرار گرفته‌است. زیرا این معماری پاسخگوی مناسبی برای مســـائل عمده چالش برانگیز در این شبکه‌ها مانند تغییرات سریع در توپولوژی، اتصال کوتاه‌مدت و متناوب است. هم اکنون وسایل نقلیه برای برقراری ارتباط با مسیریاب‌های متمرکز با کمک شـــبکه‌های تلفن همراه از مدل TCP/IP [۱] اســـتفاده می‌کنند. امّا بســـیاری از کاربردهای شبکه‌های اقتضایی خودرویی مانند به اشتراک‌گذاری اطلاعات برای اهداف ترافیکـــی در زمان واقعی، نیاز به ارتباط مســـتقیم مدل خودرو به خـــودرو (V2V)[3] دارند، که با اســـتفاده از راهکارهای موجود دشـــوار اســـت و معماری شبکه‌های داده‌نام می‌تواند راهکار مناســـبی در این زمینه ارائه دهد. شبکه‌های خودرویی مبتنی بر معماری شبکه‌های داده‌نام با عنوان شـــبکه‌های خودرویی داده‌نام (V-NDN)[4] شناخته می‌شود.

شبکه‌های داده‌نام خودرویی نیز با چالش‌های متعددی روبروست. یکی از چالش‌های عمده در این شبکه‌ها تحرک بالای خودروهاســـت [۲]. در این شـــبکه‌ها مصرف‌کننده تغییـــر مکان داشـــته و بســـته‌های داده را به مـــکان قبلی درخواســـت ارسال می‌کند و این بســـته‌های داده در انتها گم می‌شـــوند. بنابراین، تحـــرک مصرف‌کننده باعث فقدان بسته داده در مسیر به سوی موقعیت قبلی درخواست آن می‌شـــود. به‌علاوه مصرف‌کننده ممکن است برای به‌دست آوردن محتوای مدنظر که به دلیل جابجایی دریافت نکرده اســـت، دوباره بســـته‌های درخواســـت را صادر کند و تا زمانی که مسیریاب‌های مربوطه بروزرسانی ورودی‌های پایگاه داده FIB را کامل نکنند، ارتباطات میان مصرف‌کننده و تولیدکننـــده ادامـــه پیـــدا نخواهدکـــرد. بنابراین، تحرک مصرف‌کننده منجر به تاخیر زمان دریافت داده می‌شـــود. ایـــن موضوع پیامدهای جدی بـــرای کیفیت تحویل دارد و ممکن اســـت برای برنامه‌های حســـاس به زمان غیرقابل قبول باشـــد [۳]. ایـــن چالش‌ها لزوم طراحـــی راهکارهای کارآمد و قوی در شـــبکه‌های داده‌نام خودرویی را مطرح کرده اســـت. ویژگی‌هـــای ذاتی شـــبکه‌های داده‌نام نه‌تنها می‌تواند ســـازوکارهای اساسی کشف و تحویل محتوا را در شـــبکه‌های خودرویی بهبود بخشد، بلکه در طراحی و توسعه برنامه‌های کاربردی جدید نیز موثر است [٤].

نـــوآوری این مقاله نســـبت به پژوهش‌هـــای موجود، ارائـــه یک راهبرد ارســـال موقعیت‌محور اســـت که تزریق بسته‌های درخواست و بازگشت بسته‌های داده به موقعیت مسیریاب‌های شـــبکه‌های داده‌نام خودرویی بستگی دارد. راهبرد ارسال پیشنهادی موجب افزایش دریافت بسته‌های داده درخواست شده توسط مصرف‌کننده، کاهش میانگین تاخیر دریافت بســـته داده و همچنین کاهش ارسال مجدد بسته‌های درخواست می‌شـــود. راهبرد ارسال پیشنهادی در ایـــن پژوهش می‌تواند راهبرد مناســـبی بـــرای افزایش کارایی زیرســـاخت شـــبکه‌های خودرویی داده‌نام باشـــد که این موضوع در هیچ یک از پژوهش‌های پیشـــین مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته‌است. در راهبرد پیشنهادی، با ترکیب راهبردهای همه‌پخشی و بهترین مسیر و تخصیص آن‌ها به مســـیریاب‌های مختلف، از ارســـال مجدد بســـته درخواست جلوگیری خواهد شد و عملکرد شبکه نسبت به دو راهبرد پیشـــین بهبود یافته و تاخیـــر داده دریافتی نیز

1- Named Data Networking
2- Vehicular Ad hoc Network
3- Vehicle-to-Vehicle
4- Vehicular- Named Data Networking

کاهش می‌یابد. بدین منظور دو سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیـــرد که در آن‌ها با افزایش تعداد خودروها و همچنین افزایش تعداد درخواست های تولید شده، نتایج مربوط به کارایی راهبرد پیشنهادی از دو راهبرد پیشین بهترخواهد بود. این بهبود شامل افزایش ۷ درصدی تعداد دریافت داده درخواست شده در هر دو سناریو است. ضمن آن که سایر پارامترهای ارزیابی مانند تاخیر و ارسال بسته‌های مجدد در هر دو سناریو نیز کاهش یافته است.

در ادامـــه این مقاله، بخش‌های دوم و ســـوم به ترتیب به پیش زمینه پژوهش و پیشـــینه پژوهش اختصاص داده می‌شـــود. در بخش چهارم، الگوریتم راهبرد پیشـــنهادیِ موقعیت‌محور در یک شبکه خودرویی ارائه میشود. سپس ســـناریوهای شبیه‌سازی، ارزیابی و تحلیل آن‌ها در بخش پنجم و همچنین نتایج این پژوهش در بخش ششـــم شرح داده میشود.

۱- پیش زمینه پژوهش

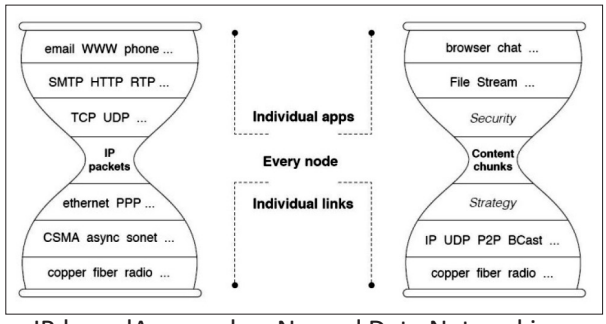
شبکه‌های داده‌نام یک معماری داده‌محور برای اینترنتِ آینده اســـت [۵]. بازیابی و توزیع محتـــوا از طریق تحویل داده‌های نام‌گذاری شده انجام می‌شود. شبکه‌های داده‌نام از معماری پروتکل IP مبتنی بر ســـاعت شـــنی اســـتفاده می‌کند ولـــی تفاوت‌هایی کاربردی میـــان لایه‌های متناظر آن‌ها وجود دارد. تفاوت این دو ســـاختار از لحاظ مفهومی در شـــکل ۱ نشان داده شده‌است. همان‌طور که در شکل ۱ مشـــاهده می‌شـــود، امنیت و راهبرد دو لایه اصلی هستند که به پشـــته پروتکل شـــبکه‌های داده‌نام اضافه شـــده‌اند [٦]. لایـــه امنیت، برخلاف تامین امنیت کل کانال ارتباط در اینترنت، امنیت را برای هـــر بخش از محتوا فراهم می‌کند. لایه راهبرد برای سطح ارسال حالت‌دار شبکه‌های داده‌نام مورد استفاده قرار می‌گیرد که تصمیم‌گیری جهت ارسال را برای هر درخواســـت محتـــوای ورودی انجام می‌دهد. تمامی فعالیت‌های لایه انتقال اینترنت در داخل سطح ارسال شبکه‌های داده‌نام گنجانده شده‌است. این مدل بازیابی داده به عنوان مدل درخواست/پاســـخ شـــناخته شده‌است [۷]. مصرف‌کننده محتوا[۵]، توسط راهبرد همه‌پخشی، یک بسته درخواســـت را به واسطه‌های موجود شـــبکه خود، ارسال می‌کند. درخواســـت به‌صورت گام به گام در شبکه ارسال می‌شود تا زمانی که یک تولیدکننده داده[٦] پاسخ دهد [۸] [۹].

بســـته‌های داده[۷] و درخواســـت[۸]، دو نوع بسته هستند کـــه برای ارتبـــاط در شـــبکه‌های داده‌نام مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند. بســـته‌ها، نام داده را به جای نشانی مبدا و مقصد حمل می‌کنند. با مبادله بسته‌های درخواست و داده در شـــبکه‌های داده‌نام ارتباط برقرار می‌شـــود. بسته‌های درخواست توسط مصرف‌کنندگان به صورت نام فرستاده می‌شود. مسیریاب سپس بسته‌های درخواست را براساس نام داده‌ها ارسال می‌کند. این مسیریاب‌ها همچنین اطلاعات مربوط به وضعیت درخواست درحال انتظار، اندازه‌گیری عملکرد مســـیرهای مختلف، کشـــف حلقه‌ها و مسیرهای جایگزین را حفظ می‌کند. تولیدکننده پس از دریافت بســـته درخواست، بسته داده را ارسال می‌کند.

جهت اجرای توابع ارســـال بســـته درخواست و داده، هر واســـط ارتباطی شبکه‌های داده‌نام ســـه ساختار داده (شـــکل۲) شامل جدول درخواســـت در حال انتظار (PIT)[۹]، پایـــگاه اطلاعات ارســـالی (FIB)[۱۰] و انبارۀ محتـــوا (CS)[۱۱] وجود دارد. ماژول راهبرد ارسال (که در شکل نشان داده نشده‌است) است مشـــخص میکند چه زمانی و به کجا، هر بسته درخواست باید ارسال شود [٦].

هنگامی که یک بســـته درخواســـت دریافت می‌شـــود، ابتدا یک واســـط ارتباطی شـــبکه‌های داده‌نام انبارۀ محتوا را برای داده‌های متناظر بررســـی می‌کند. اگر داده متناظر وجود داشته‌باشد، واســـط ارتباطی بسته داده را بر روی واسطی برمی‌گرداند که درخواســـت از آن آمده است. در غیر این صورت واســـط ارتباطـــی آن نام را در جدولِ PIT

5- Consumer
6- Producer
7- Data Packet
8- Interest Packet
9- Pending Interest Table
10- Forwarding Information Base
11- Content Store



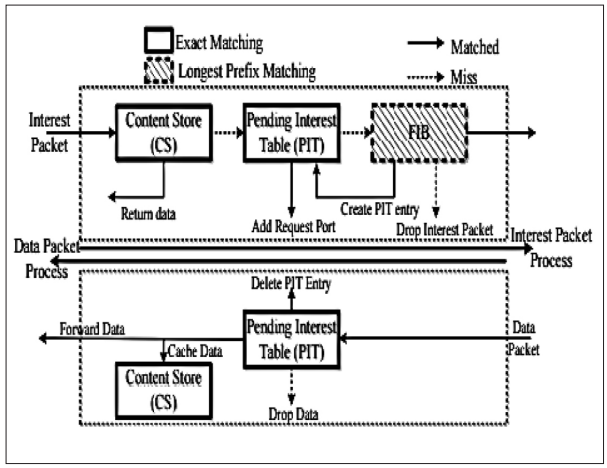
IP-basedApproaches Named Data Networking

شکل۱: تفاوت ساختار معماری شبکه‌های داده‌نام و پروتکل IP [۶]

مربـــوط به خود جســـتجو می‌کند. اگر یـــک مدخل متناظر وجود داشته‌باشد، صرفاً واســـط ورودی این درخواست را در ورودی جـــدول PIT ثبـــت می‌نماید. در صورت عدم وجود یـــک مدخل متناظر در جدول PIT، واســـط ارتباطی درخواست را براساس اطلاعات موجود در پایگاه دادهٔ FIB و نیز راهبرد ارســـال، به تولیدکننده داده ارســـال می‌نماید و هنگامی که واســـط ارتباطی درخواســـت‌هایی با یک نام یکســـان دریافت می‌کند، فقط اولین درخواســـت را ارسال می‌کند. پایگاه داده FIB می‌تواند برای هر پیشـــوند چندین واســـط خروجی داشته باشد. برای هر درخواست، راهبرد ارسال، طولانی‌ترین پیشـــوند متناظر را از پایگاه دادهٔ FIB بازیابی می‌کند و تصمیم‌گیری درباره زمان و جهت ارسال درخواســـت را انجام می‌دهد. هنگام ورود یک بسته داده، واسط ارتباطی شبکه‌های داده‌نام مدخل متناظر در جدول PIT را جســـتجو کرده و داده را به تمامی واسط‌های پایین دســـتی ارسال می‌کند که در آن فهرست شده است. سپس مدخل درخواست پردازش شده از جدول PIT حذف شده و داده متناظر در انبارهٔ محتوا برای تصدیق درخواست‌های آینده ذخیره می‌شود. بسته‌های داده همواره مسیر معکوس بسته‌های درخواست را طی می‌کنند.

۲- پیشینه پژوهش

نخســـتین کسانی که اســـتدلال کردند معماری اینترنت کنونی و پروتکل‌هـــای آن برای محیط‌های متحرک بزرگ، نظیر شـــبکه متحرک تک‌منظوره مناســـب نیستند میسل و



شکل۲: فرایند ارسال در یک گره شبکه‌های داده‌نام [۱]

همکارانـــش [۱۰] بودند. آن‌ها دلایل اصلـــی عدم موفقیت روش مبتنـــی بر مســـیرگزینی IP در رابطه بـــا تحرک را بررسی کردند. جهت حل این مشکلات، برخی پروتکل‌های فرصت‌طلبانه براساس مســـیرگزینی پروتکل IP نیز برای اســـتفاده از مزایای ماهیت انتشار بی‌سیم مطرح شده بود. با این حال، تخصیص نشانی پروتکل IP به گره متحرک و مشکلات مدیریت آن‌ها باقی مانده بود. شبکه‌های داده‌نام، از تحـــرک کاربر، بدون تلاش جهت ذخیره‌ســـازی درون شـــبکه‌ای، پشـــتیبانی می‌کند. همچنین از تعویض یا دست به دست شدن[12] ملایم پشتیبانی کرده و اگر مصرف‌کننده به یک موقعیـــت دیگر حرکت کرده باشـــد، آنگاه محتوای درخواست شده در داخل مسیریاب‌ها ذخیره خواهدشد.

آزگیـــن و همکارانش [۱۱]، یک چهارچـــوب پویا برای ســـنجش تاثیر تحـــرک تولیدکننده/مصرف‌کننده بر روی عملکرد شـــبکه مطرح کرده‌اند و دو راهبرد عمده ارســـال شبکه‌های داده‌نام، «سیل‌آســـا» و «سیل‌آسای هوشمند»[13] از جمله آن‌هاســـت. در راهبرد سیل‌آســـا، درخواســـت‌ها به تمامی واســـط‌های فعال ارسال می‌شـــوند، درحالی که در راهبرد سیل‌آســـای هوشـــمند، درخواست‌ها به تمامی واسط‌ها ارسال می‌شوند اگر و تنها اگر هیچ واسط سبزی موجود نباشد. یک راهبرد ســـوم برای ارسال وجود دارد که «نیمه سیل‌آســـا» نام دارد و ترکیبـــی از دو مورد قبلی

12- Hand-off
13- smart-flooding

اســت و براســاس ماهیت شــبکه کار می‌کند، که راهبرد سیل‌آسا را در شبکه‌های دسترسی و سیل‌آسای هوشمند را در بقیه گره‌ها استفاده می‌کند. راهبرد سیل‌آسا، سربار بالاتری تحمیل می‌کند، ولی برای گره‌های متحرک همچنان خوب کار می‌کند. هرچند، راهبرد سیل‌آسای هوشمند/نیمه سیل‌آســا، در حالت تحرک به خوبی کار نمی‌کنند. راهبرد سیل‌آســا در ازای تحرک تولیدکننــده بهتر کار می‌کند در حالی که راهبرد سیل‌آســا هوشــمند/نیمه سیل‌آسا، برای تحرک مصرف‌کننده بهتر کار می‌کند.

ژا و همکارانش[۱۲]، یک راهکار مبتنی بر ســامانه نام دامنــه (DNS)[14] را برای حصول پشــتیبانی از تحرک برای تولیدکننده‌های محتوا نشــان داده‌اند. کارســازهای میانی ســامانه نام دامنه، بــرای حفظ اطلاعــات موقعیت کنونی تولیدکننده‌های داده که در حال حرکت هستند، قابل استفاده هستند. اگر کاربری بخواهد به داده‌های تولیدکننده محتوای متحرک دسترســی داشــته باشد، ممکن اســت، موقعیت بروزشده تولیدکننده محتوا را از کارساز سامانه نام دامنه بخواهد. اطلاعات ارائه شده دربارهٔ موقعیت، به‌عنوان نشان ارســال[15] همراه با محتوای نام درخواست مورد استفاده قرار می‌گیرد تا داده‌ها از تولیدکننده متحرک بازیابی شود. در نشان ارسال، یک پیشوند قابل مسیریابی، به‌عنوان یک نشــان به درخواست اضافه می‌شــود و برای ارسال یک درخواســت درحالتی که هیچ تطابق پیشوند نامی در FIB موجود نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جیانگ و همکارانش [۱۳]، مفهوم نشان ارسال را طوری تعمیم داده‌اند تا از تحرک تولیدکننده محتوا پشتیبانی کند و یک تحلیل عمقی ارائه داده‌اند تا نشان دهند که تنها محتواهای محبوب از ذخیره‌سازی درون شبکه‌ای بهره‌مند می‌شوند. علاوه بر این در این مقاله، مســئله «وضعیت مسیرگزینی مثلثی» مورد بررســی قرار گرفته است که مرتبط با طرح مبتنی بر نگاشــت سامانه نام دامنه اســت. نشان ارسال، می‌تواند حاوی هر پیشــوند نام تولیدکننده محتوا باشــد.

14- Domain Name System
15- forwarding hint

هرزمان که درخواست به یک سیستم‌های خودگردان جدید منتقل می‌شود، مسیریاب ورودی ممکن است موقعیت‌یاب را براســاس راهبردهای سیســتم‌های خودگــردان تغییر دهد. اگر پیوندهای سیســتم‌های خودگردان دارای اضافه بار باشند، آنگاه مســیرهای دیگر برای ارسال درخواست اســتفاده می‌شــوند. اگر مســیریاب ورودی سیستم‌های خودگردان درباره نزدیک‌ترین نســخهٔ ذخیره شده اطلاع داشته باشد، آنگاه درخواست را به سوی آن ارسال می‌کند.

در روش مبتنــی بر موقعیت‌یــاب جدید[16] (NBLA) [۸]، هر مسیریاب دسترسی به یک موقعیت یاب منحصربه‌فرد اختصاص می‌یابد تا از تحرک تولیدکننده پشــتیبانی شود. یک حوزهٔ اختیاری نیز در بســته داده شــبکه‌های داده‌نام گنجانده می‌شــود و ورودی‌های اصلی واســط خروجی FIB تصحیح شــده تا تعقیب وضعیت تحــرک و موقعیت تولیدکننــده فراهم شــود. این امر بــه مصرف‌کننده کمک می‌کند تا از وضعیت ارسال درخواست به موقعیت قدیمی تولیدکننده یا بازانتشــار درخواســت بــه موقعیت جدید تولیدکننده جلوگیری کند. NBLA، هزینه تعویض و نهفتگی را در مقایسه با روش‌های موجود برای پشتیبانی از تحرک تولیدکننده کاهش می‌دهد.

ژانگ و همکارانش [۱٤]، با اســتفاده از حالت‌های PIT، به عنوان اثر یا نشــانی برای رسیدن به گره‌های متحرک، روش کایــت[17] را جهت پشــتیبانی از تحــرک تولیدکننده مطــرح کرده‌اند. ایــن روش از آزادی موقعیــت و آگاهی نســبت به ســناریو، پشــتیبانی می‌کند. در حالــت آزادی موقعیت، موقعیت یــک گره متحرک، برای تمامی گره‌هایی که با گره متحرک ارتباط دارند، آشــکار اســت. آگاهی از ســناریو باعث انعطاف‌پذیری برنامه‌هــای کاربردی برای پشــتیبانی از تحرک می‌شود. در آزادی موقعیت، کایت، از دو نوع تحرک مستقیم و غیرمستقیم پشتیبانی می‌کند. در روش مســتقیم، گره متحرک یک مسیر با یک گره ثابت را با ارســال درخواست ردگیری شده برقرار می‌سازد که به

16- Novel locator based approach
17- Kite

تولیدکننده اجازه می‌دهد تا یک درخواست را درطول مسیر ردیابی شده بفرستد. در روش غیرمستقیم، گره متحرک درخواست را به یک تولیدکننده ردیابی شده بدون حرکت می‌فرستد.

لای و همکارانش [۱۵]، یک طرح جدید برای پشتیبانی از تحرک برای برنامه‌های حساس به تاخیر[۱۸] در شبکه‌های داده‌نام، با استفاده از پروتکل آغاز نشست[۱۹] مطرح کرده‌اند. این پروتکل برای انجام تماس‌های صوتی و تصویری در لایه برنامه‌های کاربردی پروتکل IP مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله، مولفین با استفاده از پروتکل آغاز نشست برای پشتیبانی از تحرک صدا برروی شبکه‌های محتوا محور[۲۰] که یک پیاده‌سازی پروتکل VoIP برروی شبکه‌های داده‌نام است و توسط ون جاکوبسن مطرح شده دفاع کرده‌اند.

علاوه‌براین، وقتی از معماری شبکه‌های داده‌نام برای شبکه‌های مختلف استفاده می‌شود، قابلیت‌های شبکه‌های داده‌نام باید با نیازهای شبکه سازگار شوند. به عنوان مثال، نویسندگان [۱۶] معماری را برای شبکه‌های بی‌سیم فرصت‌طلب (DABBER)[۲۱] پیشنهاد دادند. در این معماری، هزینه مسیر در مسیریابی حالت پیوند با معیارهای مرتبط با شبکه‌های داده‌نام مانند دسترسی گره، دسترسی به داده‌ها و مرکزیت گره جایگزین می‌شود و اجرای واقعی آن در ارتباطات بیدرنگ ارزیابی شده است. در پیشنهادی دیگر یک راهبرد ارسال جدید به نام آگاه از تراکم – تحمل‌کننده تأخیر (DADT)[۲۲] ارائه دادند [۱۷]. در DADT، هر وسیله نقلیه تراکم شبکه را از شنیدن بسته‌های ورودی محاسبه می‌کند. سپس، با توجه به تراکم شبکه، انتقال بسته درخواست به صورت مستقیم انجام می‌شود.

در پژوهشی دیگر [۱۸]، از معماری شبکه‌های داده‌نام برای ارتباطات وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپاد) در FNDN[۲۳] بهره می‌گیرند. به منظور جلوگیری از انتشار توفانی بسته‌های درخواست، از یک طرح نظارت بر شبکه استفاده شده است. این طرح صحت داده‌ها و همچنین بهره‌وری انرژی و کاهش سربار را بهبود می‌بخشد. در یک مقاله دیگر [۱۹]، یک طرح جابجایی بسته درخواست جغرافیایی (GIF)[۲۴] توسط شبکه‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر معماری داده‌نام (NDN-IoT)[۲۵] پیشنهاد شد. هدف اصلی این طرح تأمین الزامات شبکه‌های IoT با متعادل‌کردن مصرف انرژی در شبکه از طریق تکنیک ارسال است. با توجه به فاصله تا مقصد و انرژی گره‌ها، مناسب‌ترین همسایگان برای ارسال بسته‌های درخواست انتخاب می‌شوند. این سازوکار عملکرد شبکه‌های IoT را بهبود می‌بخشد.

خلاصهٔ روش‌های فوق در جدول ۱ ارائه شده است. هرکدام از این روش‌ها به نوبه خود برای مدل‌سازی ترافیک حساس به تاخیر و نیز مقاوم دربرابر تاخیر مناسب هستند و از تحرک مصرف‌کننده و تولیدکننده پشتیبانی می‌کنند ولی نمی‌توان با قاطعیت اعلام کرد که یک روش بهینه وجود دارد. در یک شبکه خودرویی، می‌توان توسط راهبرد ارسال، تزریق بسته درخواست به شبکه را کنترل نمود و امکان استفاده از یک یا چندین روش ارسال وجود دارد. با استفاده از تلفیق روش همه‌پخشی و بهترین مسیر این طرح پیشنهادی توانسته است با کنترل نرخ تزریق بسته درخواست، دریافت بسته‌های داده درخواست شده را افزایش داده و تاخیر دریافت بسته داده و ارسال مجدد بسته‌های درخواست را بهبود بخشد. نتایج این پژوهش با استفاده از شبیه‌ساز ndnSIM به‌دست آمده است.

۳- روش پیشنهادی پژوهش

راهبردهای ارسال در شبکه داده‌نام [۲۰]، دربارهٔ زمان و محل ارسال بسته‌های درخواست تصمیم‌گیری و اجرا می‌کند. آغاز به کار راهبرد ارسال با ارسال بسته درخواست شروع می‌شود و سپس متناسب با نتایج احتمالی (پاسخ

18- Delay-Sensitive
19- Session Initiation Protocol
20- VoCCN
21- Data reAchability BasEd Routing
22- Density-Aware Delay-Tolerant
23- Flying Named Data Networking
24- Geographic Interest forwarding
25- Internet of Things- Named Data Networking

جدول ۱: مقایسه پروتکل‌های راهبرد ارسال

مرجع	روش	تولیدکننده	روش	شبیه‌ساز
[۸]	مبتنی بر نگاشت	مصرف کننده و تولید کننده	یک مکانیاب خاص برای هر مسیریاب	نامشخص
[۱۱]	مدیریت تحرک	مصرف کننده و تولیدکننده	سیل‌آسا- نیمه سیل‌آسا سیل‌آسا هوشمند	ndnSIM
[۱۲]	مبتنی بر نگاشت	تولیدکننده	مبتنی بر DNS	ndnSIM
[۱۳]	مبتنی بر نگاشت	مصرف کننده و تولیدکننده	نشان ارسال	Ns3
[۱۴]	مستقل از موقعیت	مصرف کننده	با استفاده از حالت‌های PIT	ndnSIM
[۱۵]	مدیریت تحرک	مصرف کننده	استفاده از SIP	OPNET
[۱۶]	مستقل از موقعیت	مصرف کننده	مبتنی بر حالت پیوند	jndn
[۱۷]	مبتنی بر نگاشت	مصرف کننده	آگاه از تراکم - تحمل کننده تأخیر	ndnSIM
[۱۸]	مبتنی بر نگاشت	مصرف کننده و تولیدکننده	نظارت بر شبکه	ndnSIM

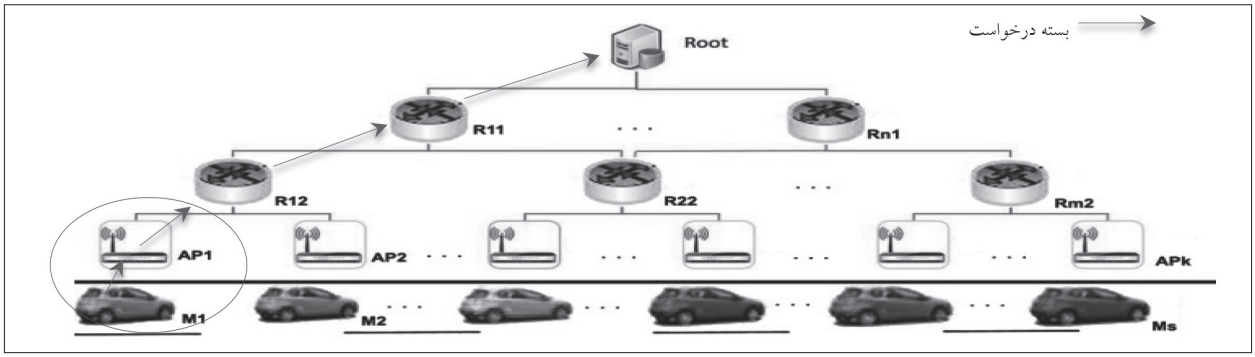
مثبت، انقضای بسته و پاسخ منفی) تصمیم‌گیری انجام می‌شود. در این بخش، یک مدل سیستم برای شبکه‌های خودرویی داده‌نام ارائه می‌شود. این مدل سیستم برای راهبردهای ارسال بهترین مسیر [۲۱]، چندپخشی [۲۲] و همچنین راهبرد ارسال پیشنهادی تشریح می‌گردد.

راهبرد بهترین مسیر [۲۱] یک بسته درخواست را با کمترین هزینه مسیریابی ارسال می‌کند. پس از این که بسته درخواست جدید ارسال شد، درصورتی که در مدت زمان ارسال مجدد، داده متناظر دریافت نشده باشد، بسته درخواستی با نام، گزینشگر و پیوند مشابه امّا با عدد تصادفی[۲۶] متفاوت دوباره ارسال خواهد شد. بسته درخواستی که پس از مدت توقف توسط گرهی دریافت شده، ارسال مجدد[۲۷] نامیده شده و به گام بعدی با کمترین هزینه (بجز پایین دستی‌ها) ارسال می‌شود که قبلاً مورد استفاده قرار نگرفته است. درصورتی که تمامی گام‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفته باشند، به گام بعدی ارسال می‌شود که اول از همه استفاده شده است.

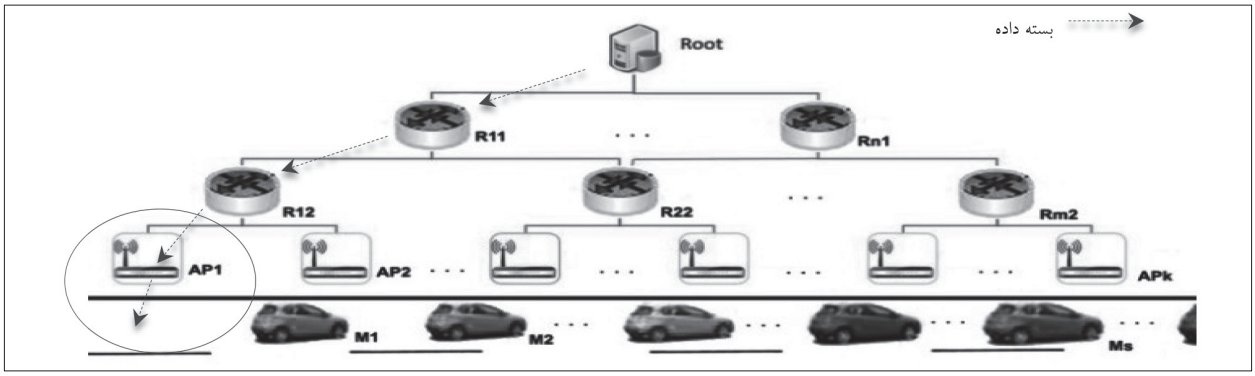
راهبرد ارسال چندپخشی [۲۲] بسته درخواست را به تمامی گره‌های بالادست ارسال می‌کند. پس از این که مسیریاب‌های میانی بسته درخواستی دریافت نمودند، ابتدا بررسی می‌کند که محدودهٔ میزبان محلی نقض نشده باشد. اگر محدوده نقض شده باشد، این بسته درخواست، فوراً حذف شده و پردازشی برروی آن صورت نمی‌گیرد و باعث حفاظت در مقابل ارسال کننده‌های ناشناس می‌گردد. سپس مطابقت با انبارهٔ محتوا انجام می‌گیرد، در صورت وجود داده متناظر آن در انباره محتوا، داده را به مسیریاب درخواست دهنده ارسال می‌کند. اگر با انباره محتوا نیز مطابقت داده شود و داده‌ای متناظر با بسته درخواست مشاهده نشود، یک مدخل در جدول PIT ایجاد نموده و بسته درخواست را به تمامی‌گره‌های همسایه موجود ارسال می‌کند.

مطابق شکل۳، یک مدل سیستم در نظر بگیرید که در آن یک تولید کننده محتوا (Root) با دو سطح مسیریاب $R_{i1}\ (i=1,\dots N)$ و $R_{i2}\ (i=1,\dots M)$ و ایستگاه‌های بی‌سیم کنار جاده‌ای $M_i\ (i=1,\dots S)$ و تعدادی خودرو $AP_j\ (j=1,\dots K)$ به عنوان مصرف‌کننده محتوا وجود دارد. با اعمال راهبرد ارسال بهترین مسیر [۲۱]، اگر خودروی M_1 درخواستی ارسال نماید، ایستگاه کنار جادهای AP_1 آن را دریافت نموده و سپس از طریق مسیریاب R_{12} بسته درخواست به R_{11} و سپس تولیدکننده (Root) منتقل می‌شود. با دریافت بسته درخواست، تولیدکننده داده متناظر با آن را از همان

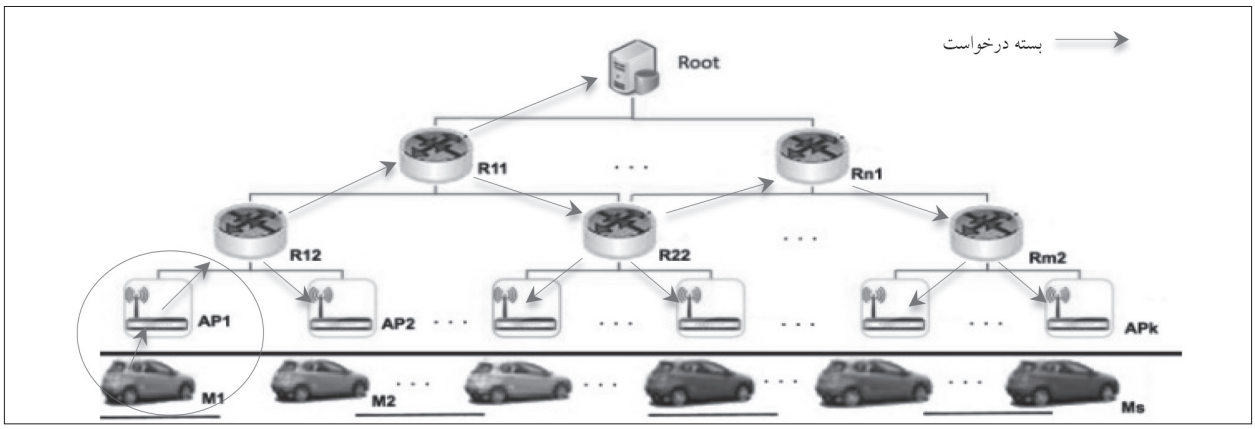
26- Nonce
27- Retransmission



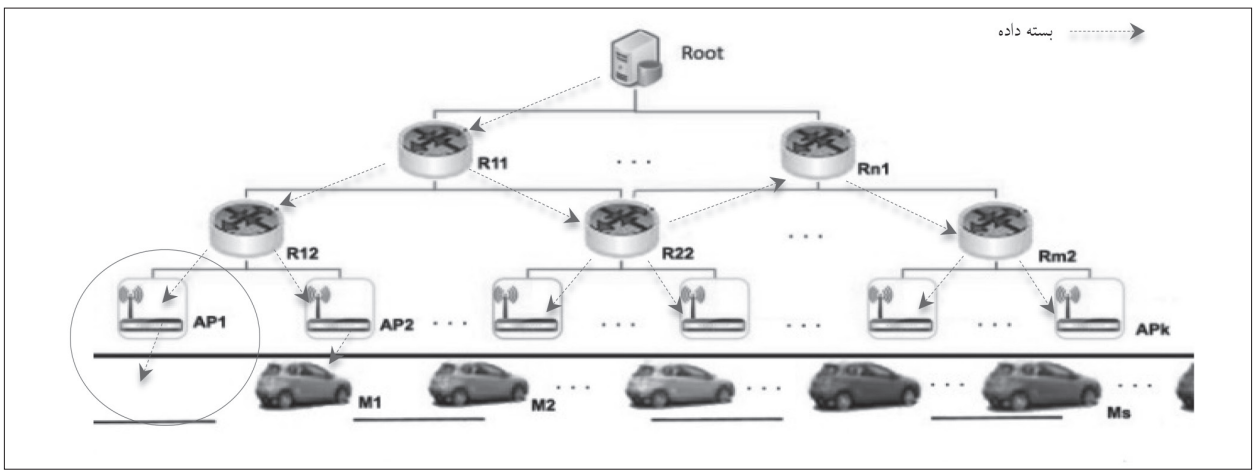
شکل۳: ارسال درخواست توسط راهبرد بهترین مسیر



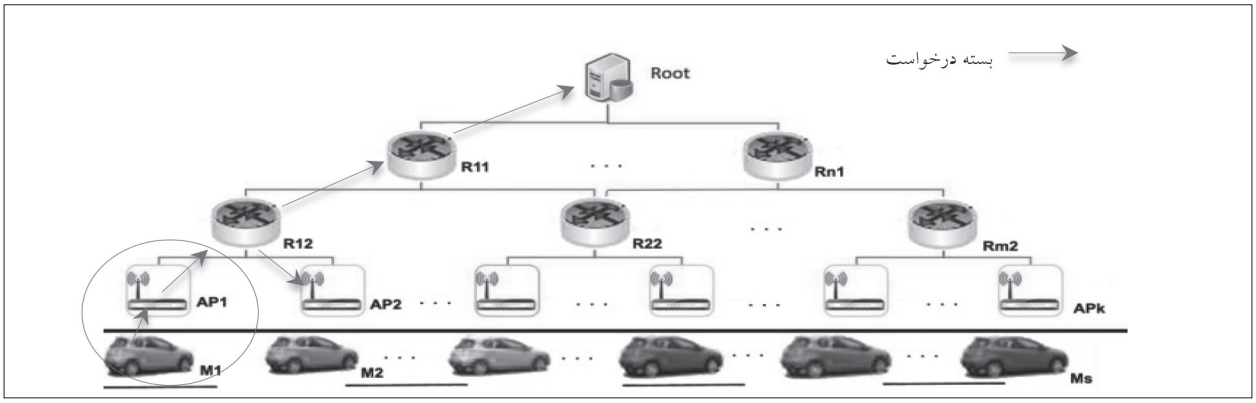
شکل۴: دریافت داده توسط راهبرد بهترین مسیر



شکل۵: ارسال درخواست توسط راهبرد همه‌پخشی



شکل۶: دریافت داده توسط راهبرد همه‌پخشی



شکل۷: ارسال درخواست توسط راهبرد همه‌پخشی

مسیر به سمت خودروی M_1 برمی‌گرداند. اگر خودرو از محدوده رادیویی AP_1 خارج شده باشد (شکل٤)، درخواست شکست خورده و ارسال درخواست باید از سرگرفته شود که این روش پاسخگوی شبکه متحرک نیست. در این روش تعداد درخواست مجدد افزایش و دریافت بسته داده کاهش می‌یابد.

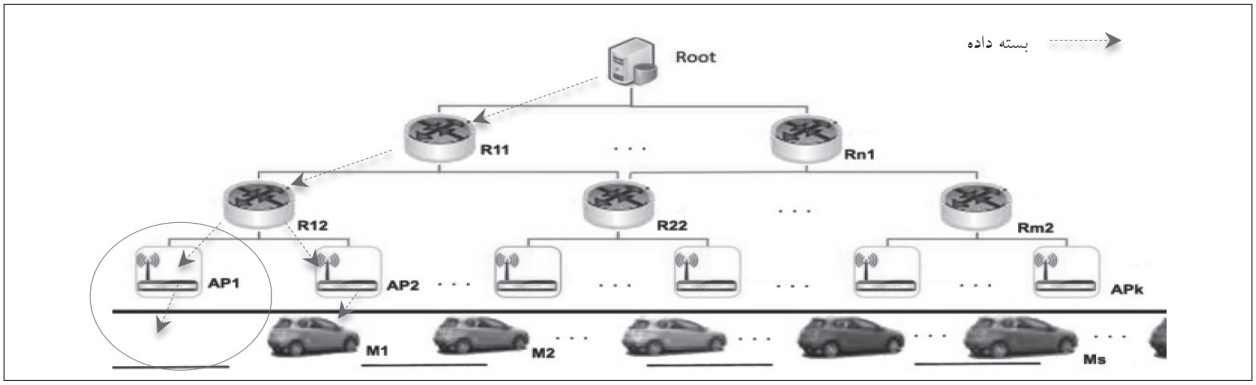
با اعمال راهبرد ارسال چندپخشی [۲۲]، اگر خودروی M_1 بسته درخواست خود را به AP_1 ارسال کند، بسته‌های درخواست از طریق مسیریاب‌های R_{11} و R_{12} در کل شبکه منتشر شده تا این که به تولیدکننده برسد (شکل ٥). سپس تولیدکننده بسته داده را برگردانده و از طریق مسیریاب‌های R_{11} و R_{12} به همه ایستگاه‌های بی‌سیم کنار جاده‌ای ارسال می‌شود (شکل ٦). با خارج شدن خودروی M_1 از محدوده رادیویی AP_1 و وارد شدن به محدوده رادیویی AP_2، به دلیل چند پخشی بودن، بسته داده توسط AP_2 در اختیار خودروی M_1 قرار می‌گیرد. اگرچه تحویل بسته با موفقیت انجام شده ولی خاصیت چندپخشی موجب افزایش تداخل و ارسال مجدد و در نتیجه کاهش دریافت بسته‌های داده متناظر با درخواست‌های ارسال شده می‌گردد. از سوی دیگر، هر بسته درخواست به گام‌های بسیاری ارسال شده و این موضوع موجب افزایش سربار و استفاده قابل توجهی از پهنای باند می‌شود.

در راهبرد ارسال پیشنهادی، متناسب با موقعیت و مکان مسیریاب‌ها، راهبرد ارسال متفاوت خواهد بود. برای مسیریاب‌هایی که به ایستگاه‌های کنار جاده‌ای متصل نیستند (R_{i1} $i=1,\ldots N$)، از راهبرد ارسال بهترین مسیر و برای مسیریاب‌های متصل به ایستگاه‌های کنار جاده‌ای (R_{i2} $i=1,\ldots N$) از راهبرد همه‌پخشی استفاده می‌شود. بدین ترتیب، با ارسال بسته درخواست خودروی M_1 به AP_1 و ارسال آن به R_{12}، این مسیریاب با اعمال راهبرد ارسال همه‌پخشی بسته درخواست را به همه گره‌های همسایه ارسال می‌کند. با رسیدن این بسته درخواست به R_{11}، این مسیریاب از راهبرد ارسال بهترین مسیر استفاده می‌کند (شکل۷) تا بسته درخواست به تولید کننده محتوا (Root) برسد. در مسیر برگشت، مسیریاب R_{11} با اعمال راهبرد ارسال بهترین مسیر، بسته داده را به مسیریاب R_{12} تحویل می‌دهد. مسیریاب R_{12} با اعمال راهبرد ارسال همه‌پخشی، بسته داده را فقط به AP_1 و AP_2 تحویل می‌دهد (شکل۸). بدین ترتیب با حرکت خودروی M_1 از محدوده AP_1 به محدوده AP_2 احتمال بسته دریافتی افزایش می‌یابد. الگوریتم ۱، مراحل مختلف راهبرد ارسال پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۴- شبیه‌سازی و ارزیابی

در این بخش، راهبردهای ارسال مورد بحث در بخش ۳ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور از ماژول ndnSIM مربوط به شبیه‌ساز NS3 استفاده کرده و سناریوهای شبکه‌های خودرویی داده‌نام را برای راهبردهای مذکور شبیه‌سازی، ارزیابی و مقایسه می‌نماییم.

در سناریوی اول، پارامترهای مدل به ترتیب با دو



شکل۸: دریافت داده توسط راهبرد همه‌پخشی

الگوریتم۱. پردازش بسته‌های درخواست و داده در راهبرد ارسالی پیشنهادی

```
Function Progress (Interest Packet)
Coming New Interest (Name)
if Data Found in CS (Name) then
        Return Data
else
        if Current hop = 2 then
         Content Store Miss
         Create New PIT Entry & Update PIT Entry
         Forward Interest to all Face
        else
         if Coming New Interest (Name)
                 If NextHops Is Eligible
                 Create New PIT Entry
                 forward to nexthop with lowest cost except downstream
                 else
                 Returns Nack to all downstreams with reason NoRoute
                 Discard Interest
                 endif
         endif
         if Coming Interest with Same Name but with New Nonce (retransmits)
                 if lowest-cost nexthop Found (except downstream) that is not previously used
                 forwards Interest
                 else
                 starts over with the first nexthop
                 endif
                endif
               endif
      endif
     end
```

مسـیریاب سـطح اول (N=2)، سه مسـیریاب سطح دوم (M=3)، شـش ایسـتگاه بی‌سـیم کنار جاده‌ای (K=6) و ٦ خودرو (S=6) در نظر گرفته می‌شود. سرعت خودروها بین ۱۰ متر بر ثانیه تا ۵۰ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. این سناریو متشکل از شش خودرو است که نقش مصرف‌کننده دارد و با فاصله ۱۰۰ متر در حال حرکت هستند و با مدل حرکتی سرعت ثابت[۲۸] شبیه‌سازی شده‌اند. محدوده تحت پوشش هـر خودرو، حدود ۱۱۰ متر و مجهز به برد رادیویی IEEE ۸۰۲,۱۱ است. انتشار با استفاده از توزیع محو ناکاگامی[۲۹] مدل شده‌اسـت تا تلفات ناشی از کانال را شبیه‌سازی کند. شش مسـیریاب بی‌سـیم مرزی که با فاصله ۲۰۰ متر از

28- ConstantVelocityMobilityModel
29- Nakagami

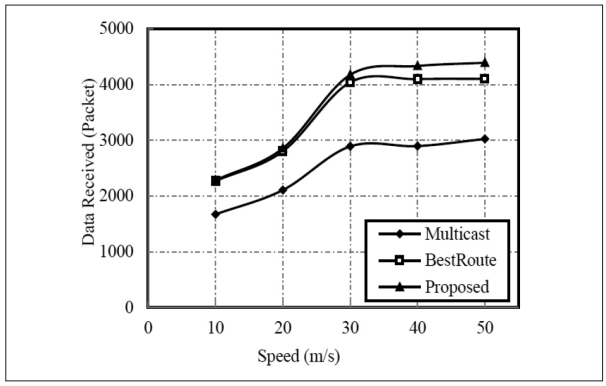
جدول۱: پارامترهای سناریوی شبیه‌سازی شده

پارامتر	مقدار
طول ناحیهٔ سناریوی شبیه‌سازی شده	1200 m
مدل انتشار	Nakagami
مدل حرکت گره‌ها	ConstantVelocityMobilityModel
زمان شبیه‌سازی	۳۰ – ۵۰ ثانیه
برد رادیویی	۱۱۰ متر
استاندارد بی‌سیم	IEEE 802.11b
طول صف	۱۰۰ بسته
حجم بسته‌های درخواست	۳۲ بایت
حجم بسته‌های داده	۱۰۴۰ بایت
حافظه ذخیره‌سازی	۱۰۰۰۰ بسته
روش ذخیره‌سازی	Lru
راهبردهای ارسال	همه‌پخشی (Multicast)
	بهترین مسیر (BestRoute)
	پیشنهادی (Proposed)

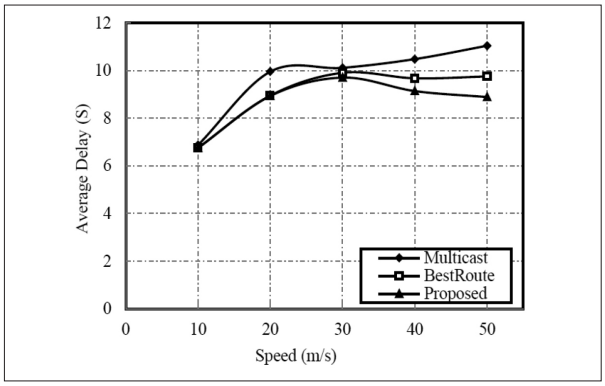
یکدیگر در کنار جاده نصب شـــده و پنج مسیریاب میانی و یک کارساز موجود است و تمامی ارتباطات دارای پهنای‌باند ۱۰ مگابیت در ثانیه، تاخیر ارســـال ۲ میلـــی ثانیه و طول صف ۱۰۰ هســـتند. تمامی‌گره‌ها از حافظه ذخیره‌سازی با طول ۱۰۰۰۰ بســـته بهره برده‌اند. بســـته‌های داده دارای حجـــم ۱۰۲٤ بایت و همه گره‌ها قادر بـــه ذخیره داده‌های دریافت‌شـــده در حافظه درونی خود هســـتند. نرخ ارسال درخواســـت خودروها در این سناریو ۱۰۰ درخواست در ثانیه اســـت. پارامترهای ســـناریوی شبیه‌سازی شده در جدول۱ نمایش داده شده‌اند.

شکل‌های ۷ تا ۹ نتایج مربوط به سناریوی اول را نشان می‌دهد که با افزایش سرعت خودروها، بهبود کارایی راهبرد ارسال پیشـــنهادی نســـبت به دو راهبرد بهترین مسیر و همه‌پخشی افزایش می‌یابد. این افزایش کارایی در بسته‌های داده دریافتی، متوســـط تاخیر و ارســـال مجدد بسته‌های درخواست اندازه‌گیری شده اســـت. میزان بسته‌های داده دریافتی با توجه به افزایش سرعت حرکت خودروها مورد بررســـی قرار گرفته و طبق نتایج به‌دســـت آمده، افزایش ســـرعت باعث کاهش دریافت بسته دریافتی نشده است و در تمام نقـــاط مثبت بوده و تا ۷ درصد بهبود نســـبت به راهبرد ارســـال بهترین مسیر در بالاترین سرعت (۵۰ متر بر ثانیه) مشاهده می‌شود (شکل ۷). همچنین متوسط تاخیر بسته‌های داده در راهبرد ارسال پیشنهادی دارای ۹ درصد کاهش نســـبت به راهبرد ارسال بهترین مسیر است (شکل ۸). علاوه بر این، با اعمال راهبرد ارسال پیشنهادی، تعداد ارســـال مجدد بسته‌های درخواست نیز تا ۸ درصد نسبت به راهبرد ارســـال بهترین مسیر کاهش داشته است (شکل ۹). شبیه‌سازی این سناریو نشان می‌دهد که راهبرد ارسال پیشنهادی توانسته اســـت با استفاده از مکان محور بودن راهبردهای ارســـال، میزان بســـته‌های داده دریافتی را در لبه شبکه (ایستگاه‌های کنار جاده‌ای) افزایش دهد. همچنین با افزایش این بســـته‌های دریافتی، ارسال مجدد بسته‌های درخواســـت به منظور دستیابی به داده‌های متناظر کاهش می‌یابد. این دو عامل خود نقش بسزایی در کاهش متوسط تاخیر بسته‌های داده ایفا می‌نماید.

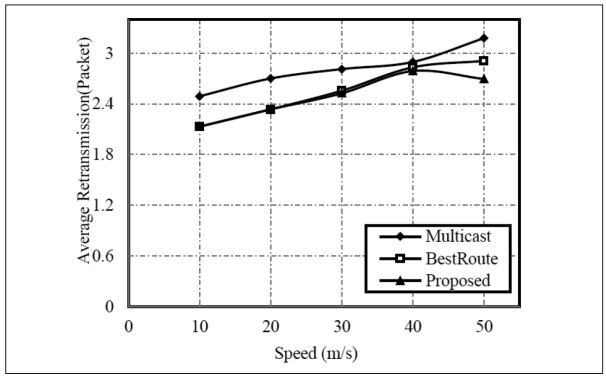
در سناریوی دوم، هدف ارزیابی راهبرد ارسال پیشنهادی برای بسته‌های درخواســـت با فرکانس‌های متفاوت است. بدین منظور، خودروها با ســـرعت ۲۰ متر بر ثانیه (معادل ۷۲ کیلومتر بر ســـاعت) به عنوان مصرف‌کننده، بسته‌های درخواست خود را با نرخ‌های بین ۲۰ تا ۱۰۰ درخواست در ثانیه ارسال می‌کنند. شکل‌های ۱۰ تا ۱۲، نتایج شبیه‌سازی مربوط به این سناریو را نشـــان می‌دهد. در این سناریو با وجود افزایش نرخ بســـته‌های درخواست، میزان بسته‌های داده دریافتی در راهبرد ارســـال پیشنهادی نسبت به سایر راهبردهای ارســـال افزایش یافته است (شکل ۱۰). همچنین، با افزایش نرخ بسته‌های درخواست، متوسط تاخیر کاهش (شـــکل ۱۱) و ارسال مجدد بسته‌های درخواست در راهبرد ارســـال پیشنهادی نســـبت به ســـایرین افزایش یافته است (شـــکل ۱۲). نتایج شبیه‌سازی در این سناریو نشان می‌دهد که راهبرد ارســـال پیشـــنهادی با وجود تغییر نرخ ارسال بسته‌های درخواست از پایداری خوبی برخوردار است.



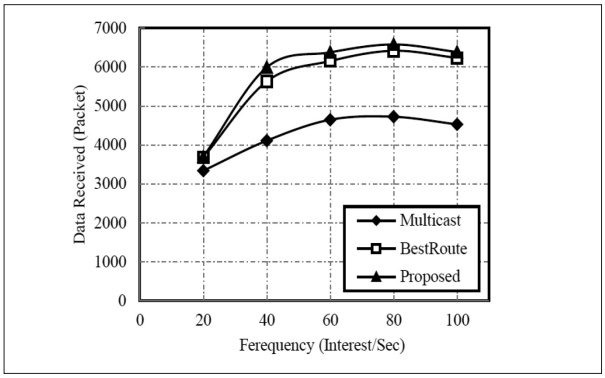
شکل ۷: دریافت بسته‌های داده نسبت به تغییر افزایش سرعت خودروها (نرخ ارسال بسته درخواست= ۱۰۰ درخواست در ثانیه)



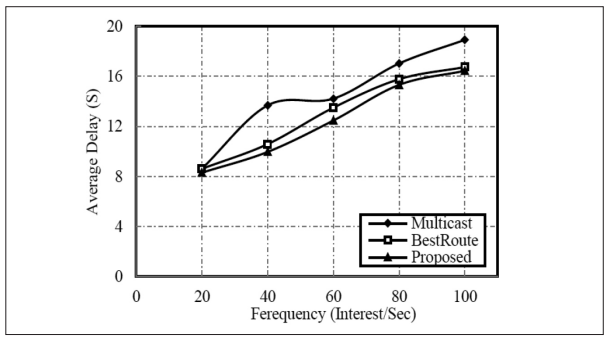
شکل ۸: میانگین تاخیر دریافت بسته‌های داده نسبت به تغییر افزایش سرعت خودروها (نرخ ارسال بسته درخواست= ۱۰۰ درخواست در ثانیه)



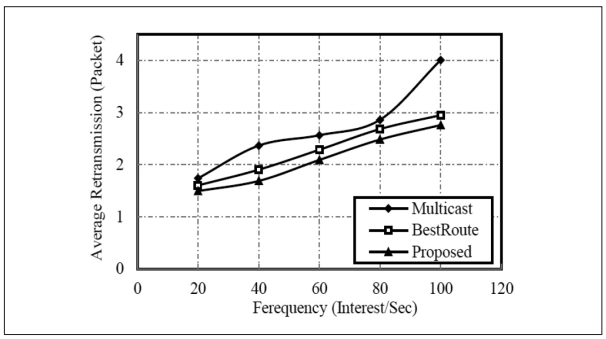
شکل ۹: میانگین ارسال مجدد بسته‌های درخواست نسبت به تغییر افزایش سرعت خودروها (نرخ ارسال بسته درخواست= ۱۰۰ درخواست در ثانیه)



شکل ۱۰: دریافت بسته‌های داده نسبت به تغییر نرخ ارسال بسته‌های درخواست (سرعت خودروها -۲۰ متر بر ثانیه)



شکل ۱۱: میانگین تاخیر بسته‌های داده نسبت به تغییر نرخ ارسال بسته‌های درخواست (سرعت خودروها -۲۰ متر بر ثانیه)



شکل ۱۲: میانگین ارسال مجدد بسته‌های درخواست نسبت به تغییر نرخ ارسال بسته‌های درخواست (سرعت خودروها -۲۰ متر بر ثانیه)

۵- نتیجه گیری و کارهای آینده

در این مقاله، یک راهبرد ارسال مکان محور در شبکه‌های خودرویی داده‌نام پیشنهاد شد و سپس با شبیه‌سازی در کنار دو راهبرد ارسال بهترین مسیر و همه‌پخشی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در راهبرد ارسال پیشنهادی، مسیریاب‌هایی که قبل از مسیریاب‌های بی‌سیم کنار جاده قرار دارند از راهبرد ارسال همه‌پخشی و سایر مسیریاب‌ها از راهبرد ارسال بهترین مسیر بهره می‌برند. مسیریابی که بعد از مسیریاب دریافت کننده درخواست قرار دارد نیز داده مورد نیاز را در خود ذخیره نموده است و با قرار گرفتن خودرو در محدوده این مسیریاب بسته داده را به آن تحویل خواهد داد. در این حالت از ارسال مجدد بسته درخواست جلوگیری خواهد شد و عملکرد شبکه نسبت به دو راهبرد پیشین بهبود یافته و تاخیر داده دریافتی نیز کاهش می‌یابد.

در دو سـناریوی شبیه‌سازی شـده در این مقاله، میزان بسته‌های داده دریافتی، متوسط تاخیر بسته‌های داده و ارسال مجدد بستههای درخواست در شبیه‌سازی اندازه‌گیری شد. در این دو سناریو به ترتیب سرعت خودروها (پویایی شبکه) و نرخ بسـته‌های درخواسـت (بار شبکه) تغییر کرد و نتایج شبیه‌سازی حاکی از بهبود کارایی راهبرد ارسال پیشنهادی نسبت به سایر راهبردهای مورد مطالعه در این مقاله بود. در پژوهش‌های آینده، می‌توان با یک سازوکار وفقی متناسب با شرایط شـبکه و گره‌ها، تعداد درخواست تولید شده توسط خودرو را کنترل نموده، به‌طوری که با افزایش سرعت خودرو تعداد نرخ ارسـال درخواسـت‌ها کاهش و با کاهش سرعت خودروها، نرخ ارسـال درخواسـت‌ها افزایـش یابد. در این صورت تعداد بسته‌های حذف شده نیز میتوان کنترل نمود.

مراجع

1. www.history-computer.com/Internet/Maturing/TCPIP.html
2. Jain, Vaishali, and Rajendra Singh Kushwah. "NDN architectures in VANET scenario." In 2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), pp. 178-182. IEEE, 2017.
3. Y. Rao, D. Gao, and H. Luo, "NLBA: A Novel Provider Mobility Support Approach in mobile NDN environment," In Proceedings of the 11th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2014, pp. 188-193.
4. Peyman TalebiFard, Victor C.M. Leung, Marica Amadeo, Claudia Campolo, and Antonella Molinaro, Information-Centric Networking for VANETs,2015
5. L. Zhang, D. Estrin, J. Burke, V. Jacobson, J.D. Thornton, D.K. Smetters, B. Zhang, G. Tsudik, K.C. Claffy, D. Krioukov, D. Massey, C.Papadopoulos, T. Abdelzaher, L. Wang, P. Crowley, and E. Yeh. (2010). Named Data Networking (NDN) Project. [Online]. Available: http://nameddata.net/project/annual-progress-summaries/
6. D. Saxena, V. Raychoudhury, S. Neeraj, C. Becker, and J. Cao, "Named Data Networking: A Survey," Comput. Sci. Rev. Elsevier, vol. 19, pp. 15-55, 2016.
7. L. Zhang, D. Estrin, J. Burke, V. Jacobson, J.D. Thornton, D.K. Smetters, B. Zhang, G. Tsudik, K.C. Claffy, D. Krioukov, D. Massey, C.Papadopoulos, T. Abdelzaher, L. Wang, P. Crowley, and E. Yeh. (2011). Named Data Networking (NDN) Project. [Online]. Available: http://nameddata.net/project/annual-progress-summaries/
8. L. Zhang, D. Estrin, J. Burke, V. Jacobson, J.D. Thornton, D.K. Smetters, B. Zhang, G. Tsudik, K.C. Claffy, D. Krioukov, D. Massey, C.Papadopoulos, T. Abdelzaher, L. Wang, P. Crowley, and E. Yeh. (2012). Named Data Networking (NDN) Project. [Online]. Available: http://nameddata.net/project/annual-progress-summaries/
9. Future Internet Architecture. [Online]. Available: www.nets-fia.net/
10. M. Meisel, V. Pappas, and L. Zhang, "Ad hoc networking via named data," In Proceedings of the 5th ACM International workshop on Mobility in the evolving Internet architecture, 2010, pp. 3-8.
11. A. Azgin, R. Ravindran, and G. Wang, "A Scalable Mobility-Centric Architecture for Named Data Networking," arXiv preprint arXiv: 1406.7049, (2014).
12. Z. Zhu, A. Afanasyev, and L. Zhang, "A New Perspective on Mobility Support," Named-Data Networking Project, Tech. Rep., 2013.
13. X. Jiang, J. Bi, and Y. Wang, "What Benefits Does NDN Have in Supporting Mobility," In Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2014, pp. 1-6.
14. Y. Zhang, H. Zhang, and L. Zhang, "Kite: A Mobility Support Scheme for NDN," In Proceedings of the 1st ACM International Conference on Information-centric networking, 2014, pp. 179-180.
15. Y. Li, Z. Zhao, T. Lin, H. Tang, and S. Ci, "A SIP-based Real-time Traffic Mobility Support Scheme in Named Data Networking," Journal of Networks, 7(6), (2012): 918–925.
16. P. Mendes, R. Sofia, V. Tsaoussidis, S. Diamantopoulos, and C. Sarros, "Information-centric routing for opportunistic wireless networks," IETF Internet Draft - draft-mendes-icnrg-dabber-01, Tech. Rep., August 2018.
17. Kuai, Meng, Xiaoyan Hong, and Qiangyuan Yu. "Delay-tolerant forwarding strategy for named data networking in vehicular environment." International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing 31.1 (2019): 1-12.
18. Barka, E.; Kerrache, C.; Hussain, R.; Lagraa, N.; Lakas, A.; Bouk, S. A Trusted Lightweight Communication Strategy for Flying Named Data Networking. Sensors 2018, 18, 2683. [CrossRef] [PubMed]A. Afanasyev et al., NFD Developers Guide, 2016.
19. Aboud, Ahmed, Haifa Touati, and Brahim Hnich. "Efficient forwarding strategy in a NDN-based Internet of things." Cluster Computing (2018): 1-14
20. Afanasyev, Alexander, Junxiao Shi, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, Ilya Moiseenko, Yingdi Yu, Wentao Shang et al. "NFD developer's guide." Dept. Comput. Sci., Univ. California, Los Angeles, Los Angeles, CA, USA, Tech. Rep. NDN-0021 (2014).
21. Nfd::fw::BestRouteStrategy2 Class Reference. NS-3 based Named Data Networking (NDN) Simulator. [Online]. Available: http://ndnsim.net/2.6/doxygen/classnfd_1_1fw_1_1BestRouteStrategy2.html.
22. Nfd::fw::MulticastStrategy Class Reference. NS-3 based Named Data Networking (NDN) simulator, [Online]. Available: http://ndnsim.net/2.6/doxygen/classnfd_1_1fw_1_1MulticastStrategy.html.
23. S.Mastorakis,A.Afanasyev,I.Moiseenko,L.Zhang,"ndnSIM 2.0: A new version of the NDN simulator for NS-3", Jan. 2015.