

Designing a Reactive Routing Protocol for Optimizing Channel Switching in Communication Networks

S. Amirbeigi^{ID}, M. Ghazvini^{*}^{ID}, O. Abedi^{ID}

*Associate Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Received: 2024/06/27, Revised: 2024/11/28, Accepted: 2025/01/12, Published: 2025/02/01)
DOR <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.4.1.5>

Abstract

In cognitive radio networks, secondary users strive to exploit the frequency spectrum in the absence of primary users without causing interference through opportunistic access. However, the sudden return of primary users can cause serious interference and lead to an increase in channel switching in dynamic environments. Moreover, in platforms such as mobile ad hoc networks, user mobility adds to network instability and intensifies challenges such as routing. To address these challenges, this research presents a reactive routing protocol specifically designed for cognitive radio networks with mobile nodes. This protocol, by utilizing intersection analysis, mobility models, and advanced cognitive radio capabilities, results in a significant reduction in channel switching, decreased probability of interference between users, and optimal utilization of random channel access. Additionally, by eliminating dependency on a common control channel and increasing path stability through link expiration time calculation, it provides an efficient and cost-effective approach for establishing stable communications in dynamic networks.

Keywords: Cognitive radio networks, Mobile ad hoc networks, Interference, Reduction of channel switching, Spectrum mobility.

علمی - پژوهشی

طراحی پروتکل مسیریابی واکنشی برای بهینه‌سازی سوئیچینگ کانال‌ها در شبکه‌های ارتباطی

: ساناز امیریگی^۱، مهدیه قزوینی^{۲*}، امید عابدی^۳

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۲- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۳- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳، انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳)

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.4.1.5>



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

چکیده

در شبکه‌های رادیو شناختی، کاربران ثانویه تلاش می‌کنند تا در غیاب کاربران اولیه و با کمک دسترسی فرصت‌طلبانه، از طیف فرکانسی بدون ایجاد اختلال بهره‌برداری کنند. با این حال، بازگشت ناگهانی کاربران اولیه ممکن است تداخلات جدی ایجاد کرده و در محیط‌های پویا منجر به افزایش تعداد سوئیچینگ کانال شود. همچنین، در بسترهایی مانند شبکه‌های سیار موردی، تحرک کاربران به ناپایداری شبکه افزوده و چالش‌هایی مانند مسیریابی را تشدید می‌کند. برای مقابله با این چالش‌ها، این پژوهش یک پروتکل مسیریابی واکنشی را ارائه می‌دهد که به طور خاص برای شبکه‌های رادیو شناختی با گره‌های متحرک طراحی شده است. این پروتکل با بهره‌گیری از تحلیل تقاطع‌ها، مدل‌های حرکتی و قابلیت‌های پیشرفته رادیو شناختی، به کاهش چشمگیر سوئیچینگ کانال، کاهش احتمال تداخل میان کاربران، و بهره‌برداری بهینه از دسترسی تصادفی کانال‌ها می‌انجامد. همچنین، با حذف وابستگی به کانال کنترلی مشترک و افزایش پایداری مسیرها از طریق محاسبه زمان انقضای پیوند، رویکردی کارآمد و مقرون به صرفه برای ایجاد ارتباطات پایدار در شبکه‌های پویا ارائه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های رادیو شناختی، شبکه‌های سیار موردی، تداخل، کاهش سوئیچینگ کانال، تحرک طیف

۱. مقدمه

شبکه‌های رادیو شناختی^۱ شامل مجموعه‌ای از کاربران اولیه (اصلی)^۲ و کاربران ثانویه^۳ هستند و به طور مشترک از پهنای باند فرکانسی استفاده می‌کنند. در این شبکه‌ها، کاربران اولیه به کاربرانی اطلاق می‌شود که بخشی از طیف از طریق سازمان‌های تخصیص فرکانس به آن‌ها اختصاص داده می‌شود و می‌توانند در هر زمان به طیف مجاز خود (LSP^۴) دسترسی پیدا کنند. از آنجایی که کاربران اولیه همیشه از طیف خود استفاده نمی‌کنند بخشی از طیف بلااستفاده می‌ماند، به این باندهای فرکانسی که در مکان و زمان خاصی استفاده نمی‌شوند فرصت‌های طیف یا حفره‌های طیف می‌گویند و کاربران ثانویه به کاربرانی گفته می‌شود که مجوزی برای استفاده از طیف ندارند و می‌بایست به صورت فرصت‌طلبانه و بدون ایجاد تداخل در فعالیت کاربران اولیه از طیف استفاده کنند [۱-۳]. اما زمانی که کاربران اولیه به طور مداوم و ناگهانی وارد طیف مجاز خود می‌شوند، شرایطی را برای کاربران ثانویه به وجود می‌آورند که باعث کاهش عملکرد و قطع ارتباط آن‌ها در یک محیط پویا می‌شوند. در این حالت، آگاهی از نحوه حرکت طیف، امری بسیار مهم است؛ زیرا تحرک طیف یکی از ویژگی‌های کلیدی شبکه رادیو شناختی است که امکان استفاده کاربران ثانویه را فراهم می‌کند و توسط روش‌های تحلیلی مانند مارکوف و نظریه بازی‌ها پیش‌بینی می‌شود [۴]. از سوی دیگر شبکه‌های رادیو شناختی با دو چالش اساسی جلوگیری از ایجاد تداخل و به حداقل رساندن تعداد سوئیچینگ کانال مواجه هستند و از آنجاکه در بسترهای مختلفی همانند شبکه‌های سیار موردی^۵ استفاده می‌شوند، تحرک کاربران در این شبکه‌ها می‌تواند به ناپایداری ذاتی شبکه رادیو شناختی بیفزاید و به دلیل تغییر مداوم توپولوژی، چالش مسیریابی به وجود می‌آید. به این معنی که اگر در یک زمان مشخص، یک مسیر بهینه باشد ممکن است در چند ثانیه بعد به دلیل تحرک کاربران و حتی خارج شدن آنها از شبکه، آن مسیر وجود نداشته باشد. مسیریابی، یکی از موضوعات مورد مطالعه در سال‌های اخیر بوده است که به طور معمول هدف تحقیق در این زمینه، کشف راهی بهینه برای ساخت مسیری مناسب به شیوه‌ای که کوتاه‌ترین و پایدارترین مسیر ممکن جهت رسیدن به مقصد باشد. برای رفع چالش‌های مطرح شده، روشی مبتنی بر طرح انتخاب گره واسط و کشف مسیری مناسب جهت بهبود ارسال بسته به مقصد با ارائه یک پروتکل مسیریابی واکنشی یا مبتنی بر تقاضا با در نظر گرفتن

قابلیت‌های خاص به منظور جبران این ناپایداری و چالش‌هایی که در اثر آن ایجاد می‌شود، پیشنهاد شده است. پروتکل‌های واکنشی، تنها زمانی عمل کشف مسیر را انجام می‌دهند که گره مقصد ناشناس باشد و هیچ مسیری از قبل وجود نداشته باشد. گره‌ها در شبکه موردی، منابع محدودی مانند پهنای باند و باتری دارند که برای کاهش سربار، اطلاعات را فقط برای مسیرهای فعال پخش می‌کنند. زمانی که یک گره برای گره مقصد درخواست مسیر کند در ابتدا یک فرآیند کشف مسیر رخ می‌دهد. کشف مسیر معمولاً توسط پخش سیل آسا، یک بسته درخواست مسیر در شبکه اتفاق می‌افتد که وقتی یک گره با یک مسیر به مقصد برسد یک مسیر پاسخ به گره مبدأ با استفاده از لینک برگشتی ارسال می‌گردد. از پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر تقاضا یا واکنشی می‌توان به: (۱) DSR^۶ (۲) AODV^۷ (۳) TORA^۸ اشاره کرد [۱۵].

در پژوهش جاری از استراتژی‌های پروتکل AODV در روند پروتکل پیشنهادی، بهره گرفته شده است. از جمله قابلیت‌ها و نوآوری‌های روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

(۱) پروتکل پیشنهادی، علاوه بر قابلیت‌های رادیو شناختی از مدل‌های حرکتی و تقاطع نیز استفاده می‌کند.

(۲) پروتکل پیشنهادی، از حمل و نقل جغرافیایی و پارامترهای حرکتی شامل (موقعیت نسبت به تقاطع، جهت، سرعت) برای انتخاب گره بعدی استفاده می‌کند.

(۳) در پروتکل پیشنهادی، گره در فرآیند کشف مسیر، با استفاده از محاسبه‌ی زمان انقضای پیوند (LET^۹)، توسط معیارهای تحرک (موقعیت، جهت، سرعت)، به بررسی مسیری پایدار و قابل اطمینان به منظور جلوگیری از قطع مکرر مسیر و افزایش کیفیت سرویس می‌پردازد.

(۴) در فرآیند نگهداری مسیر، پروتکل پیشنهادی به جای تعویض یک کانال، از گره بعدی متفاوتی با توجه به اولویت‌های تعریف شده استفاده می‌کند. به طوری که اولویت انتخاب گره بعدی، بر اساس پارامترهای حرکتی و وضعیت کانال تعیین می‌شود. ادامه مقاله به این شرح تنظیم شده است: در بخش دوم، مروری بر کارهای مرتبط در این زمینه را ارائه می‌دهیم. روش پیشنهادی و مدل شبکه‌ی مورد استفاده در پروتکل پیشنهادی، در بخش سوم، بیان شده است. در بخش چهارم، به الزامات اصلی پروتکل

^۶ Dynamic Source Routing (DSR)

^۷ Ad-hoc On Demand Distance (AODV)

^۸ Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA)

^۹ Link Expiration Time (LET)

^۱ Cognitive radio networks

^۲ Primary Users

^۳ Secondary users

^۴ Licensed spectrum pool

^۵ Mobile ad hoc networks

نحوه ارتباطات اساسی، پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی^۱ را معرفی نموده‌اند. این پروتکل‌ها اطلاعات را از مبدأ به مقصد در یک جدول مسیریابی ذخیره می‌کنند. شامل سه پروتکل مسیریابی به شرح: (۱) پروتکل مسیریابی فعال^۲ (۲) پروتکل مسیریابی واکنشی^۳ (۳) پروتکل مسیریابی ترکیبی^۴ هستند.

به طور مشابه در [۱۰]، نیز نویسندگان به بررسی Vanet، چالش‌ها و پروتکل‌های مسیریابی موجود پرداخته‌اند با این تفاوت که با ارائه اطلاعات دقیقی از اجزای فیزیکی Vanet، تحقیقات جامعی را ارائه می‌دهند. همچنین در پژوهش دیگری مشابه با [۱۰]، نیز به بررسی متداول‌ترین پروتکل‌های مسیریابی، و الزامات اساسی که باید در هنگام مسیریابی اندازه‌گیری شوند پرداخته شده است [۱۱]. از این‌رو باتوجه به تعاریف پروتکل‌های مسیریابی طبق مقالات بیان شده، پروتکل پیشنهادی، در دسته پروتکل‌های مسیریابی واکنشی جای می‌گیرد؛ زیرا در این پروتکل برای ارسال بسته به مقصد، گره مبدأ نیازمند به برقراری ارتباط و کشف مسیر به مقصد می‌باشد.

اختر و منصور [۱۲]، یک پروتکل CR-VANET ارائه داده‌اند که این پروتکل برای اطمینان از کارایی کارآمد، در ارتباطات چند گامی استفاده شده است و تحرک مستقل وسایل نقلیه و دردسترس بودن تصادفی کانال‌ها را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین این پروتکل به عنوان یک مسئله نمودار وزنی مشخص می‌شود و در آن وزن برای یک لبه بر اساس پارامتر NHDF اندازه‌گیری می‌شود که NHDF به طور ضمنی الگوی تحرک گره‌ها و دردسترس بودن کانال را برای انتخاب مسیر بهینه در نظر می‌گیرد. از این‌رو، الگوی تحرک گره‌ها از نظر فاصله، جهت، سرعت و قابلیت اطمینان تعریف شده است که به طور مشابه، پروتکل پیشنهادی نیز از دردسترس بودن تصادفی کانال‌ها برای انتخاب مسیر بهینه استفاده می‌کند. اما به طور متفاوتی در پروتکل پیشنهادی ما، علاوه بر پارامترهای حرکتی، از تقاطع و حمل و نقل جغرافیایی نیز استفاده شده است و همچنین تغییرات در طیف، ناشی از ورود و خروج کاربران اصلی باتوجه به زنجیره مارکوف دو حالت^۵ پیش‌بینی می‌شود.

در پروتکل پیشنهادی، گره در فرآیند کشف مسیر، با استفاده از محاسبه زمان انقضای پیوند (LET)، توسط معیارهای تحرک (موقعیت، جهت، سرعت)، مشابه با مقاله [۱۳]، به بررسی مسیری پایدار و قابل اطمینان به منظور جلوگیری از قطع مکرر مسیر،

پیشنهادی، که شامل کشف و نگهداری مسیر می‌باشد می‌پردازیم. در بخش پنجم، نتایج حاصل از شبیه‌سازی را بیان می‌کنیم و سرانجام در بخش ششم، با بحث و نتیجه‌گیری درباره پروتکل پیشنهادی، مقاله خاتمه می‌یابد.

۲. کارهای مرتبط

استفاده از شبکه‌های رادیو شناختی در زیرساخت شبکه‌های سیار موردی و تحرک کاربران در این شبکه‌ها به ناپایداری ذاتی شبکه‌های رادیو شناختی می‌افزاید و ما را با چالش مهم مسیریابی مواجه می‌کند که رفع آن نیز حائز اهمیت است. پروتکل‌های مسیریابی، مجموعه‌ای از قوانین تعریف شده هستند که مسیریاب‌ها برای برقراری ارتباط بین مبدأ و مقصد استفاده می‌کنند. آنها اطلاعات را به مقصد منتقل نمی‌کنند؛ بلکه فقط جدول مسیریابی که حاوی اطلاعات مسیریابی است را به‌روز خواهند کرد. الگوریتم‌های مسیریابی، انتخاب یک مسیر خاص برای هدایت بسته‌ها در مسیر را تعیین می‌کنند که به فرآیند انتخاب بهترین مسیر، مسیریابی گفته می‌شود. همچنین شبکه‌های مختلف برای اینکه بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند به مسیریابی نیازمندند که به وسیله پروتکل‌های مسیریابی این کار را انجام می‌دهند. پژوهش‌های زیادی به بررسی پروتکل‌های مسیریابی و استراتژی‌های بکار رفته در آن پرداخته‌اند که در این بخش به مهم‌ترین این آثار پرداخته می‌شود.

در [۶] نویسندگان، به دلیل غیرمتمرکز بودن شبکه ثانویه برای هماهنگی بین کاربران ثانویه از کانال کنترلی مشترکی برای مبادله پیام‌های کنترلی استفاده کرده‌اند که در آن فرض شده است تمام کاربران ثانویه می‌توانند به این کانال دسترسی پیدا کنند. به طور مشابه در مقالات [۸، ۷] نیز از کانال کنترلی مشترک، برای تبادل اطلاعات کنترلی استفاده شده است. اما به طور متفاوتی پروتکل پیشنهادی، از هیچ کانال کنترلی مشترکی برای مبادله پیام‌های کنترلی استفاده نمی‌کند و بسته‌های کنترلی فقط از طریق طیف مجاز مبادله می‌شوند [۵].

آنچلا و همکارانش [۵]، پروتکلی را ارائه داده‌اند که در آن فرض شده است برای کشف و نگهداری مسیر به هیچ‌گونه اطلاعات مکانی نیاز نمی‌باشد و کاربران رادیو شناختی از GPS برای شناسایی مکان خود استفاده نمی‌کنند. همچنین مدل‌های حرکتی و تقاطع را نیز در روش خود در نظر نگرفته‌اند. اما در پروتکل پیشنهادی، از مدل‌های حرکتی و تقاطع، علاوه بر پارامترهای رادیو شناختی استفاده گردیده است و همچنین فرض شده است که گره مبدأ از مکان گره مقصد باخبر است و هر کاربر رادیو شناختی با استفاده از GPS مکان خود را شناسایی می‌کند.

یوگاریان و همکارانش [۹]، با بررسی شبکه موردی خودرویی،

^۱ Topology-Based Routing Protocol

^۲ Proactive Routing Protocols

^۳ Reactive Routing Protocols

^۴ Hybrid Protocols

^۵ Two-state Markov chain

فرض شده است که شبکه دارای n کانال است و هر کدام دارای پهنای باند یکسان هستند. تعداد کاربران اولیه np می باشد که $n=np$ است. به این معنا که فرض کرده ایم، کاربران اولیه برای دسترسی به کانال چالش ندارند و در شبکه دارای محدوده انتقال یکسان و موقعیت ثابت هستند. همچنین وضعیت کاربران اولیه را با $Xi(t)$ نشان می دهیم. برای مثال $X2(t)$ به معنای وضعیت کاربر اولیه در کانال ۲ در زمان t است و $Xi(t)=IDLE$ به معنای آزاد بودن کانال i در زمان t است و $Xi(t)=BUSY$ به معنای مشغول بودن آن کانال می باشد. در این شبکه، کاربران ثانویه از هیچ کانال کنترلی مشترکی برای مبادله پیام های کنترلی استفاده نمی کنند و بسته های کنترلی فقط از طریق طیف مجاز مبادله می شوند. همچنین مدل تحرک این روش، از مدل SRM^5 الهام گرفته شده است که در این مدل سرعت و جهت به عنوان دو پارامتر اساسی شناخته می شوند و تغییری در آنها منجر به الگوی تحرک جدید می گردد. از این رو در این روش، موقعیت X همه گره ها ثابت، و موقعیت Y ، سرعت و جهت آنها طبق روابط ذیل مشخص می شود:

$$\alpha_{Y1}, V1, Dir1 = \text{Source Node} \quad (2)$$

$$\beta_{Y2}, V2, Dir2 = \text{Destination Node} \quad (3)$$

$$\theta_{Y3}, V3, Dir3 = \text{Random between } (\alpha, \beta)$$

۳-۲. بررسی رفتار کاربران اولیه و تشکیل جدول سابقه حضور کاربران اولیه

در پروتکل پیشنهادی، زمانی که یک گره وارد شبکه می شود به صورت دوره ای برای یافتن کانال های بیکار به کانال ها گوش می دهد که این عمل حس کردن، در دوره های زمانی t در شروع اسلات زمانی صورت می گیرد و با هر بار حس کردن، اطلاعاتی از اشغال یا آزاد بودن کانال به دست می آید و این اطلاعات در جدولی به نام جدول اطلاعات طیف، ذخیره می شوند. از این رو، هر گره پس از حس کردن کانال، به ازای حضور کاربران اولیه ($BUSY$) و به ازای عدم حضور ($IDLE$) را در جدول قرار می دهد. این جدول به صورت دوره ای در بازه زمانی t به روز رسانی می شود که تعیین مدت زمان t یکی از مهم ترین چالش ها در ساخت جدول اطلاعات طیف می باشد. زیرا انتخاب بهینه این زمان، می تواند به میزان زیادی به رفتار کاربران اولیه بستگی داشته باشد، به گونه ای که در شبکه ای با حضور کاربران اولیه کم، بازه زمانی می تواند بزرگ تر باشد تا سربار، حس کردن کانال و ذخیره سازی داده ها کمتر شود. برای تعیین مدت زمان t ، باید رفتار کاربران اولیه مدل سازی شود که به این منظور در این مقاله، از مدل مارکوف دوحالته استفاده شده است. به طوری که کاربران اولیه، طی یک فرآیند مارکوف دوحالته کار

افزایش کیفیت سرویس و توان عملیاتی پرداخته است. با این تفاوت که در این مقاله، از رویکرد حریصانه برای ارسال بسته مورد نیاز به گره ها استفاده شده است اما در پروتکل پیشنهادی با توجه به پارامترهای حرکتی و وضعیت کانال، بسته ارسال می گردد.

آنجل^۱ و همکاران [۵]، یک پروتکل مسیریابی واکنشی به نام $CAODV^2$ را ارائه داده اند که در آن هیچ کانال کنترلی مشترکی^۳ برای مبادله پیام های کنترلی وجود ندارد. که به طور متفاوتی در [۶]، نویسندگان، به دلیل غیرمتمرکز بودن شبکه ثانویه برای هماهنگی بین کاربران ثانویه از کانال کنترلی مشترک برای مبادله پیام های کنترلی استفاده کرده اند و در آن فرض شده است تمام کاربران ثانویه می توانند به این کانال دسترسی پیدا کنند. به طور مشابه در مقالات [۷، ۱۴]، نیز از کانال کنترلی مشترک برای تبادل اطلاعات کنترلی استفاده گردیده است.

در پروتکل $CAODV$ ، مدل حرکتی و تقاطع وجود ندارد و بسته های کنترلی مبتنی بر $AODV$ ، بدون هیچ گونه محدودیتی به همه همسایگان فرستاده می شوند. همچنین در آن فرض شده است برای کشف و نگهداری مسیر، به اطلاعات مکانی نیاز نمی باشد و کاربران رادیو شناختی از GPS برای شناسایی مکان خود استفاده نمی کنند؛ اما به طور متفاوتی در مقاله [۸]، یک پروتکل مسیریابی واکنشی به نام $MASAR^4$ ارائه شده است که این پروتکل از حمل و نقل جغرافیایی و محدودیت تحرک گره ها برای انتخاب هاپ بعدی استفاده می کند و در آن هر کاربر رادیو شناختی با استفاده از GPS ، مکان خود را شناسایی خواهد کرد. همچنین این پروتکل با $CAODV$ مقایسه شده است و نتایج نشان می دهد که $MASAR$ می تواند سربار و زمان تحویل بسته را بهبود ببخشد.

۳. روش پیشنهادی

همان طور که در قسمت های قبل ذکر شد، به کارگیری شبکه های رادیو شناختی در بسترهای مختلفی همانند شبکه های سیار موردی و تحرک کاربران در این شبکه ها سبب افزایش میزان ناپایداری ذاتی شبکه های رادیو شناختی می شود. به دلیل تغییر مداوم توپولوژی در این حالت، نیازمند فرآیند مسیریابی هستیم. بدین منظور در این قسمت روشی برای انتخاب گره میانی و کشف مسیری مناسب جهت بهبود ارسال بسته به مقصد با معرفی یک پروتکل مسیریابی واکنشی ارائه می شود.

۳-۱. مدل شبکه

¹ Angela

² Cognitive Ad-hoc On-demand Distance Vector (CAODV)

³ Common Control Channel (CCC)

⁴ Mobility Assisted Spectrum Aware Routing (MASAR)

⁵ Smooth Random Mobility model (SRM)

به میزان قابل توجهی کاهش یابد که منجر به افزایش زمان استفاده از طیف می شود؛ بنابراین ما در این مقاله، از مدل توزیع یکنواخت با $(K=1,2,3,\dots,M)$ استفاده کرده ایم که در آن M تعداد کانال ها است. توزیع یکنواخت توسط دو متغیر a و b تعریف می شود که به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر را نشان می دهند و با توزیع $U(a,b)$ نمایش داده می شوند که احتمال حضور کاربر اولیه در k کانال، به صورت $U_k \sim U(a,b)$ و تابع چگالی برای این توزیع به صورت $f(U_k) = 1/(b-a)$ است [۱۵].

۳-۴. مدل تحرک گره ها

یک مدل تحرک، الگوی حرکتی گره ها را در طول زمان توصیف می کند که شامل سه پارامتر اصلی تحرک گره ها (موقعیت، جهت، سرعت) می باشد. مدل های مختلفی برای توصیف تحرک از جمله RWP^1 وجود دارد که جزء مشهورترین مدل های تحرک تصادفی شناخته می شود؛ اما به دلیل تغییرات در پارامترهای تحرک، برای محیط های واقع بینانه غیر قابل استفاده است؛ بنابراین در این پروتکل، از مدل SRM استفاده می شود که در آن سرعت و جهت به عنوان دو پارامتر اساسی شناخته می شوند و تغییری در آنها منجر به الگوی تحرک جدید می شود. مدل SRM زمان کل را به عنوان Δt در دوره های زمانی تقسیم می کند و در هر Δt تغییر سرعت به شرح رابطه ذیل است:

(۴)

$\alpha(t)$ به عنوان شتاب مطرح است و اختلاف جهت با رابطه (۵) بیان می گردد:

(۵)

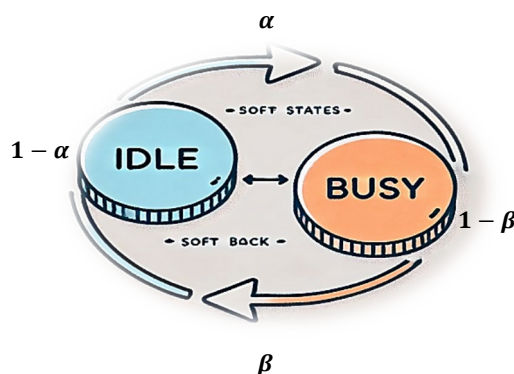
طبق رابطه (۵)، $\Delta\phi(t)$ حداکثر تغییر جهت در هر دوره می باشد و براساس SRM یک گره با سرعت ثابت v در حال حرکت است تا اینکه یک رویداد تغییر سرعت با احتمال p_v رخ دهد، که زمان بین دو رویداد تغییر سرعت از یک توزیع نمایی با $(\lambda v = pv/\Delta t)$ انتخاب می شود و میانگین آن برابر با $(uv = \Delta t/pv)$ است که هرچه p_v بالاتر باشد نشان دهنده تغییرات بیشتر در سرعت است. علاوه بر این، یک گره در یک خط مستقیم حرکت می کند تا زمانی که یک رویداد تغییر جهت با احتمال p_ϕ رخ دهد، پس زمان بین دو رویداد تغییر جهت با $(\lambda\phi = p\phi/\Delta t)$ و میانگین آن با توجه به $(u\phi = \Delta t/p\phi)$ نشان داده می شود [۸].

۴. الزامات اصلی پروتکل پیشنهادی

اکنون پروتکل پیشنهادی، در دو بخش فرآیند کشف و نگهداری

می کنند که فرض می شود دوره های مشغول ($BUSY$) و دوره های آزاد ($IDLE$) به ترتیب دارای توزیع نمایی با میانگین زمان P_{IDLE} ، P_{BUSY} هستند شکل (۱).

اگر کانال در حال حاضر در حالت $BUSY$ قرار گیرد احتمال اینکه حالت بعدی نیز کانال $BUSY$ شود $(1 - \beta)$ است در حالی که احتمال تغییر حالت کانال به حالت $IDLE$ به عنوان (β) معرفی می شود. حال اگر وضعیت فعلی کانال $IDLE$ باشد، احتمال اینکه کانال دوباره $IDLE$ شود $(1 - \alpha)$ است اما احتمال اینکه در حالت بعد کانال توسط کاربر اولیه، $BUSY$ شود برابر با (α) است.



شکل (۱): مدل فرآیند مارکوف دو حالت [۸]

همچنین فرض می کنیم که $\alpha(t) = \alpha$ و $\beta(t) = \beta$ که تأثیرات یکسانی بر روی کانال های متفاوت دارند و کاربران ثانویه نیز با توجه به در دسترس بودن کانال، ناهمگن هستند. اکنون در این روش، اگر کاربران اولیه یکی از کانال های دارای مجوز را انتخاب کنند با احتمال P_{BUSY} آن را مشغول، و پس از ترک کانال با احتمال P_{IDLE} آن را آزاد می کنند. از این رو، نرخ ورود و خروج کاربران اولیه به ترتیب با نرخ α و β به صورت نمایی، توزیع می شود [۸]:

$P_{IDLE} = \beta / (\alpha + \beta)$ ، $P_{BUSY} = \alpha / (\alpha + \beta)$ همچنین زمان t به صورت $t = t_x / P_{IDLE}$ می باشد که متغیر t_x همان زمان دوره در نظر گرفته شده است.

۳-۳. انتخاب کانال بهینه

از آنجایی که مالکان اصلی طیف فرکانسی، کاربران اولیه هستند پس در صورت بازگشت کاربر اولیه، کاربر ثانویه باید کانال فرکانسی را تخلیه، و کانال دیگری را برای از سرگیری ارتباطات خود پیدا کند. در هنگام انتخاب کانال بهینه، در نظر داشتن اینکه کانال مورد نظر در گذشته، تعویض کمتری توسط کاربران ثانویه داشته، اهمیت دارد؛ بنابراین با پیش بینی سابقه رفتار کاربران اولیه از آمارهای تاریخی، احتمال تخصیص مجدد کانال می تواند

مقصد هستند و متغیر SDir, SSP, SL، نشان‌دهنده جهت، سرعت و موقعیت گره فرستنده می‌باشند. همچنین IW نیز نشان‌دهنده وزن تقاطع است. CS به‌عنوان وضعیت کانال شناخته می‌شود. در این فرمت بسته، متغیری به نام Type تعریف شده است که این متغیر، یک فیلد چهار بیتی و شامل مقادیر (۰, ۱, ۲, ۳, ۴) به شرح جدول (۱) است:

جدول (۱): پارامترهای بسته ارسالی

Type	Package type
۰	RREQ
۱	RREP (inactive parameter IW)
۲	ACK (inactive parameter IW)
۳	ACMP (inactive parameters SDir, SSP, SL, IW)
۴	PU-RERR (inactive parameter SDir, SSP, SL, IW) Add (Name channel, Id channel, Address channel)

اکنون پس از ارسال بسته RREQ به تمام گره‌های همسایه، اگر یکی از گره‌ها، مقصد باشد پیغام ROUTE REPLY ارسال می‌گردد. در غیر این صورت، گره‌ها بر اساس اطلاعات دریافتی و پارامترهای حرکتی، مقدار LET [۱۶-۱۸] پیوند بین خود و گره هاپ قبلی را برحسب رابطه (۶) محاسبه می‌کنند که با به‌دست آوردن مقدار LET، پیشگویی حرکت در شبکه وارد خواهد شد و می‌توان توسط آن بهترین گره را بر اساس پارامترهای حرکتی انتخاب کرد. اما همان‌طور که بیان شد، از آنجایی که سیستم پروتکل پیشنهادی، چندکاناله در نظر گرفته شده است و کاهش تعداد سوئیچینگ کانال، برای ما اهمیت دارد، پس باید علاوه بر بررسی پارامترهای حرکتی، وضعیت کانال‌ها نیز چک شود و کانالی برای انتقال انتخاب شود که رفتار کاربران اولیه روی آن کمتر است.

$$LET = R - \frac{\sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}}{V_i - V_j} \quad (6)$$

در فرمول فوق، R به‌عنوان محدوده انتقال، و متغیرهای (X_i, Y_i) ، (X_j, Y_j) به‌عنوان مختصات گره مبدأ و گره همسایه در نظر گرفته شده‌اند و همچنین (V_i, V_j) نیز به‌عنوان سرعت متناظر گره مبدأ و گره همسایه می‌باشد با این فرض که $V_i < V_j$ است.

بنابراین، گره مبدأ بر اساس یک‌زمان Waiting time منتظر می‌ماند تا همه گره‌های همسایه، بسته RREP جدول (۱) را ارسال کنند. اگر گره مبدأ پس از اتمام این مدت‌زمان، هیچ بسته RREP را دریافت نکند به‌عنوان گره بن‌بست شناسایی می‌شود و باید درخواست خود را به‌طور مجدد پخش کند. اما اگر گره مبدأ، چندین بسته RREP را دریافت کند ابتدا بررسی خواهد کرد که

مسیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که در فرآیند کشف مسیر، با استفاده از معیارهای تحرک (موقعیت، سرعت، جهت، وزن) مسیری کوتاه‌تر، کشف می‌کند و از طریق محاسبه زمان انقضای پیوند (LET)، به بررسی مسیری پایدار می‌پردازد و در فرآیند نگهداری مسیر که مسیر برقرار شده بین مبدأ و مقصد تا زمانی که مورد نیاز مبدأ باشد نگهداری خواهد شد، ممکن است تغییراتی در دسترس بودن طیف ایجاد گردد و فعالیت کاربران اولیه در کانال خاصی که کاربران ثانویه در آن حضور دارند شناسایی شود که در این حالت، پروتکل پیشنهادی، به‌جای تعویض یک کانال، از گره گام متفاوتی با توجه به اولویت‌هایی که بر اساس پارامترهای حرکتی و وضعیت کانال در قسمت فرآیند کشف مسیر تعیین می‌شود استفاده می‌کند.

۱-۴. فرآیند کشف مسیر

یافتن یک مسیر پایدار و قابل اعتماد، منجر به اجتناب از قطع مکرر مسیر و افزایش توان عملیاتی می‌شود. از آنجایی که گره‌ها به‌سرعت در حال حرکت‌اند پس توپولوژی شبکه نیز به‌طور مداوم در حال تغییر است؛ بنابراین آنها باید به‌طور خودکار یک شبکه را تشکیل داده و حفظ کنند. تحرک گره‌ها، پیچیدگی مسیریابی را به دلیل شکست مکرر پیوند افزایش می‌دهد و این شکستگی‌های لینک به دلیل افزایش فرآیند کشف مسیر، سربار کنترلی را افزایش، و کارایی پروتکل را کاهش می‌دهد به این منظور می‌توان از اطلاعات LET برای انتخاب مسیری پایدارتر استفاده کرد که این عمل، منجر به کاهش مقدار سربار بسته تولید شده در شبکه و در نتیجه بهبود استفاده از پهنای باند می‌شود. به همین علت درمان شکست لینک بسیار مهم است و از آنجایی که در این مقاله، سیستم پروتکل پیشنهادی، چندکاناله در نظر گرفته شده است، پس باید علاوه بر محاسبه یک مسیر پایدار، تعداد سوئیچینگ کانال را نیز کاهش دهیم. اکنون در فرآیند کشف مسیر، فرض شده است در بین گره مبدأ و مقصد یک تقاطع وجود دارد و گره مبدأ قبل از تقاطع و گره مقصد بعد از تقاطع قرار دارد. در این فرض گره مبدأ حتماً از تقاطع عبور می‌کند. حال اگر گره مبدأ (فرض شروع) بسته‌ای برای ارسال به گره مقصد داشته باشد؛ اما راهی به مقصد نداشته باشد در ابتدا یک بسته تقاضای مسیر RREQ، را در بازه زمانی [0-10 ms] به تمام همسایگان (همسایگان از طریق جدول همسایگی که گره می‌سازد انتخاب می‌شوند) پخش^۱ می‌کند. فرمت بسته RREQ در شکل (۲) آمده است.

SID	DID	SDir	SSP	SL	IW	CS	Type
-----	-----	------	-----	----	----	----	------

شکل (۲): فرمت بسته RREQ

در شکل (۲)، متغیر SID و DID به ترتیب شامل آیدی مبدأ و

^۱ Broadcast

گره‌ای که از مقدار **Weight** بالاتری برخوردار باشد ارسال خواهد کرد که این بسته نشان‌دهنده، قرارگرفتن گره در وضعیت ROUTE IN است سپس بقیه گره‌ها باتوجه به الویت، به‌عنوان گره‌های کاندید، Next hop در نظر گرفته خواهند شد. ازاین‌رو، گره Next hop به‌عنوان گره شروع‌کننده جدید، بسته RREQ را در بازه زمانی [10-20 ms] به تمام همسایگان خود پخش خواهد کرد و همین عملیات تکرار می‌شود تا زمانی که بسته به مقصد ارسال شود که به‌محض رسیدن بسته به مقصد پیغام ROUTE REPLY به مبدأ ارسال می‌گردد و زمانی که مبدأ این پیغام را دریافت کند مسیر رسیدن به مقصد را در جدول مسیریابی ثبت کرده و شروع به ارسال داده از آن مسیر می‌کند. این متریک مسیریابی همیشه بر بهترین مسیر تأکید می‌کند. باین‌حال اگر گره مقصد یک بسته RREQ را از مسیری متفاوت با مقدار Weight مناسب‌تر دریافت کند بسته ROUTE REPLY را به گره مبدأ ارسال می‌کند و گره مبدأ جدول مسیریابی خود را از مبدأ به مقصد به‌روزرسانی کرده و مسیرها را در جدول مسیریابی حفظ می‌کند. همچنین اگر یک مسیر برای مدت طولانی استفاده نشود یک گره نمی‌تواند مطمئن باشد که آیا مسیر هنوز معتبر است یا خیر! در نتیجه گره، مسیر را از جدول مسیریابی خود حذف، و آن را به‌روزرسانی خواهد کرد.

$$\text{Weight} = W1 * \frac{\text{Number switch}}{\text{Max switch}} + W2 * \frac{\text{LET}}{\text{Max LET}} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، مقدار $W1$ و $W2$ وابسته به شرایط موجود می‌باشد، در صورتی که، مقدار زمان (LET)، اهمیت بیشتری داشته باشد $W2$ افزایش می‌یابد و در غیراینصورت $W1$ افزایش داده خواهد شد. اما در حالت عادی که اهمیت مقدار زمان (LET) و تعداد سوئیچینگ (Number switch) یکسان است، هر دو $W1$ و $W2$ مقداری مشابه برای آنها در نظر گرفته می‌شود. همانطور که بیان شد متغیرهای Number switch و LET به ترتیب به عنوان تعداد سوئیچینگ و زمان بیان شده‌اند. همچنین متغیرهای Max switch و Max LET جهت نرمال سازی فرمول استفاده شده است. حال طبق بیانات قبل، گره مبدأ با توجه به این فرمول، گره‌ای، که از مقدار Weight، بالاتری برخوردار باشد جهت ادامه فرآیند کار انتخاب می‌کند و بقیه گره‌ها با توجه به الویت به عنوان کاندید گره Next hop معرفی خواهند شد. در نهایت بحثی که در بخش کشف مسیر اهمیت پیدا می‌کند، پیوند میان دو گره می‌باشد. به طوری که اگر در حین ارتباط، پیوند میان دو گره قطع شود گره، بسته ACK جدول (۱) را به گره

وزن گره‌های ارسالی طبق رابطه (۹)، مثبت باشند.

$$D_Intersection\ to\ des = \frac{\sqrt{(|x_i - x_j|)^2 + (|y_i - y_j|)^2}}{2} \quad (7)$$

$$D_node\ to\ des = \frac{\sqrt{(|x_i - x_j|)^2 + (|y_i - y_j|)^2}}{2} \quad (8)$$

$$\text{Intersection weight} = \frac{(D_Intersection\ to\ des - D_node\ to\ des)}{TR} \quad (9)$$

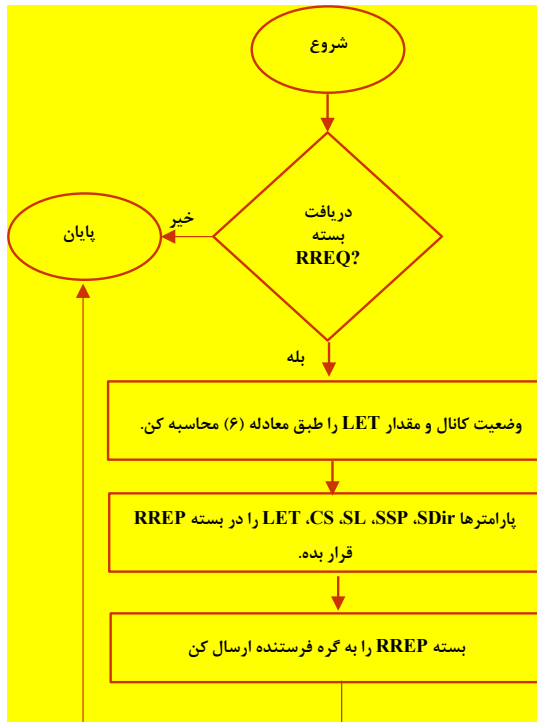
در روابط بالا، متغیر $D_Intersection\ to\ des$ ، نشان‌دهنده فاصله تقاطع تا مقصد، و متغیر $D_node\ to\ des$ نشان‌دهنده فاصله گره تا مقصد است که برای به‌دست‌آوردن فاصله، از رابطه، $\sqrt{(|x_i - x_j|)^2 + (|y_i - y_j|)^2}$ استفاده می‌گردد. در این رابطه، (x_i, y_i) موقعیت گره فعلی و (x_j, y_j) موقعیت گره مقصد می‌باشد. همچنین متغیر Intersection weight نیز بیان‌کننده وزن تقاطع است که در این رابطه، TR به عنوان محدوده انتقال در نظر گرفته شده است. حال با توجه به رابطه (۹)، اگر مقدار Intersection weight مثبت باشد یعنی گره به مقصد نزدیک است پس در نتیجه از تقاطع عبور کرده است. اما گره‌هایی که قبل از تقاطع قرار دارند و در نتیجه وزن منفی کسب می‌کنند به علت جلوگیری از سربار اضافی نادیده گرفته می‌شوند زیرا ممکن است قبل از رسیدن به تقاطع، مسیر خود را عوض کنند و از مقصد دور شوند که در این حالت گره‌های مناسبی برای انتخاب نیستند. شکل (۳)، توپولوژی روش پیشنهادی با توجه به مطالب بیان شده را نشان می‌دهد.



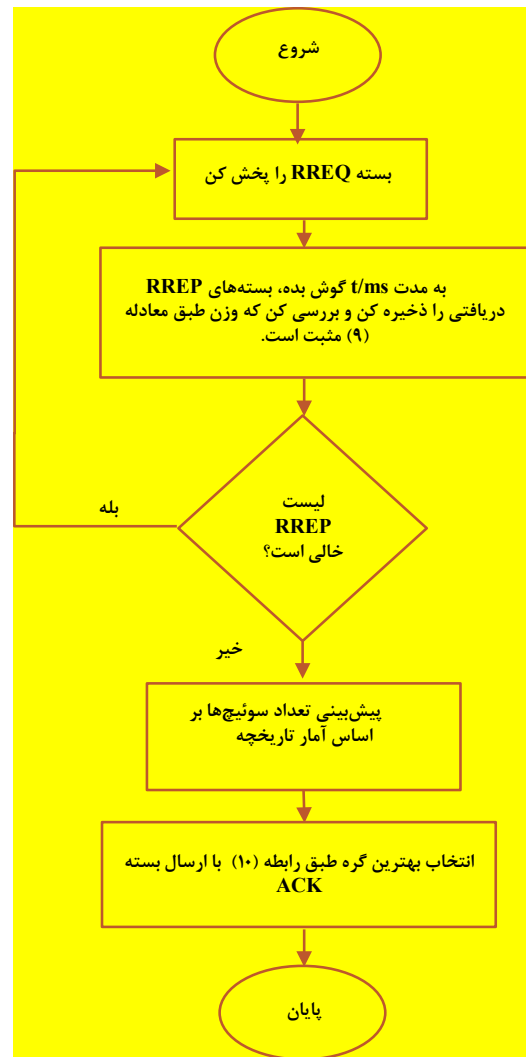
شکل (۳): توپولوژی روش پیشنهادی

اکنون گره مبدأ پس از بررسی وزن گره‌ها، بر اساس اطلاعات دریافتی، تعداد سوئیچینگ را طبق آمارهای تاریخی، پیش‌بینی خواهد کرد و باتوجه به رابطه (۱۰)، بسته ACK جدول (۱)، را به

مبدأ ارسال خواهد کرد که نشان دهنده عدم عبور بسته داده از این گره است که در این حالت گرهی مبدأ ارسال داده خود را متوقف کرده و مسیر جدیدی را برای ادامه فرآیند کار انتخاب می‌کند که برای جلوگیری از سربار کشف مسیر جدید، گره مبدأ می‌تواند از گره‌های کاندید Next hop، استفاده کند و در صورتی که هیچ گره کاندیدی وجود نداشت، مجدد فرآیند کشف مسیر آغاز می‌شود. از این رو، در این قسمت از مقاله، کلیاتی از نحوه عملکرد گره فرستنده و گیرنده که در مطالب قبل به طور کامل درباره آنها بحث شد، در قالب شبه کد در شکل‌های (۵،۶) آورده شده است:



شکل (۶): فلوچارت عملکرد گره گیرنده

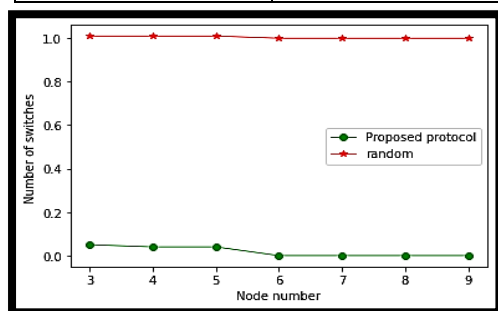


شکل (۵): فلوچارت عملکرد گره فرستنده

۲-۴۲. فرآیند نگهداری مسیر

پس از انجام فرآیند کشف مسیر، باید فرآیند نگهداری مسیر مورد توجه قرار گیرد. در فرآیند نگهداری مسیر، پروتکل CAODV از بسته PU-RERR جدول (۱)، به دلیل تغییر در دسترس بودن طیف استفاده می‌کند به‌طوری‌که این بسته زمانی استفاده می‌شود که برخی از فعالیت‌های کاربران اولیه در کانال خاصی شناسایی شده باشند که در این حالت گره میانی با ارسال بسته PU-RERR به گره‌های همسایه اطلاع می‌دهد که کانال اکنون در دسترس نیست و کانال دیگری جهت ادامه فرآیند کار انتخاب گردد. اکنون در پروتکل پیشنهادی همین فرآیند انجام می‌شود؛ اما به‌جای تعویض یک کانال، از گره Next hop متفاوتی با توجه به اولویت‌ها استفاده می‌گردد. همان‌طور که در مطالب قبل ذکر شد الویت انتخاب گره Next hop بر اساس پارامترهای حرکتی و وضعیت کانال تعیین می‌گردد. از این رو، زمانی که گره درخواست‌کننده، بسته‌های RREP دریافت می‌کند ابتدا بررسی می‌کند که طبق رابطه (۹)، وزن گره‌ها مثبت باشند، سپس بر اساس اطلاعات دریافتی، تعداد سوئیچینگ را طبق آمارهای تاریخی، پیش‌بینی

پارامترها	مقادیر
محدوده انتقال SU	300 m
محدوده انتقال PU	350 m
تعداد گره‌ها	(3-9)
سرعت	Max (30-90 m/s)
زمان شبیه‌سازی	200 s
زمان توقف	10 s
پروتکل MAC	IEEE 802.11p
حجم بسته داده	512 KB
حجم بسته کنترلی	50 b



شکل (۷): مقایسه تعداد سوئیچینگ کانال

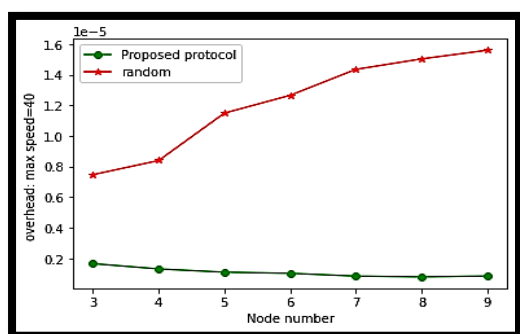
در شکل (۷)، محور افقی نشان‌دهنده تعداد گره‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده تعداد سوئیچینگ کانال است. این نمودار، نشان می‌دهد که در پروتکل پیشنهادی، با افزایش تعداد گره‌ها، مقدار سوئیچینگ کانال، کاهش پیدا کرده است. از آنجایی که کاهش تأخیر در پروتکل پیشنهادی به‌عنوان یک مسئله مهم تلقی می‌شود، در نتیجه این پروتکل با استفاده از یک مکانیزم مناسب، در هر گام، کانالی را برای ادامه فرآیند کار انتخاب می‌کند که حضور کاربران اولیه بر روی آن کانال کمتر باشد که در این حالت با افزایش تعداد گره‌ها، مسیرهای بیشتری جهت انتخاب ایجاد شده است که می‌توان با توجه به رابطه (۱۰) که در مطالب قبل بیان شد، بهترین مسیر را از لحاظ سوئیچینگ کانال انتخاب کرد. اما روش تصادفی، بدون در نظر گرفتن مکانیزم مناسب، در هر گام، به‌صورت کاملاً تصادفی، کانالی را جهت ادامه فرآیند کار انتخاب می‌کند که در این حالت حتی با توجه به افزایش تعداد گره‌ها که منجر به مسیریابی بیشتری می‌شود تأثیر زیادی در کاهش سوئیچینگ کانال ندارد و در همه سطوح مقدار سوئیچ کانال افزایش یافته است.

خواهد کرد و با توجه به رابطه (۱۰)، بسته ACK جدول (۱)، را به گره‌ای که از مقدار Weight بالاتری برخوردار باشد ارسال خواهد کرد که این بسته نشان‌دهنده، قرار گرفتن گره در وضعیت ROUTE IN است سپس بقیه گره‌ها با توجه به الویت، به‌عنوان گره‌های کاندید، در Next hop در نظر گرفته خواهند شد که می‌توان به‌جای تعویض کانال، از آنها به‌عنوان گره Next hop متفاوت، جهت ادامه فرآیند کار استفاده کرد.

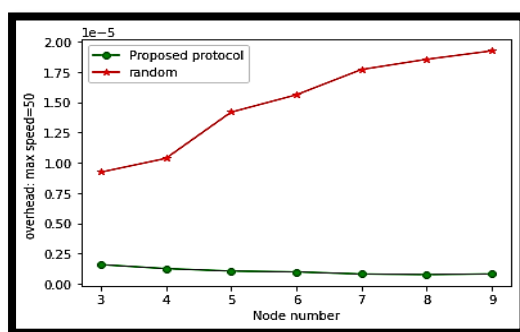
۵. شبیه‌سازی و ارزیابی

در این شبیه‌سازی که مدت‌زمان تعیین شده برای آن ۲۰۰ ثانیه است، سه سناریوی آزمایشی وجود دارد که در هر سه سناریو، تعداد گره‌ها از (۳-۹)، متغیر است و هر گره مجهز به GPS می‌باشد و با استفاده از GPS از مکان خود باخبر است. محدوده انتقال SU در این سناریوها، ۳۰۰ متر می‌باشد. همچنین برای هر گره، چهار کانال و سه PU در نظر گرفته شده است که PU ها شامل مکان‌های [۱۱۰، ۱۶۰، ۳۸۰] هستند و شرط مشغول شدن یک کانال توسط PU بر این اساس است که گره در محدوده انتقال PU (۳۵۰ متر)، قرار گیرد. از این رو، آزمایشات با استفاده از شبیه‌ساز پایتون برای ارزیابی پروتکل پیشنهادی و مقایسه آن با روش تصادفی، انجام شده است به طوری که روش تصادفی، دارای مسیریابی AODV، است و بر اساس استاندارد IEEE 802/11p کار می‌کند. اکنون سناریوی اول، نشان‌دهنده تعداد سوئیچینگ کانال با افزایش تعداد گره‌ها است. سناریوی دوم، نشان دهنده سربار کنترلی، با توجه به افزایش تعداد گره‌ها می‌باشد، سناریوی سوم، نشان دهنده، سربار کنترلی با توجه به تغییر در سرعت و افزایش تعداد گره‌ها است که در آن، تغییر سرعت در بازه حداکثری (۳۰-۹۰ m/s)، در نمودارهای متفاوت نشان داده می‌شود و در نهایت سناریوی سوم نشان دهنده نرخ PDR، پروتکل پیشنهادی نسبت به روش تصادفی می‌باشد که PDR بصورت حجم داده تحویل داده شده در مقصد به کل داده ارسالی مبدأ تعریف می‌گردد. همچنین پارامترهای ارزیابی این پیاده‌سازی، شامل سوئیچینگ کانال و سربار کنترلی است. که سوئیچینگ کانال، به عنوان تعداد تعویض‌های یک کانال در روند مسیریابی شناخته می‌شود و سربار کنترلی، به عنوان تعداد بسته‌های کنترلی مبادله شده به ازای حجم بسته داده تعریف می‌شود، که حجم بسته کنترلی ۵۰ بایت و حجم بسته داده ۵۱۲ کیلوبایت است. اکنون در جدول (۲)، خلاصه‌ای از پارامترهای شبیه‌سازی، ارائه گردیده است.

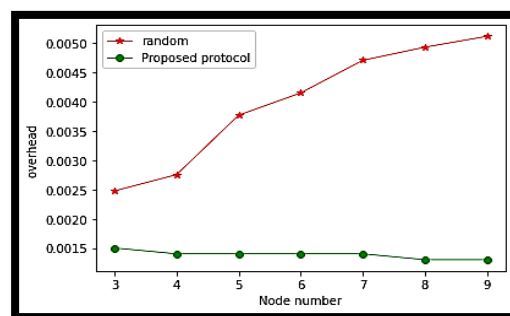
دارد که سربار کنترلی تا حدی افزایش پیدا کند. اما همان‌طور که بیان شد، از آنجایی که پروتکل پیشنهادی، تعداد سوئیچینگ کانال را بهبود می‌دهد، در نتیجه این بهبودی باعث غلبه بر افزایش سربار ناشی از تعداد بسته‌های RREP و به‌روزرسانی نادرست اطلاعات همسایه می‌شود و سربار کنترلی را نسبت به روش تصادفی، کاهش می‌دهد. اکنون در نمودارهای (۱۰-۱۳) نیز همین فرآیند با سرعت‌های متفاوت مشاهده می‌گردد که می‌توان دریافت در این نمودارها نیز، به علت دلیل بیان شده، تغییر سرعت، تأثیری در افزایش سربار کنترلی پروتکل پیشنهادی ندارد و در همه سطوح، شاهد کاهش آن هستیم.



شکل (۱۰): مقایسه سربار کنترلی بر اساس حداکثر سرعت ۴۰

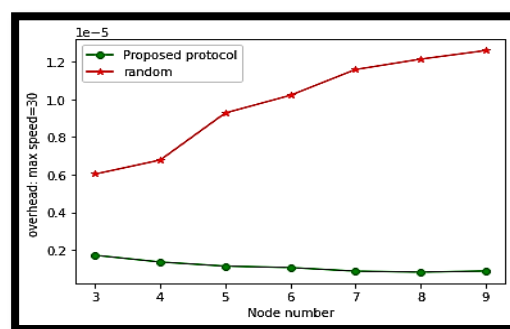


شکل (۱۱): مقایسه سربار کنترلی بر اساس حداکثر سرعت ۵۰



شکل (۸): مقایسه سربار کنترلی با افزایش تعداد گره

شکل (۸)، نشان‌دهنده سربار کنترلی پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی بر اساس افزایش تعداد گره‌ها می‌باشد که سربار کنترلی به‌عنوان تعداد بسته‌های کنترلی مبادله شده، به‌ازای حجم بسته داده تعریف می‌شود. طبیعتاً افزایش تعداد گره‌ها باعث افزایش بسته‌های RREP می‌شود و این احتمال وجود دارد که سربار کنترلی تا حدی افزایش پیدا کند. اما از آنجایی که در نمودار قبل، ما شاهد کاهش سوئیچینگ کانال در پروتکل پیشنهادی بودیم، می‌توان گفت این عمل، باعث کاهش سربار کنترلی نسبت به روش تصادفی، شده است. زیرا بهبود ناشی از کاهش تعداد سوئیچینگ، بر افزایش سربار ناشی از تعداد بسته‌های RREP غلبه می‌کند. اما در روش تصادفی به دلیل عدم کاهش تعداد سوئیچینگ کانال، سربار کنترلی افزایش یافته است و این تفاوت بزرگی را در عملکرد روش تصادفی از



پروتکل پیشنهادی ایجاد می‌کند.

شکل (۹): مقایسه سربار کنترلی بر اساس حداکثر سرعت ۳۰

شکل (۹)، نشان‌دهنده سربار کنترلی، پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی بر اساس حداکثر سرعت ۳۰ و افزایش تعداد گره‌ها می‌باشد. طبیعتاً افزایش تعداد گره‌ها و تغییر در سرعت، باعث افزایش بسته‌های RREP، و به‌روزرسانی نادرست اطلاعات همسایه می‌شود که در نتیجه بسته‌های کنترلی بیشتری مبادله خواهند شد و این احتمال وجود

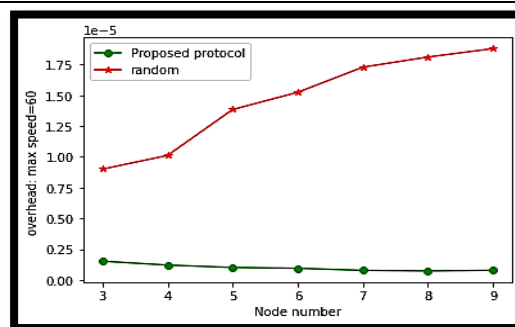
روش تصادفی افزایش تعداد گره‌ها منجر به افزایش سربار کنترلی می‌شود. در نتیجه، بهبود اتصال‌پذیری شبکه ناشی از افزایش تعداد گره‌ها نمی‌تواند تأثیر چندانی در بهبود نرخ تحویل داشته باشد.

۶. نتیجه گیری

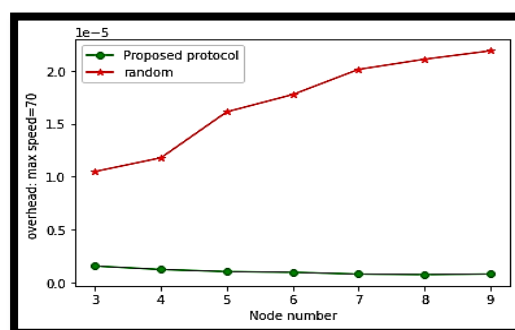
در این مقاله، برای کاهش تعداد سوئیچینگ کانال و جلوگیری از ایجاد تداخل کاربران، یک پروتکل مسیریابی واکنشی مطرح شد که در این پروتکل، بسته‌ها با استفاده از مسیرهای پایدار (LET) به مقصد ارسال می‌شوند و از آنجایی که، سیستم پروتکل پیشنهادی، چندکاناله در نظر گرفته شده، سعی کردیم، تعداد سوئیچینگ کانال را نیز، کاهش دهیم. از این‌رو، نتایج شبیه‌سازی از مقایسه پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی نشان می‌دهد، در پروتکل پیشنهادی، کاهش تعداد سوئیچینگ کانال حتی با افزایش تعداد گره‌ها امکان‌پذیر است و همچنین در آن، این اطمینان وجود دارد که با کاهش تعداد سوئیچینگ کانال، سربار کنترلی در صورت افزایش تعداد گره‌ها و تغییر در سرعت، کاهش می‌یابد، زیرا بهبود ناشی از کاهش تعداد سوئیچینگ، بر افزایش سربار ناشی از تعداد بسته‌های RREP و به‌روزرسانی نادرست اطلاعات همسایه غلبه می‌کند. همچنین این بهبود در سربار کنترلی، منجر به افزایش تحویل بسته‌ها به مقصد می‌شود. در نتیجه، نرخ تحویل به میزان قابل‌قبولی در پروتکل پیشنهادی افزایش یافته است و این در حالی است که روش تصادفی، به دلیل عدم کاهش تعداد سوئیچینگ کانال دارای افزایش سربار کنترلی در تعداد گره و سرعت‌های متفاوت می‌باشد و به دلیل این افزایش سربار کنترلی، نمی‌تواند تأثیر زیادی در بهبود نرخ تحویل داشته باشد. نتایج شبیه‌سازی اثربخشی پروتکل پیشنهادی، را نسبت به روش تصادفی تأیید کرده است.

۷. مراجع

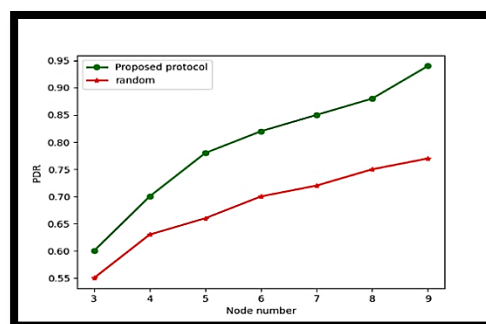
- [1] C. Tripp-Barba . et al, Survey on routing protocols for vehicular ad hoc networks based on multimetrics. Electronics, 2019. 8(10): p. 1177.
- [2] M. Abtahi, "Radio Cognitive Networks," The Second National Conference on Computer, Information



شکل (۱۲): مقایسه سربار کنترلی بر اساس حداکثر سرعت ۶۰



شکل (۱۳): مقایسه سربار کنترلی بر اساس حداکثر سرعت ۷۰



شکل (۱۴): نرخ تحویل داده بر اساس تغییر تعداد گره‌های شبکه

در شکل (۱۴)، همان‌طور که نشان داده شده است، با افزایش تعداد گره‌ها در روش پیشنهادی و نیز روش تصادفی نرخ تحویل (PDR) افزایش می‌یابد؛ اما این نرخ تحویل در روش ما که از مسیرهای پایدار استفاده می‌کند با نرخ بهتری بهبود می‌یابد. در روش پیشنهادی با انتخاب مسیر پایدار، تعداد سوئیچینگ‌ها کاهش می‌یابد و به دنبال آن افزایش سربار کنترلی بهبود می‌یابد و از طوفان سربار پیشگیری می‌شود. این بهبود در سربار کنترلی منجر به افزایش تحویل بسته‌ها به مقصد می‌شود. در نتیجه، نرخ تحویل به میزان قابل‌قبولی افزایش می‌یابد. این در حالی است که در

networks," Materials Today: Proceedings, 2021.

[12] S. Akter and N. Mansoor, "A spectrum aware mobility pattern based routing protocol for CR-VANETs," (WCNC), 2020, IEEE.

[13] K.N. Tayade, Enhancement of Link Stability and Connectivity in Vehicular Ad hoc Networks. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 2021. 12(1S): p. 266.

[14] L.Ding,et al, Rosa: distributed joint routing and dynamic spectrum allocation in cognitive radio ad hoc networks. in Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems. 2009.

[15] Y .Teekaraman, H. Manoharan, A.R, Basha, & A. Manoharan, Hybrid optimization algorithms for resource allocation in heterogeneous cognitive radio networks. Neural Processing Letters, 2023. 55(4), 3813-3826.

[16] S. S. A. Rahim, and S. S. M. Charandabi, "Improving the use of frequency spectrum with the introduction of radio cognitive networks," Second International Conference on Science and Engineering, Turkey, Istanbul, 2015 (In Persian).

[17] [S. Pashmforoush, A. A. Emrani Zarandi, A New Analytical Model for Enhancing the Performance of Cognitive Radio User's Transmissions in the Internet of Things, Journal of Electronical & Cyber Defence Vol.9,No.3,2021 In Persian](#) (<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1400.9.3.6.7>)

[18] [Hamidreza Khodadadi and Mohammad Ali Ataei. 2020. Spectrum Sensing Using Multi-Stage Adaptive Algorithm with an Optimal Non-Cooperative Method in Cognitive Radio. Along with Hardware Implementation. Electronic and Cyber Defense, 3, 39-51.\)In Persian](#)(<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1399.8.3.4.8>)

Technology and Islamic Communication of Iran, Qom, 2016.)In Persian(

[3] M. A. Hossain, R. Md Noor ,S. R. Azzuhri ,M. R. Z'aba ,I. Ahmedy, K. L. A. Yau, and C. Chembe, "Spectrum sensing challenges & their solutions in cognitive radio based vehicular networks," International Journal of Communication System, 2021

[4] A. Jee, S. Hoque, and W. Arif, "Performance analysis of secondary users under heterogeneous licensed spectrum environment in cognitive radio ad hoc networks," Annals of Telecommunications, 2020, p. 1-13

[5] A. S. Cacciapuoti, M. Caleffi, and L. Paura, "Reactive routing for mobile cognitive radio ad hoc networks," Ad Hoc Networks, 2011. 10(5): p. 803-815.

[6] A. Shakeel, R. Hussain, A. Iqbal, I. Latif Khanet, Q. U. Hasan, and S. Ali Malik, "Spectrum Handoff based on Imperf Channel State Prediction Probabilities with Collision Reduction in Cognitive Radio Ad Hoc Networks," Sensor 2019, 19,21.

[7] S. Omar, O. El Ghandour, and Ahmed M. A, El-Haleem "Multipath Activity Based Routing Protocol for Mobile Cognitive Radio Ad Hoc Networks," Wireless Communications and Mobile Computing, 2017.

[8] O. Abedi, and R. Berangi, "Mobility assisted spectrum aware routing protocol for cognitive radio ad hoc networks," J. Zhejiang Univ - Sci. C, 2013. 14(11): p.873-886

[9] S. Yogarayan, S .F .A .Razak, A. Azman, M.F.A . Abdullah, S. Z .Ibrahim, and K .J. Raman, "A Review of Routing Protocols for Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)," (ICoICT), 2020, IEEE.

[10] T. K. Bhatia, RK. Ramachandran, R. Doss, and L. Pan, "A comprehensive review on the vehicular ad-hoc networks," (ICRITO),2020, IEEE.

[11] Y. S. DEVI, M. ROOPA, "Performance analysis of routing protocols IN vehicular adhoc