نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۲): صص ۱۹-۱۱

علمی-پژوهشی

بهبود سربار کنترلی مسیریابی در شبکه‌های سیار موردی رادیوشناختی با تخمین تحرک کاربران ثانویه

ساناز امیربیگی[۱]، امید عابدی[۲*]، مهدیه قزوینی کر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

در شبکه‌های رادیوشناختی، بازگشت ناگهانی کاربران اولیه به طیف باعث ایجاد تداخل و افزایش تعداد سوئیچینگ کانال می‌شود. در این حالت، دانش در اطلاع از تحرک طیف امری بسیار مهم است که توسط روش‌های تحلیلی مانند فرآیند مارکوف و... پیش‌بینی می‌گردد؛ همچنین ازآنجاکه شبکه‌های رادیوشناختی در بسترهای مختلفی همچون شبکه‌های سیار موردی استفاده می‌شوند، تحرک کاربران نیز می‌تواند به ناپایداری ذاتی شبکه‌های رادیوشناختی بیفزاید و چالش‌هایی همچون مسیریابی پدیدار شود؛ لذا در این مقاله، ما با استفاده از روشی مبتنی بر طرح انتخاب گره‌های واسط و کشف مسیر مناسب جهت ارسال بسته به مقصد به رفع این چالش می‌پردازیم. به‌طور خاص ما یک پروتکل مسیریابی واکنشی را برای سناریوی در نظر گرفته شده طراحی می‌کنیم که از مهم‌ترین مزایای آن می‌توان به: ۱) جلوگیری از ایجاد تداخل کاربران در هنگام تشکیل مسیر و انتقال داده‌ها، ۲) کاهش تعداد سوئیچینگ کانال، ۳) عدم استفاده از کانال کنترلی مشترک، و ۴) کاهش تأخیر و سربار کنترلی اشاره کرد. پروتکل پیشنهادی برای شبکه‌های دارای گره‌های متحرک طراحی شده است و با انتخاب مسیری کوتاه‌تر به‌عنوان روشی قابل‌اعتماد و مقرون‌به‌صرفه شناخته می‌شود. شبیه‌سازی‌های عددی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی دارای نرخ برخورد ۷۳ درصدی است و نسبت به روش تصادفی، از عملکرد پایین‌تری برخوردار است؛ اما در این پروتکل، سربار کنترلی در دو حالت افزایش تعداد گره و سرعت بیش از ۹۰ درصد کاهش یافته است و این برای ما در شبکه‌ای که دستیابی به‌صورت فرصت‌طلبانه است، کاهش سربار کنترلی مهم‌تر است.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های رادیوشناختی، شبکه‌های سیار موردی، تداخل، کاهش سوئیچینگ کانال، تحرک طیف.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران - نویسنده مسئول (oabedi@uk.ac.ir)
۳- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۱- مقدمه

شبکه‌های رادیوشناختی[1] شامل مجموعه‌ای از کاربران اولیه (اصلی)[2] و کاربران ثانویه[3] هستند و به‌طور مشترک از پهنای باند فرکانسی استفاده می‌کنند. در این شبکه‌ها، کاربران اولیه به کاربرانی اطلاق می‌شود که از طریق سازمان‌های تخصیص فرکانس بخشی از طیف به آن‌ها اختصاص داده می‌شود و می‌توانند در هر زمان به طیف مجاز خود (LSP[4]) دسترسی پیدا کنند. ازآنجایی‌که 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 به‌صورت فرصت‌طلبانه و بدون ایجاد تداخل در فعالیت کاربران اولیه از طیف استفاده کنند [۳-۱]؛ اما زمانی که کاربران اولیه به‌طور مداوم و ناگهانی وارد طیف مجاز خود (LSP) می‌شوند، شرایطی را برای کاربران ثانویه به وجود می‌آوردند که باعث کاهش عملکرد و قطع ارتباط آن‌ها در یک محیط پویا می‌شوند. در این حالت، دانش در اطلاع از تحرک طیف امری بسیار مهم می‌باشد زیرا تحرک طیف یکی از ویژگی‌های کلیدی شبکه رادیوشناختی است و امکان مداوم انتقال داده، کاربران ثانویه را فراهم می‌کند و توسط روش‌های تحلیلی مانند مارکوف و نظریه بازی‌ها پیش‌بینی می‌شود [۴]. از سوی دیگر شبکه‌های رادیوشناختی با دو چالش اساسی جلوگیری از ایجاد تداخل و به حداقل رساندن تعداد سوئیچینگ کانال مواجه هستند و ازآنجاکه در بسترهای مختلفی همچون شبکه‌های سیار موردی[5] استفاده می‌شوند، تحرک کاربران در این شبکه‌ها می‌تواند به ناپایداری ذاتی شبکه رادیوشناختی بیفزاید و با چالش‌هایی همچون مسیریابی نیز مواجه می‌شویم که در این مقاله با ارائه یک پروتکل مسیریابی واکنشی[6] به رفع این چالش پرداخته می‌شود. ازاین‌رو پروتکل پیشنهادی از لحاظ مسیریابی برخی از ویژگی‌های پروتکل CAODV[7] که توسط آنجلا و همکارانش [۵] ارائه شده است را برخوردار می‌باشد به‌طوری‌که همانند CAODV دارای قابلیت‌های رادیوشناختی (جهت، سرعت، موقعیت، کانال) است و همچنین بسته‌های کنترلی فقط از طریق طیف مجاز مبادله می‌شوند و کانال کنترلی مشترکی[8] برای مبادله پیام‌های کنترلی وجود ندارد. اکنون تفاوت‌هایی که پروتکل پیشنهادی را از پروتکل CAODV، متمایز می‌کند به شرح ذیل است: ۱- پروتکل پیشنهادی، علاوه بر قابلیت‌های رادیوشناختی از مدل‌های حرکتی و تقاطع نیز استفاده می‌کند.

۲- پروتکل CAODV، بسته‌های کنترلی مبتنی بر AODV را بدون هیچ محدودیتی به همه همسایگان می‌فرستد اما پروتکل پیشنهادی، از حمل‌ونقل جغرافیایی و پارامترهای حرکتی شامل (موقعیت نسبت به تقاطع، جهت، سرعت) برای انتخاب گره Next hop استفاده می‌کند.

۳- در پروتکل پیشنهادی، گره در فرآیند کشف مسیر، با استفاده از معیارهای تحرک (جهت، سرعت، موقعیت، وزن)، به شناسایی یک مسیر کوتاه‌تر می‌پردازد.

۴- در فرآیند نگهداری مسیر، پروتکل CAODV از بسته PU-RERR 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 به‌جای تعویض یک کانال، از گره Next hop متفاوتی با توجه به اولویت‌ها استفاده می‌شود به‌طوری‌که اولویت انتخاب گره Next hop، بر اساس پارامترهای حرکتی شامل (موقعیت نسبت به تقاطع، جهت، سرعت) تعیین می‌گردد. در ادامه مقاله، به بررسی جامعی از اولویت‌های ذکرشده پرداخته خواهد شد.

ازاین‌رو، ادامه مقاله به این شرح تنظیم شده است: در بخش ۲، مروری بر کارهای مرتبط در این زمینه را ارائه می‌دهیم. مدل شبکه مورداستفاده در پروتکل پیشنهادی، در بخش ۳ بیان شده است. در بخش ۴ به الزامات اصلی پروتکل پیشنهادی که شامل کشف و نگهداری مسیر می‌باشد می‌پردازیم. در بخش ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی را بیان می‌کنیم و سرانجام در بخش ۶ با بحث و نتیجه‌گیری درباره پروتکل پیشنهادی، مقاله خاتمه می‌یابد.

۲- پیشینهٔ پژوهش

پژوهش‌های زیادی به بررسی پروتکل‌های مسیریابی و استراتژی‌های به کار رفته در آن پرداخته‌اند که در این بخش به مهم‌ترین این آثار پرداخته می‌شود.

در مرجع [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

[1] Cognitive Radio Networks
[2] Primary Users
[3] Secondary Users
[4] Licensed Spectrum Pool
[5] Mobile Ad Hoc Networks
[6] Reactive Routing Protocol
[7] Cognitive Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (Caodv)
[8] Common Control Channel (Ccc)

شده است تمام کاربران ثانویه می‌توانند به این کانال دسترسی پیدا کنند. به‌طور مشابه در مقالات [۷ و ۸] نیز از کانال کنترلی مشترک، برای تبادل اطلاعات کنترلی استفاده شده است؛ اما به‌طور 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].

آنجلا 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 رادیوشناختی 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 رادیوشناختی استفاده گردیده است و همچنین فرض شده است که گره مبدأ از مکان گره مقصد باخبر است و هر کاربر رادیوشناختی با استفاده از GPS مکان خود را شناسایی می‌کند.

یوگارایان و همکارانش [۹]، در ابتدا Vanet، نحوه ارتباطات اساسی، پروتکل‌های مسیریابی موجود و سرانجام طیف گسترده‌ای از چالش‌ها را موردبحث و بررسی قرار داده‌اند که یکی از پروتکل‌های مرتبط با پروتکل پیشنهادی، به شرح ذیل است:

۱- پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی[1]: این پروتکل‌ها اطلاعات را از مبدأ به مقصد در یک جدول مسیریابی ذخیره می‌کنند؛ و شامل سه پروتکل مسیریابی به شرح: ۱) پروتکل مسیریابی فعال[2]، ۲) پروتکل مسیریابی واکنشی، و ۳) پروتکل مسیریابی ترکیبی[3] هستند.

به‌طور مشابه در مرجع [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 مرجع [۱۰]، نیز به بررسی متداول‌ترین پروتکل‌های مسیریابی و الزامات اساسی که باید در هنگام مسیریابی اندازه‌گیری شوند پرداخته شده است [۱۱]. ازاین‌رو با توجه به تعاریف پروتکل‌های مسیریابی طبق مقالات بیان‌شده، پروتکل پیشنهادی، در دسته پروتکل‌های مسیریابی واکنشی جای می گیرد 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 چندهاپ استفاده شده است و تحرک مستقل وسایل نقلیه و در دسترس بودن تصادفی کانال‌ها را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین این پروتکل به‌عنوان یک مسئله نمودار وزنی مشخص می‌شود و در آن وزن برای یک لبه بر اساس پارامتر NHDF اندازه‌گیری می‌شود که NHDF به‌طور ضمنی الگوی تحرک گره‌ها و در دسترس بودن کانال را برای انتخاب مسیر بهینه در نظر می‌گیرد. ازاین‌رو، الگوی تحرک گره‌ها از نظر فاصله، جهت، سرعت و قابلیت اطمینان تعریف شده است که به‌طور مشابه، پروتکل پیشنهادی نیز از در دسترس بودن تصادفی کانال‌ها برای انتخاب مسیر بهینه استفاده می‌کند؛ اما به‌طور متفاوتی در پروتکل پیشنهادی، علاوه بر پارامترهای حرکتی، از تقاطع و حمل‌ونقل جغرافیایی نیز استفاده شده است و همچنین تغییرات در طیف، ناشی از ورود و خروج کاربران اصلی با توجه به زنجیره مارکوف دوحالته[4] پیش‌بینی می‌شود.

۳- مدل شبکه

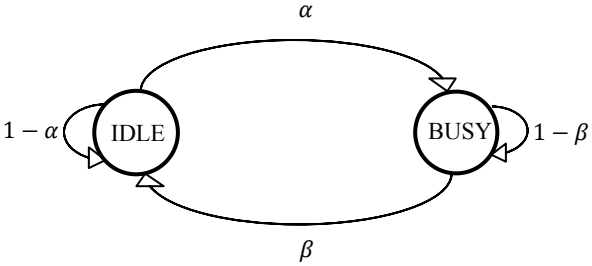
در این مقاله فرض بر این است، شبکه از کاربران ثانویه تشکیل شده است و این کاربران فقط می‌توانند از قسمت‌های طیف مجاز با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و کانال کنترلی مشترکی برای مبادله پیام‌های کنترلی وجود ندارد. همچنین انتقال فعلی کاربران اولیه در حال حاضر روی طیف به کمک رویه حس طیف[5] قابل‌تشخیص است ولی فعالیت کاربر اولیه که چه زمانی وارد می‌شود یا چه زمانی خارج می‌شود قابل پیش‌بینی نیست. پس برای جلوگیری از تداخل و کاهش تعداد سوئیچینگ کانال باید فعالیت کاربران اولیه پیش‌بینی شود. در این تحقیق فعالیت کاربران اولیه، طی یک زنجیره مارکوف دوحالته مدل‌سازی شده است به‌طوری‌که یک کاربر اولیه اگر یکی از کانال‌های مجاز را انتخاب کند با احتمال P_{BUSY} آن را مشغول و با احتمال P_{IDLE} آن را آزاد می‌کند. مدل تحرک این روش، از مدل SRM[6] الهام گرفته شده است که در این مدل سرعت و جهت به‌عنوان دو پارامتر اساسی شناخته می‌شوند و تغییری در آن‌ها منجر به الگوی تحرک جدید می‌گردد. ازاین‌رو در این روش، موقعیت X همه گره ها ثابت و موقعیت Y آن‌ها به‌صورت رندم بین (Ydestination، Y source) قرار می‌گیرد و سرعت گره‌ها نیز به‌صورت رندم بین (Vdestination، Vsource) است و جهت آن‌ها، در راستای جهت گره مبدأ و مقصد می‌باشد. در نهایت در پروتکل پیشنهادی، گره با استفاده از معیارهای تحرک (جهت، سرعت، موقعیت)

[1] Topology-Based Routing Protocol
[2] Proactive Routing Protocol
[3] Hybrid Routing Protocol
[4] Two-state Markov chain
[5] Spectrum sensing
[6] Smooth Random Mobility model (SRM)

مسیرهای کوتاه‌تری را شناسایی می‌کند. در ادامه به بررسی موارد ذکرشده پرداخته خواهد شد.

۳-۱- فعالیت کاربران اولیه

در پروتکل پیشنهادی، کاربران اولیه طبق شکل (۱)، طی یک فرآیند مارکوف دوحالته کار می‌کنند که فرض می‌شود دوره‌های مشغول (BUSY) و دوره‌های آزاد (IDLE)، به ترتیب دارای توزیع نمایی با میانگین زمان P_{BUSY}، P_{IDLE} هستند. به‌طوری‌که اگر کانال در حال حاضر در حالت BUSY قرار گیرد احتمال اینکه حالت بعدی نیز، کانال BUSY باشد، (β-1) است درحالی‌که احتمال تغییر حالت کانال به حالت IDLE به‌عنوان (β)، معرفی می‌شود. حال اگر وضعیت فعلی کانال، IDLE باشد احتمال اینکه کانال دوباره IDLE شود (α-1) است اما احتمال اینکه در حالت بعد توسط کاربر اولیه، کانال BUSY شود برابر با (α) است.



شکل (۱): مدل فرآیند مارکوف دوحالته [۷]

ما همچنین فرض می‌کنیم که کاربران اولیه به دلیل رفتار BUSY/IDLE تأثیرات یکسانی بر روی کانال‌های متفاوت دارند و کاربران ثانویه نیز با توجه به در دسترس بودن کانال، ناهمگن هستند. اکنون در این روش، اگر کاربران اولیه یکی از کانال‌های دارای مجوز را انتخاب کنند با احتمال P_{BUSY} آن را مشغول و پس از ترک کانال با احتمال P_{IDLE} آن را آزاد می‌کنند. ازاین‌رو نرخ ورود و خروج کاربران اولیه به ترتیب با نرخ α و β به‌صورت نمایی توزیع می‌شود [۷]:

$P_{IDLE}= \beta/(\alpha+\beta)$, $P_{BUSY}=\alpha/(\alpha+\beta)$.

۳-۲- مدل تحرک گره‌ها

یک مدل تحرک، الگوی حرکتی گره‌ها را در طول زمان توصیف می‌کند که شامل سه پارامتر اصلی تحرک گره‌ها (سرعت، جهت، موقعیت) می‌باشد. مدل‌های مختلفی برای توصیف تحرک از جمله RWP[1] وجود دارد که جزو مشهورترین مدل‌های تحرک تصادفی شناخته می‌شود اما به دلیل تغییرات در پارامترهای تحرک، برای محیط‌های واقع‌بینانه غیرقابل استفاده است؛ بنابراین در این پروتکل، از مدل SRM استفاده می‌شود که در آن سرعت و جهت به‌عنوان دو پارامتر اساسی شناخته می‌شوند و تغییری در آن‌ها منجر به الگوی تحرک جدید می‌شود. مدل SRM زمان کل را به‌عنوان Δt ر دوره‌های زمانی تقسیم می‌کند و در هر Δt تغییر سرعت به شرح رابطه ذیل است:

$$V(t) = V(t-\Delta t) + \alpha(t)\Delta t \qquad (۱)$$

$\alpha(t)$ به‌عنوان شتاب مطرح است و اختلاف جهت با رابطه (۲) بیان می‌گردد:

$$\varphi(t) = \varphi(t-\Delta t) + \Delta\varphi(t) \qquad (۲)$$

طبق رابطه (۲)، $\Delta\varphi(t)$ حداکثر تغییر جهت در هر دوره می‌باشد و بر اساس SRM یک گره با سرعت ثابت v در حال حرکت است تا اینکه یک رویداد تغییر سرعت با احتمال pv رخ دهد که زمان تغییر بین دو سرعت از یک توزیع نمایی با $(\lambda v = pv/\Delta t)$ انتخاب می‌شود و میانگین آن برابر با $(uv = \Delta t/pv)$ است که هرچه pv بالاتر باشد نشان‌دهنده تغییرات بیشتر در سرعت است و در نهایت زمان تغییر جهت با $(\lambda\varphi = p\varphi/\Delta t)$ و میانگین آن با $(u\varphi = \Delta t/p\varphi)$ نشان داده می‌شود [۱۳].

۴- الزامات اصلی پروتکل پیشنهادی

اکنون پروتکل پیشنهادی، در دو بخش فرآیند کشف و نگهداری مسیر موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که در فرآیند کشف مسیر، با استفاده از پارامترهای حرکتی (موقعیت، جهت، سرعت، وزن) به کشف مسیری کوتاه‌تر برای ارسال بسته به مقصد پرداخته می‌شود و در فرآیند نگهداری مسیر، که مسیر برقرارشده بین مبدأ و مقصد تا زمانی که موردنیاز 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 هاپ متفاوتی با توجه به اولویت‌هایی که بر اساس پارامترهای حرکتی در قسمت فرآیند کشف مسیر تعیین می‌شود استفاده می‌کند.

۴-۱- فرآیند کشف مسیر

همان‌طور که بیان شد در پروتکل پیشنهادی، توپولوژی شبکه به‌طور مداوم در حال تغییر است. به‌طوری‌که در فرآیند کشف مسیر، فرض شده است در بین گره مبدأ و مقصد یک تقاطع موجود است که گره مبدأ قبل از تقاطع و گره مقصد بعد از تقاطع قرار دارد و در این فرض گره مبدأ حتماً از تقاطع عبور می‌کند. حال اگر گره مبدأ (فرض شروع) بسته‌ای برای ارسال به گره

[1] Random way point

مقصد داشته باشد اما راهی به مقصد نداشته باشد در ابتدا یک بسته تقاضای مسیر RREQ، را به تمام همسایگان (همسایگان از طریق جدول همسایگی که گره می‌سازد انتخاب می‌شوند) پخش[1] می‌کند. فرمت بسته RREQ در شکل (۲) آمده است.

SID	DID	SDir	SSP	SL	IW	Type

شکل (۲): فرمت بسته RREQ

در شکل (۲)، متغیر SID وDID به ترتیب شامل آی‌دی مبدأ و مقصد هستند و متغیر SDir،SSP،SL نشان‌دهنده جهت، سرعت و موقعیت گره فرستنده می‌باشند. همچنین IW نیز نشان‌دهنده وزن تقاطع است. 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
0	RREQ
1	RREP (inactive parameter IW)
2	ACK (inactive parameter IW)
3	ACMP (inactive parameters SDir, SSP, SL, IW)
4	PU-RERR (inactive parameter SDir, SSP, SL, IW) Add (Name channel, Id channel, Address channel)

ازاین‌رو، پس از ارسال بسته RREQ به تمام گره‌های همسایه، گره مبدأ بر اساس یک زمان Waiting time منتظر می‌ماند تا همه گره‌های همسایه، بسته RREP جدول (۱) را ارسال کنند. اگر گره مبدأ پس از اتمام این مدت زمان، 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 طبق رابطه (۵)، بررسی خواهد کرد که وزن گره‌های ارسالی مثبت باشند. به‌طوری‌که اگر یک گره با وزن مثبت شناسایی شود، گره با ارسال بسته ACK جدول (۱) به‌عنوان گره Next hop انتخاب می‌گردد که این بسته نشان‌دهنده قرار گرفتن گره در وضعیت ROUTE IN است و همین فرایند تا رسیدن بسته به مقصد ادامه می‌یابد که به محض رسیدن بسته به مقصد پیغام ROUTE REPLY ارسال می‌گردد.

$$D_Intersection\ to\ des = \sqrt{(|xi - xj|)2 + (|yi - yj|)2} \quad (۳)$$

$$D_node\ to\ des = \sqrt{(|xi - xj|)2 + (|yi - yj|)2} \quad (۴)$$

$$Intersection\ weight = (D_Intersection\ to\ des - D_node\ to\ des)/TR \quad (۵)$$

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 به دست آوردن فاصله، از رابطه، $\sqrt{(|xi - xj|)2 + (|yi - yj|)2}$ استفاده می‌گردد. در این رابطه، (xi،yi) موقعیت گره فعلی و (xj،yj) موقعیت گره مقصد می‌باشد. همچنین متغیر Intersection weight نیز بیان‌کننده وزن تقاطع است که در این رابطه، TR به‌عنوان محدوده انتقال در نظر گرفته شده است. حال با توجه به رابطه (۵)، 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 بیان‌شده را نشان می‌دهد.

شکل (۳): توپولوژی روش پیشنهادی

اکنون نکته‌ای که مطرح می‌باشد بر این اساس است که اگر گره مبدأ، پس از دریافت بسته‌های RREP، چندین گره با وزن مثبت را شناسایی کند ابتدا طبق روابط (۹ و ۸) بررسی می‌کند که کدام گره میانی دارای کمترین اختلاف جهت و سرعت می‌باشد سپس همان گره را با ارسال بسته ACK به‌عنوان گره Next hop انتخاب می‌کند و بقیه گره‌ها را با توجه به اولویت، به‌عنوان گره‌های کاندید Next hop، در نظر خواهد گرفت.

[1] Broadcast

$$\text{Average direction} = \frac{(\text{Direction Source node} + \text{Direction destination node})}{2} \quad (۶)$$

$$\text{Average Speed} = \frac{(\text{Speed Source node} + \text{Speed destination node})}{2} \quad (۷)$$

$$\text{Result direction} = |\text{Direction node} - \text{Average direction}| \quad (۸)$$

$$\text{Result speed} = |\text{Speed node} - \text{Average Speed}| \quad (۹)$$

در روابط بالا، متغیر Average direction و Average Speed، به ترتیب شامل میانگین جهت و سرعت هستند که میانگین جهت با توجه به جهت گره مبدأ و مقصد، و میانگین سرعت نیز برحسب، سرعت گره مبدأ و مقصد تشکیل شده‌اند. همچنین متغیر Result direction و Result speed، نیز به ترتیب نشان‌دهنده، نتایج حاصل‌شده از جهت و سرعت می‌باشند و با توجه به روابط (۹ و ۸)، گره‌ای که کمترین اختلاف جهت و سرعت را دارا باشد کشف خواهد شد؛ اما اگر گره مبدأ، چندین بسته RREP را دریافت کند که گره‌ها علاوه بر داشتن وزن مثبت، مقداری یکسان از کمترین اختلاف جهت و سرعت را دارا باشند در این حالت بحث hidden terminal به وجود خواهد آمد و باعث ایجاد تداخل می‌گردد که برای جلوگیری از ایجاد تداخل و انتخاب یک مسیری کوتاه، روابط ذیل مورداستفاده قرار می‌گیرند:

$$\text{Sum mobility} = (\text{diri.j} + \text{spi.j} + \text{dist}) \quad (۱۰)$$

$$\text{diri.j} = \frac{|\varphi j - \varphi i|}{\pi} \quad (۱۱)$$

$$\text{spi.j} = \frac{|vj - vi|}{vmax - vmin} \quad (۱۲)$$

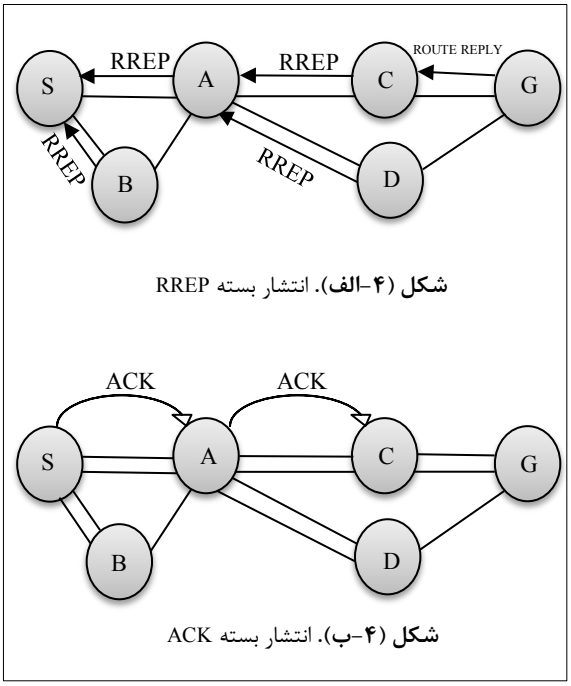
$$\text{dist} = dj/max_dist \quad (۱۳)$$

$$dj = \sqrt{(xdest - xj)2} + (ydest - yj)2$$

$$\text{Weight mobility} = 3/\text{Sum mobility} \quad (۱۴)$$

$$\text{Nexthop Weigh} = |\text{Intersection weight} - \text{Weight mobility}| \quad (۱۵)$$

در روابط فوق، dist، spi.j، diri.j به ترتیب نشان‌دهنده جهت، سرعت و موقعیت هستند و متغیرهای Vmin و Vmax به‌عنوان حداقل و حداکثر سرعت بیان شده‌اند. متغیر max_dist نیز به‌عنوان طول منطقه شبکه در نظر گرفته شده است. همچنین در رابطه (۱۴) مقدار سه نشان‌دهنده مجموع روابط (۱۱، ۱۲ و ۱۳) می‌باشد، زیرا ما قصد داریم متغیر Weight، حداکثر مقدار یک را داشته باشد به همین علت در رابطه (۱۴) صورت کسر را سه قرار داده‌ایم؛ و حال با توجه به رابطه (۱۵)، گره مبدأ بر اساس یک زمان Waiting time منتظر می‌ماند که همه گره‌ها پاسخ را ارسال کنند و سپس گره‌ای که کمترین مقدار Nexthop Weight را دارا باشد با ارسال بسته ACK به‌عنوان گره Next hop انتخاب می‌شود و بقیه گره‌ها به ترتیب به‌عنوان کاندید Next hop در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۴).



شکل (۴-الف). انتشار بسته RREP

شکل (۴-ب). انتشار بسته ACK

شکل (۴): فرآیند کشف مسیر

در نهایت بحثی که در بخش کشف مسیر اهمیت پیدا می‌کند، پیوند میان دو گره می‌باشد. به‌طوری‌که اگر در حین ارتباط، پیوند میان دو گره قطع شود گره، بسته ACMP جدول (۱) را به گره مبدأ ارسال خواهد کرد که نشان‌دهنده عدم عبور بسته داده از این گره است که در این حالت گره 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 درصورتی‌که هیچ گره کاندیدی وجود نداشت، مجدد فرآیند کشف مسیر آغاز می‌شود. ازاین‌رو در این قسمت از مقاله، کلیاتی از نحوه عملکرد گره فرستنده و گیرنده در قالب الگوریتم بیان شده است که ابتدا به توضیح آن‌ها می‌پردازیم:

اکنون در شبه کد گره فرستنده، گره مبدأ، فرض شروع قرار داده شده است که در ابتدا یک بسته تقاضای مسیر (RREQ)، را به‌تمامی همسایگان خود پخش می‌کند و سپس در یک مدت‌زمان تعیین‌شده، منتظر دریافت بسته‌های پاسخ (RREP)، می‌شود و پس از بررسی وزن مثبت گره‌ها، آن‌ها را در یک لیست پاسخ (RREP LIST)، قرار می‌دهد. حال اگر لیست پاسخ، خالی باشد باید از ابتدا فرآیند کشف مسیر انجام گردد، اما اگر این لیست دارای یک بسته پاسخ باشد، همان گره با ارسال بسته تأیید (ACK)، به‌عنوان گره هاپ بعدی انتخاب می‌گردد و در غیر این صورت، اگر چندین بسته پاسخ در آن وجود داشته باشد، گره‌ای که کمترین اختلاف جهت و سرعت را کسب کند به‌عنوان گره هاپ بعدی انتخاب می‌شود و درصورتی‌که گره‌ها مقداری یکسان از کمترین اختلاف جهت و سرعت را کسب کنند گره‌ای که کمترین مقدار Nexthop Weight، را دارا باشد به‌عنوان بهترین گره انتخاب می‌گردد. در نهایت در بخش شبه کد گره گیرنده، تنها عملیاتی که موردتوجه قرار می‌گیرد قرار دادن پارامترهای حرکتی (جهت، سرعت، موقعیت) در بسته پاسخ و فرستادن آن به سمت گره فرستنده است.

Algorithm1: sender node

1) Begin

2) Broadcast RREQ package

3) Listen for t/ms and put all the Receiverd RREP in the RREP LIST and check Weight is positive according Formula (5) And saves these nodes

4) If RREP LIST=Empty

Sender node as deadend node and Go to step(2)

5) If RREP LIST had only one element

Node is select as Next hop by send ACK package

6) If RREP LIST had multiple element

Check direction and speed according Formula (8,9) And select best node by send ACK package

7) If multiple node have same value according Formula (8,9), select best node according Formula (15) by send ACK package

8) End

Algorithm2: Receiver node

1) Begin

2) If receiver node, receiverd RREQ package Put parameters(SDir,SSP,SL) in RREP package And send to sender node

3) End

۴-۲- فرآیند نگهداری مسیر

پس از انجام فرآیند کشف مسیر، باید فرآیند نگهداری مسیر موردتوجه 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 اولویت انتخاب گره Next hop، بر اساس پارامترهای حرکتی شامل (موقعیت نسبت به تقاطع، جهت، سرعت) تعیین می‌گردد. ازاین‌رو، زمانی که گره درخواست‌کننده، بسته‌های RREP را دریافت می‌کند اگر چندین گره طبق رابطه (۵)، وزن مثبت کسب کنند آنگاه گره‌ای که کمترین اختلاف جهت و سرعت را طبق روابط (۹ و ۸)، دارد به‌عنوان گره Next hop انتخاب می‌شود و مابقی گره‌ها به ترتیب به‌عنوان کاندیدهای Next hop در اولویت قرار می‌گیرند و اگر این گره‌ها مقداری یکسان از کمترین اختلاف جهت و سرعت را کسب کنند طبق رابطه (۱۵)، گره Next hop انتخاب می‌شود و گره‌های بعدی به‌عنوان کاندیدهای Next hop معرفی می‌شوند که می‌توان به‌جای تعویض کانال، از آن‌ها به‌عنوان گره Next hop متفاوت، جهت ادامه فرآیند کار استفاده کرد.

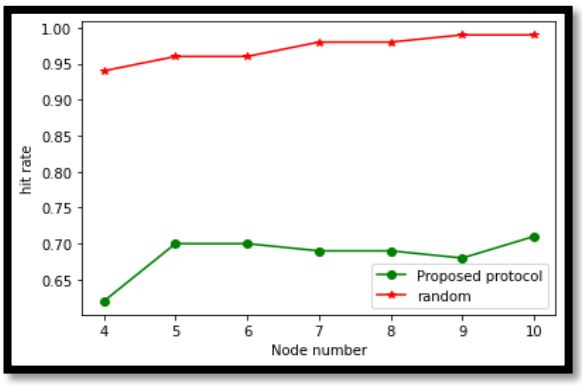
۵- ارزیابی و پیاده‌سازی

در سه سناریوی آزمایشی، هر گره مجهز به GPS می‌باشد و با استفاده از GPS از مکان خود باخبر است و محدوده انتقال در این سناریوها، ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است. ازاین‌رو، آزمایش‌ها با استفاده از شبیه‌ساز پایتون برای ارزیابی پروتکل پیشنهادی و مقایسه آن با روش تصادفی انجام شده است به‌طوری‌که روش تصادفی، دارای مسیریابی AODV، است و بر اساس استاندارد IEEE802/11 کار می‌کند. اکنون سناریوی اول، نشان‌دهنده احتمال، یافتن گره Next hop با افزایش تعداد گره‌ها است که در این حالت تعداد گره‌ها از ۳ تا ۱۰ متغیر، و سرعت ثابت در نظر گرفته شده است. سناریوی دوم، نشان‌دهنده سربار کنترلی،

سناریوی اول می‌باشد و در نهایت سناریوی سوم، نشان‌دهنده سربار کنترلی با توجه به افزایش سرعت است که در این حالت سرعت در بازه (۱۰,۳۰) در هر تکرار تا صد دور، ده پالس افزایش می‌یابد و تعداد گره‌ها ثابت هستند. همچنین پارامترهای ارزیابی این پیاده‌سازی شامل hit rate و overhead است که hit rate (نرخ برخورد) به‌منظور یافتن گره کاندید بر اساس افزایش تعداد گره‌ها است و overhead به‌عنوان تعداد بسته‌های کنترلی مبادله شده به ازای حجم بسته داده تعریف می‌شود. هدف از این سناریوها، نمایش عملکرد پروتکل پیشنهادی در مقابل روش تصادفی در شناسایی گره Next hop و سربار کنترلی می‌باشد. جدول (۲) خلاصه‌ای از محیط شبیه‌سازی را ارائه می‌دهد:

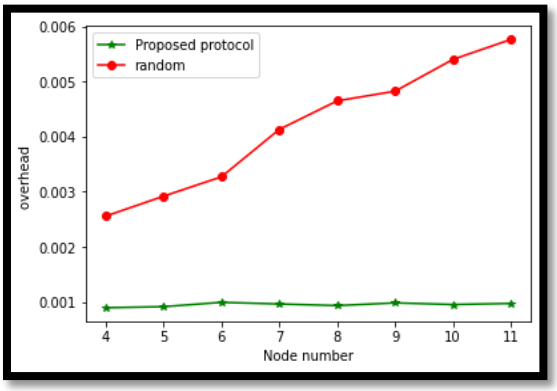
جدول (۲): پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترهای شبیه‌سازی	مقدار
محدوده انتقال	300m
تعداد گره‌ها	3-10
سرعت	(10,30)+10 m/s
زمان شبیه‌سازی	100s
زمان توقف	10s
پروتکل MAC	IEEE802.11
حجم بسته داده	512 KB
حجم بسته کنترلی	50 bytes



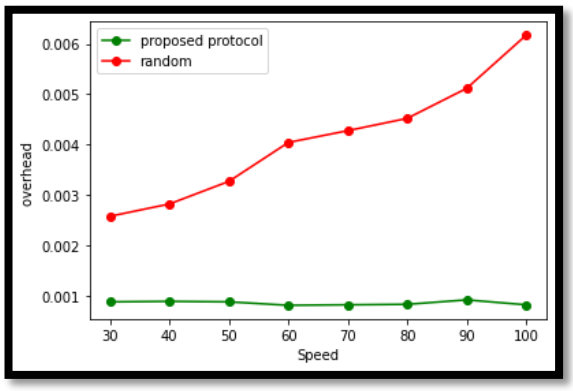
شکل (۶): نتیجه شبیه‌سازی بر اساس افزایش تعداد گره و نرخ برخورد

در شکل (۶)، محور افقی نشان‌دهنده تعداد گره‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده نرخ برخورد است. ازآنجایی‌که شبکه‌های رادیوشناختی، یک شبکه متراکم هستند پس احتمال یافتن گره Next hop در آن‌ها زیاد است. ازاین‌رو این نمودار، نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گره‌ها، احتمال نرخ برخورد در هر دو، پروتکل پیشنهادی و تصادفی افزایش می‌یابد؛ اما روش تصادفی، به دلیل اینکه از بین گره‌های همسایه، به‌صورت رندم و بدون در نظر گرفتن مکانیزم مناسب، گره‌ای را به‌عنوان گره Next hop انتخاب می‌کند احتمال نرخ برخورد آن، نزدیک به ۹۸ درصد می‌باشد اما سربار کنترلی در آن زیاد است و این در حالی است که در پروتکل پیشنهادی، به علت مکانیزم مناسب جهت انتخاب گره Next hop، احتمال نرخ برخورد آن، ۷۳ درصد شناسایی شده است اما سربار کنترلی آن بیش از ۹۰ درصد کمتر می‌باشد و این برای ما در شبکه‌ای که قرار است دستیابی به‌صورت فرصت‌طلبانه باشد و طیف به‌صورت پویا استفاده شود کاهش سربار کنترلی مهم‌تر است.



شکل (۷): نتیجه شبیه‌سازی سربار کنترلی بر اساس افزایش تعداد گره

شکل (۷)، نشان‌دهنده سربار کنترلی پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی بر اساس افزایش تعداد گره‌ها می‌باشد. به‌طوری‌که سربار کنترلی به‌عنوان تعداد بسته‌های کنترلی ارسال‌شده به ازای حجم بسته داده تعریف می‌شود. همان‌طور که مشخص است پروتکل پیشنهادی، به علت استفاده از مکانیزم مناسب جهت انتخاب گره Next hop، دارای نرخ برخورد ۷۳ درصد می‌باشد به همین علت مشکل سربار را در همه سطوح کاهش داده است. این روش نسبت به روش تصادفی بسیار بهتر عمل می‌کند؛ زیرا روش تصادفی به دلیل عدم استفاده از مکانیزم مناسب جهت انتخاب گره Next hop، در بسیاری از مواقع شاهد احتمال نرخ برخورد ۹۸ درصد است و باید پیام‌های کنترلی بیشتری را مبادله کند و شاهد خرابی پیوند، ارسال مجدد درخواست و کشف مجدد مسیر می‌باشد به همین علت سربار کنترلی در آن افزایش یافته است؛ و این تفاوت بزرگی را در عملکرد روش تصادفی از پروتکل پیشنهادی ایجاد می‌کند.



شکل (۸): نتیجه شبیه‌سازی سربار کنترلی بر اساس افزایش سرعت

شکل (۸)، نشان‌دهنده سربار کنترلی، پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی بر اساس افزایش سرعت می‌باشد. سربار کنترلی توسط همه پروتکل‌ها با افزایش سرعت گره، افزایش می‌یابد دلیل آن این است که وقتی گره با سرعت بیشتری حرکت می‌کند به‌روزرسانی اطلاعات همسایه نادرست می‌شود و در نتیجه بسته‌های کنترلی بیشتری مبادله خواهند شد بنابراین در این نمودار، روش تصادفی، سربار کنترلی قابل‌توجهی را به دلیل عدم استفاده از مکانیزم مناسب جهت انتخاب گره Next hop، افزایش شکستگی پیوند، انتقال مجدد، و کشف مسیرهای جدید نشان می‌دهد؛ اما در پروتکل پیشنهادی، به علت انتخاب یک گره مناسب به‌عنوان گره Next hop و استفاده از مکانیزم مسیریابی درخواستی، فقط در صورت لزوم پیام‌های کنترلی تولید می‌شوند به همین علت، سربار کنترلی کاهش یافته است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، برای کاهش تعداد سوئیچینگ کانال و جلوگیری از تداخل کاربران، یک پروتکل مسیریابی واکنشی مطرح شد که در این پروتکل بسته‌ها با استفاده از مسیرهای کوتاه به مقصد ارسال می‌شوند و در آن سربار کنترلی و تأخیر کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی از مقایسه پروتکل پیشنهادی و روش تصادفی نشان می‌دهد، در پروتکل پیشنهادی، احتمال نرخ برخورد ۷۳ درصد، حتی با اعمال شرایط ذکرشده مشاهده می‌شود و این اطمینان وجود دارد که گره Next hop انتخابی، گره مناسبی جهت ادامه مسیر می‌باشد و سربار کنترلی در آن بیش از ۹۰ درصد در دو حالت افزایش تعداد گره و سرعت، کاهش می‌یابد و این در حالی است که روش تصادفی، دارای احتمال نرخ برخورد ۹۸ درصد می‌باشد اما به علت عدم استفاده از مکانیزم مناسب جهت انتخاب گره Next hop، دارای سربار کنترلی زیادی در دو حالت است و نمی‌توان اطمینان حاصل کرد که گره انتخابی، گره مناسبی برای روند مسیریابی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی اثربخشی پروتکل پیشنهادی، را تائید کرده است و به‌عنوان کار آینده، ما قصد داریم کار خود را با اضافه کردن پارامتر انقضای پیوند (LET) بهبود ببخشیم.

۷- مراجع

[1] 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)

[2] M. Abtahi, “Radio Cognitive Networks,” The Second National Conference on Computer, Information Technology and Islamic Communication of Iran, Qom, 2016.(In Persian)

[3] M. A. Hossain, R. MdNoor, 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 Systems, 34.7, e4748, 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, pp. 1-13, 2020.

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

[6] A. Shakeel, R. Hussain, A. Iqbal, I. Latif Khanet, Q. U. Hasan,and S. AliMalik, “Spectrum Handoff based on Imperf Channel State Prediction Probabilities with Collision Reduction in Cognitive Radio Ad Hoc Networks,” Sensor, 19, 21, 4741, 2019.

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

[8] 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.

[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 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] C. Bettstetter, “Mobility modeling in wireless networks: categorization, smooth movement, and border effects,” ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 5(3), pp. 55-66, 2001.

Improving Routing Control Overhead in Ad Hoc Mobile Radio Cognitive Networks by Estimating the Mobility of Secondary Users

S. Amirbeigi, O. Abedi*, M. Qazvini Kor

Abstract

In radiological networks, the sudden return of primary users to the spectrum causes interference and increases the number of channel switching. In this case, knowledge is very important in knowing the mobility of the spectrum, which is predicted by analytical methods such as the Markov process and... Also, since radiological networks are used in different platforms such as mobile networks, the mobility of users can also increase the inherent instability of radiological networks and challenges such as routing appear; Therefore, in this article, we solve this challenge by using a method based on the selection of interface nodes and discovering the appropriate route to send the packet to the destination. Specifically, we design a reactive routing protocol for the considered scenario, the most important advantages of which are: 1) preventing user interference during route formation and data transmission, 2) reducing the number of channel switching, 3) not using of common control channel, and 4) reduction of delay and control overhead. The proposed protocol is designed for networks with mobile nodes and is known as a reliable and cost-effective method by choosing a shorter path. Numerical simulations show that the proposed protocol has a collision rate of 73% and has a lower performance than the random method; But in this protocol, the control overhead has been reduced by more than 90% in the two modes of increasing the number of nodes and the speed, and this is more important for us in a network where access is opportunistic.

Key Words: *Cognitive Radio Networks, Ad Hoc Mobile Networks, Interference, Reduction of Channel Switching, Spectrum Mobility*

* Assistant Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. (oabedi@uk.ac.ir) - Writer-in-Charge