

بررسی اثر افزایش تعداد کانال‌های در دسترس کاربران بر گذردهی شبکه‌های رادیوشناختی

فهیمة آقایی^۱، آوید آوخ^۲

^۱ کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران
aghaei@sel.iaun.ac.ir

^۲ استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران
aavokh@pel.iaun.ac.ir

چکیده - امروزه، با توجه به رشد بی‌رویه استفاده از فن‌آوری‌های بی‌سیم، مفهوم رادیوشناختی با هدف بهره‌وری پویا از منابع رادیویی در دسترس به‌عنوان یک الگوی جدید مخابراتی مطرح می‌شود. ایده اصلی شبکه‌های رادیوشناختی بر پایه قابلیت ارزیابی محیط اطراف و پردازش اطلاعات به‌دست آمده است. بنابراین، این شبکه‌ها قادر هستند از طیف‌های فرکانسی بدون استفاده سایر شبکه‌ها برای برقراری ارتباط استفاده کنند. با افزایش تعداد کانال‌های در دسترس کاربران یک شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک‌رادیویی، اگرچه ارسال بسته‌های اطلاعاتی با اتصال به کانال‌های در دسترس بیشتری صورت می‌گیرد؛ اما این امر منجر به افزایش دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخشی و در نتیجه کاهش گذردهی شبکه می‌شود. در این مقاله، دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخشی در یک شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک‌رادیویی از طریق زمان‌بندی چندپخشی مناسب به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این مهم، ابتدا با بهره‌گیری از روش‌های مشارکتی در بین کاربران شبکه و همچنین ویژگی همه‌پخشی در شبکه‌های بی‌سیم امکان‌پذیر شده است. سپس، با اختصاص رادیوهای چندگانه برای هر کاربر شبکه به آنها اجازه می‌دهیم تا با ارسال‌ها و دریافت‌های همزمان به کاهش زمان ارسال اطلاعات کمک کنند.

کلیدواژه - شبکه‌های رادیوشناختی، رادیوهای چندگانه، زمان‌بندی چندپخشی، ویژگی همه‌پخشی در شبکه‌های بی‌سیم.

۱- مقدمه

فدرال آمریکا FCC^۱ نشان می‌دهد، بخش عظیمی از طیف‌های مجوزدار فعلی (حدود ۱۵ تا ۸۵٪) در زمان‌ها و مکان‌های مختلف به یک اندازه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد [۱]. وجود این بخش‌های بدون استفاده در طیف فرکانسی منجر به تعریف واژه - «حفره‌های فرکانسی»^۲ و یا «فضاهای سفید»^۳ می‌شود [۲]. امروزه، رادیو شناختی به‌عنوان یک فن‌آوری جدید برای مدیریت

در طول دهه گذشته، فن‌آوری‌های بی‌سیم به سرعت در حال رشد است و نیاز به منابع طیفی برای حمایت از خدمات بی‌سیم متعدد، پیش از پیش احساس می‌شود. تحقیقات انجام‌شده در سال‌های اخیر، نشانگر استفاده غیرکارآمد از طیف فرکانسی است. به‌گونه‌ای که در عمل با نوعی کمبود فرکانس مواجه هستیم. پژوهش‌های انجام‌شده در سال ۲۰۰۲ توسط کمیته مخابرات

^۱ Federal Communication Commission

^۲ Spectrum hole

^۳ Whitespace

رادیوشناختی وابسته به زمان و مکان است. لذا، با چالش تزلزل قابل توجه در گذردهی^۷ ترافیک چندپخششی روبه‌رو خواهیم شد [۸]. در همین زمینه مراجع [۹ و ۵] مسئله‌ی حداقل‌سازی تعداد بازه‌های زمانی در ترافیک چندپخششی را برای یک شبکه رادیوشناختی چندکاناله^۸، به‌وسیله‌ی زمان‌بندی ارسال چندپخششی^۹ در هر دو حوزه‌ی زمان و فرکانس با بهره‌گیری از فن‌آوری کد‌گذاری شبکه مطرح می‌کنند. اما در هیچ‌یک از این مراجع، نقش ویژگی همه‌پخششی شبکه‌های بی‌سیم WBA^{۱۰} در مشارکت اعضای داخلی یک گروه چندپخششی^{۱۱} و مشارکت اعضای گروه‌های مختلف با یکدیگر^{۱۲} مطرح نمی‌شود. همچنین، استفاده از رادیوهای چندگانه^{۱۳} برای هر کاربر توأم با WBA، به‌عنوان راه‌حلی مناسب در جهت افزایش گذردهی شبکه مورد توجه قرار نمی‌گیرد. منظور از WBA، بهره‌گیری از ماهیت بی‌سیم رسانه انتقال در ارسال اطلاعات به گره‌هایی از شبکه است که تنها در فاصله یک پرش از گره فرستنده قرار گرفته‌اند. در شبکه‌های رادیوشناختی به این تعریف شرط دسترسی همزمان گره‌های مربوطه به یک کانال فرکانسی نیز اضافه می‌شود.

در کنار چالش‌های فوق، یکی از روش‌های کارآمد برای افزایش گذردهی شبکه و توزیع بار ترافیکی شبکه در بین کاربران، استفاده از رادیوهای چندگانه برای هر گره شبکه است که به آنها اجازه ارسال‌ها و دریافت‌های همزمان می‌دهد [۸]. همچنین، توانایی ارسال به حداکثر تعداد کاربرانی که به یک طیف

استفاده از منابع طیف مطرح می‌شود. این فن‌آوری قبل از استفاده از طیف فرکانسی، آن را ارزیابی^۱ کرده و سپس، بر اساس نتایج به‌دست آمده تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین، شبکه‌های رادیوشناختی به یک ساختار هوشمند و سازگار با محیط ارسال داده نیاز دارند تا لایه‌های مختلف شبکه را تحت تأثیر قرار دهد. لازم به ذکر است در این‌گونه شبکه‌ها دو نوع کاربر تعریف می‌شود: کاربران اولیه^۲ که مجوز استفاده از یک بخش مجاز طیف را دارند و کاربران ثانویه^۳ که به شکل فرصت طلبانه از حفره‌های فرکانسی برای ارسال داده استفاده می‌کنند. نکته قابل توجه این است که اگر یک حفره فرکانسی مجدداً توسط کاربر اولیه استفاده شود، کاربر ثانویه به حفره‌ی فرکانسی دیگری منتقل می‌شود. بنابراین، از مهم‌ترین نیازهای شبکه‌های رادیوشناختی، ارزیابی حفره‌های فرکانسی است [۳ و ۴]. اخیراً، مشارکت^۴ بین کاربران ثانویه نه تنها به عنوان راه‌حلی برای تعامل بهتر اطلاعات ارزیابی شده ارائه می‌شود، بلکه امکان جابه‌جایی بسته‌های اطلاعاتی را از طریق گره رله^۵ فراهم می‌کند [۵].

امروزه، مسئله‌ی ترافیک‌های چندپخششی به‌عنوان یکی از مهمترین فن‌آوری‌های در حال توسعه برای کاهش زمان ارسال داده، حجم ترافیک شبکه و جلوگیری از ارسال بسته‌های تکراری ارائه می‌شود [۶ و ۷]. اما این مسئله در شبکه‌های رادیوشناختی به دلیل ویژگی ناهمگونی^۶ بالقوه در دستیابی کاربران ثانویه به کانال، متفاوت از مسایل ترافیک چندپخششی در شبکه‌های مرسوم بی‌سیم است. در واقع، دسترسی به کانال برای کاربران شبکه‌های

^۷ Throughput

^۸ Multi-channel wireless cognitive mesh networks

^۹ Multicast scheduling

^{۱۰} Wireless Broadcast Advantage

^{۱۱} Intra-group assistance

^{۱۲} Inter-group assistance

^{۱۳} Multi-radio

^۱ Spectrum sensing

^۲ Primary users

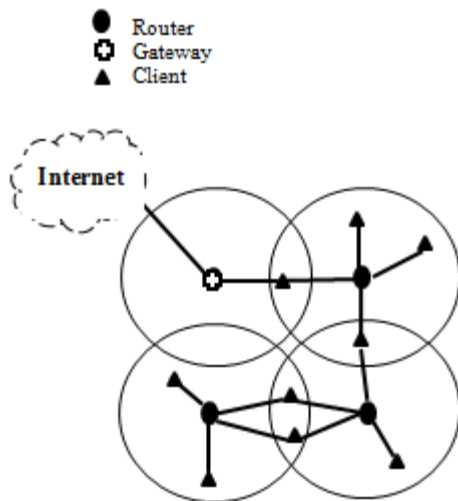
^۳ Secondary users

^۴ Cooperation

^۵ Relay node

^۶ Heterogeneous

مشترکین شبکه از طریق گره های واسط به صورت مخابرات چندپرسی و یا به طور مستقیم به مسیریاب مرکزی سلول خود دسترسی پیدا می کنند.



شکل ۱: شبکه رادیوشناختی.

از آنجایی که شبکه مد نظر با شبکه های شامل کاربران اولیه همزیستی دارد، در هر بخش زمانی^۵ مجموعه ای از کانال های بدون هم پوشانی^۶، در اختیار هر گره قرار می گیرد. این مجموعه شامل کانال های بلا استفاده کاربران شبکه اولیه است که پس از ارزیابی طیف فرکانسی در لایه ی فیزیکی [۹]، هر کاربر شبکه ثانویه از آنها به صورت فرصت طلبانه برای ارسال اطلاعات خود بهره می برد. برقراری پیوند مستقیم بین هر دو گره در شبکه مستلزم دو شرط زیر است:

- (۱) هر دو گره در برد مخابراتی یکدیگر باشند.
- (۲) هر دو گره فرستنده و گیرنده به حفره ی فرکانسی یکسانی دسترسی داشته باشند.

فرکانسی دست یافته اند، به منظور استفاده از WBA، به کاهش زمان ترافیک چندپرسی کمک خواهد کرد.

در این مقاله، هدف آن است که با بهره گیری توأم از سیاست های زمان بندی مناسب، روش های مشارکتی موجود، WBA و استفاده از رادیوهای چندگانه، اثر افزایش تعداد کانال های در دسترس کاربران یک سلول از شبکه رادیوشناختی بر گذردهی ترافیک چندپرسی بهبود یابد. در این راستا، ابتدا با بهره گیری از روش های مشارکتی اعضای یک گروه چندپرسی و مشارکت اعضای گروه های مختلف با یکدیگر در کنار استفاده از WBA دوره ی زمانی ترافیک چندپرسی کاهش می یابد. سپس، مسیریاب مرکزی و هر کاربر ثانویه به رادیوهای چندگانه مجهز می شوند؛ این مسئله، از یک سو به روش های مشارکتی کمک خواهد کرد و از سوی دیگر، در پیاده سازی WBA مفید واقع می شود.

ساختار این مقاله بر چندین بخش استوار است: در بخش دوم، مدل شبکه و مفروضات آن مطرح می شود. بخش سوم، به تشریح راهکارای مطرح در مقاله می پردازد. نتایج عددی حاصل از شبیه سازی ها در بخش چهارم بررسی می شوند و سرانجام در بخش پنجم، نتیجه گیری ارائه می شود.

۲- مدل شبکه

مطابق شکل (۱)، شبکه رادیوشناختی مشتمل بر n مسیریاب- مرکزی^۱ را در نظر بگیرید. هر یک از مسیریاب ها، گروهی از مشترکین^۲ شبکه را در یک سلول شبکه که با دواپس مشکی رنگ مشخص شده است، مدیریت می کنند و امکان دسترسی به گره ی دروازه^۳ به شیوه ی مخابرات چندپرسی^۴ به منظور اتصال به شبکه های سیمی برای هر مسیریاب فراهم می شود. همچنین،

^۱ Router

^۲ User

^۳ Gateway

^۴ Multi-hop

^۵ Time slot

^۶ Orthogonal

۲-۲- بهره‌گیری از روش‌های مشارکتی

ابتدا، مسئله‌ی زمان‌بندی ترافیک چندپخش‌ی با فرض تنها یک رادیو در هر گره بررسی می‌شود. در این صورت لازم است که دو شرط مهم در تمامی مراحل برقرار شود:

(۱) در هر بخش‌زمانی، از هر گره شبکه و در هر کانال

حداکثر یک انتقال صورت گیرد.

(۲) برای انتقال بسته‌ی اطلاعاتی، فرستنده باید در بخش-

های زمانی قبل بسته‌ی اطلاعاتی مورد نظر را دریافت

کرده باشد.

همچنین منظور از دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی^۲، تعداد کل بخش‌های زمانی مورد نیاز برای تحویل بسته‌های اطلاعاتی به تمامی کاربران موجود در یک سلول مخابراتی (T) است.

همان‌گونه که ذکر شد، استفاده از یک رادیو برای هر گره شبکه محدودیت دریافت و ارسال همزمان اطلاعات را به همراه خواهد داشت. همچنین، در برخی موارد توپولوژی شبکه به‌گونه‌ای است که وجود تنها یک رادیو برای هر کاربر، امکان استفاده از روش-های مشارکتی موجود را فراهم نخواهد کرد. بنابراین، استفاده از سیاست‌های مشارکتی منجر به کاهش تعداد بخش‌های زمانی ترافیک چندپخش‌ی نسبت به حالت عدم استفاده از آنها نخواهد شد. در ادامه با بیان یک مثال به تشریح واضح‌تر این بخش می-پردازیم.

مطابق شکل (۲)، یک شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک رادیویی را در نظر بگیرید؛ فرض کنید ۸ کاربر ثانویه (گره‌های ۱ تا ۸) در دو گروه افزاز شوند و تعداد کانال‌های در دسترس برای کاربران این شبکه ۳ کانال باشد.

در طراحی شبکه، کاربران بدون تحرک در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، فرض بر آن است مسیر یاب مرکزی هر سلول به تمامی کانال‌های موجود دسترسی دارد. بنابراین، هر کاربر قادر است حداقل از طریق یک کانال به تبادل اطلاعات با مسیر یاب مرکزی سلول خود بپردازد. علاوه بر آن، در مدل پیشنهادی تمامی گره-های شبکه مجهز به رادیوهای دوطرفه غیر همزمان^۱ هستند و از توان انتقالی و برد مخابراتی یکسانی استفاده می‌کنند. همچنین، همگام با سایر مراجع، فرض بر آن است که تمامی کاربران یک سلول در منطقه تداخلی یکدیگر قرار دارند. بنابراین، کاربران واقع در یک سلول نمی‌توانند به‌طور همزمان از یک کانال در دسترس استفاده کنند.

به‌طور کلی، سیاست‌های زمان‌بندی در راستای ارسال حداکثر بسته‌های اطلاعاتی در یک بخش زمانی است. بنابراین، با استفاده از سیاست‌های زمان‌بندی مناسب، تعداد کل بخش‌های زمانی (T) در هر دوره‌ی زمان‌بندی کاهش می‌یابد و منجر به افزایش گذردهی شبکه می‌شود.

۳- بیان مسأله

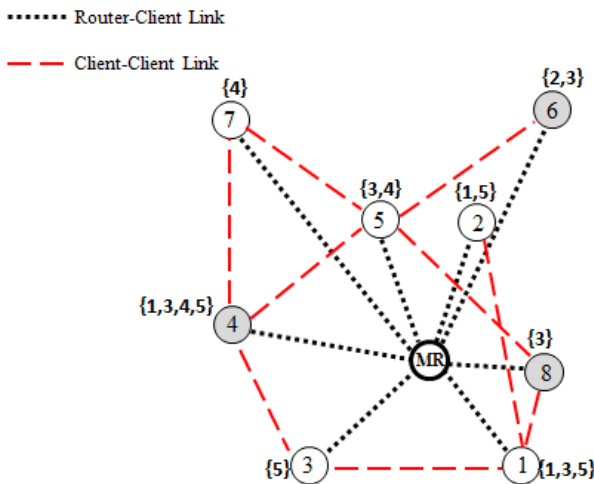
در این بخش، ابتدا با بیان مثالی از یک شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک رادیویی روش پیشنهادی بهره‌گیری از عملکرد-های مشارکتی در کنار استفاده از WBA به منظور افزایش گذردهی شبکه مطرح می‌شود. سپس، گره‌های شبکه به رادیوهای چندگانه مجهز می‌شوند و با بررسی مجدد مثال ذکر شده، کاهش قابل توجهی در دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی مشاهده می-شود.

^۲ Multicast period

^۱ Half duplex

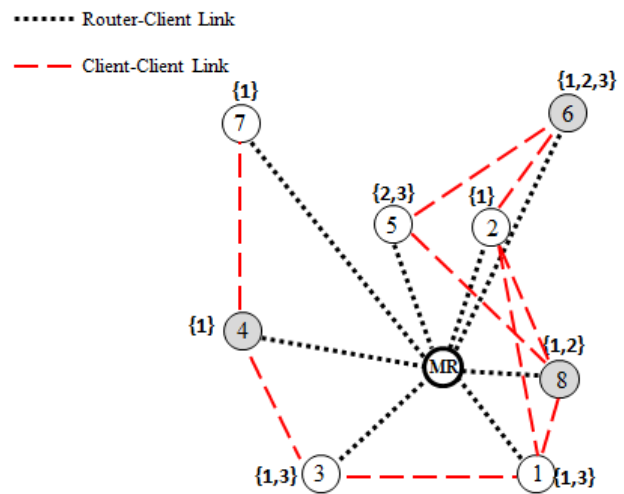
۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

شدن مسئله، شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن تعداد کانال-های در دسترس کاربران به ۵ کانال افزایش یافته است.



شکل ۳: شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک رادیویی با ۵ کانال در دسترس.

همان‌طور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود، با افزایش تعداد کانال‌های در دسترس به دلیل این‌که احتمال دسترسی به هر کانال‌های فرکانسی کاهش می‌یابد و یا در واقع رقابت برای تسهیم کانال‌های فرکانسی در بین کاربران شبکه کمتر می‌شود؛ مجموعه کانال‌های در دسترس هر کاربر شبکه تغییر می‌کند. بنابراین، ارسال بسته‌های اطلاعاتی از مسیر یاب مرکزی نسبت به حالت قبل با افزایش دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی مواجه می‌شود. به طوری که مطابق با جدول (۱)، هنگامی که تعداد کانال‌های در دسترس ۵ کانال می‌شود، مسیر یاب مرکزی در ۵ بخش زمانی، یعنی با ۱ بخش زمانی بیشتر از حالت قبل، به تمامی کاربران شبکه بسته‌های اطلاعاتی مطلوب را ارسال می‌کند. حال مطابق با بخش سوم جدول (۱)، چنانچه از عملکرد مشارکتی بین اعضای یک گروه و مشارکت بین اعضای گروه‌های مختلف استفاده شود، دوره‌ی زمانی به ۳ بخش می‌رسد. در این راستا، بهره‌گیری از WBA در عملکردهای مشارکتی نیز بر کاهش دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی نقش قابل توجهی دارد. به‌عنوان مثال در بخش زمانی ۲، کاربر N_5 با بهره‌گیری از عملکرد مشارکتی اعضای گروه‌های مختلف با یکدیگر و استفاده از WBA، به‌طور همزمان به دو کاربر $\{N_6, N_8\}$ بسته‌ی اطلاعاتی b را ارسال می‌کند.



شکل ۲: شبکه رادیوشناختی چندکاناله تک رادیویی با ۳ کانال در دسترس.

گره‌های سفید رنگ گروه اول، کاربران $\{N_1, N_2, N_3, N_5, N_7\}$ ، بسته-های اطلاعاتی a را دریافت می‌کنند و گره‌های خاکستری رنگ گروه دوم، کاربران $\{N_4, N_6, N_8\}$ ، علاقه‌مند به دریافت بسته‌ی اطلاعاتی b هستند. همچنین، فرض بر آن است که مسیر یاب مرکزی به تمامی کانال‌های فرکانسی در دسترس کاربران ثانویه شبکه دسترسی دارد و تمامی کاربران نیز در برد مخابراتی آن قرار دارند. لذا، در این شکل اتصالات نقطه چین مشکی رنگ، ارتباط بین مسیر یاب مرکزی و همه‌ی مشترکین را نشان می‌دهند. برای برقراری ارتباط بین هر دو کاربر ثانویه در شبکه‌های رادیوشناختی، با رعایت دو شرط ذکر شده در بخش (۲)، اتصالات خط چین قرمز رنگ برقرار می‌شوند. همچنین، مجموعه اعداد نمایش داده شده در کنار هر کاربر، معرف کانال‌های در دسترس آن کاربر است.

در جدول (۱)، چگونگی ارسال بسته‌های اطلاعاتی از گره‌های فرستنده T_x به گره‌های گیرنده R_x و از طریق کانال‌های مخابراتی C در بخش‌های زمانی مختلف نشان داده شده است. بخش اول این جدول، شامل زمان بندی ترافیک چندپخش‌ی بدون استفاده از سیاست‌های مشارکتی است به طوری که در هر بخش زمانی با بهره‌گیری از WBA، کاربرانی که به کانال فرکانسی یکسانی دسترسی پیدا کرده‌اند، بسته‌های اطلاعاتی خود را از مسیر یاب مرکزی دریافت می‌کنند. بخش دوم جدول (۱)، مربوط به اثر افزایش تعداد کانال‌های در دسترس کاربران بر چگونگی ارسال بسته‌های اطلاعاتی از مسیر یاب مرکزی می‌باشد. برای روشن‌تر

جدول (۱): زمان بندی شبکه با استفاده از عملکردهای غیر مشارکتی، مشارکتی و بهره‌گیری از یک رادیو در هر گره.

Scenario		Tx/Rx	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Single Radio	Unassisted multicast $C=3$	Tx Rx C Packet	MR { N_1, N_2, N_3, N_7 } 1 a	MR N_5 3 a	MR N_4 1 b	MR { N_6, N_8 } 2 b	
	Unassisted multicast $C=5$	Tx Rx C Packet	MR { N_1, N_2 } 1 a	MR { N_3, N_7 } 4 a	MR N_3 5 a	MR N_4 4 b	MR { N_6, N_8 } 3 b
	Intra-Inter group assisted	Tx Rx C Packet	MR { N_4, N_5 } 4 b	N_5 { N_6, N_8 } 3 b	MR { N_1, N_2 } 1 a	N_1 N_3 5 a	MR { N_3, N_7 } 4 b

۳-۳- استفاده از رادیوهای چندگانه

باشد و از طریق آن هیچ بسته‌ای در حال دریافت و یا ارسال نباشد. در جدول (۲)، عملکردهای غیرمشارکتی و مشارکتی شکل (۲) با در نظر گرفتن ۲ رادیو در هر گره شبکه، زمان بندی شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخشی در عملکرد غیر مشارکتی به ۳ بخش کاهش یافته است؛ در حالی که با استفاده از تنها یک رادیو در هر گره، دوره‌ی زمانی ۵ بخش محاسبه شد.

در مورد استفاده از عملکردهای مشارکت بین اعضای یک گروه و مشارکت اعضای گروه‌های مختلف با یکدیگر لازم است که علاوه بر شروط ذکر شده در بخش قبل، دو شرط زیر نیز رعایت شوند:

(۱) هر دو کاربر فرستنده و گیرنده، رادیویی بدون استفاده برای ارسال و دریافت بسته‌ی ارسالی، در اختیار داشته باشند.

(۲) کانال مورد استفاده در آن بخش زمانی، برای برقراری شرط عدم ایجاد تداخل، نباید توسط مسیریاب مرکزی و یا کاربران دیگر، استفاده شود.

همان‌طور که ذکر شد، استفاده از رادیوهای چندگانه برای هر گره شبکه تاثیر چشمگیری بر بهبود عملکردهای مشارکتی و در نهایت گذردهی شبکه دارد، به طوری که با مشاهده جدول (۲) نیز این امر قابل استنباط است.

یکی از روش‌های کارآمد در افزایش گذردهی شبکه، استفاده از رادیوهای چندگانه برای هر گره در کنار توانایی به‌کارگیری کانال‌های چندگانه به منظور کاهش تداخل است. در واقع، با تخصیص و تنظیم کانال‌های غیرهم‌پوشان به رادیوهای مختلف، مسیریاب‌ها و مشترکین شبکه می‌توانند به صورت همزمان به ارسال و دریافت در یک بخش زمانی بپردازند. بنابراین، استفاده از چند رادیو و چند کانال، منجر به بهره‌وری کارا از طیف فرکانسی می‌شود. در کنار استفاده از رادیوهای چندگانه، به‌کارگیری سیاست‌های مشارکتی موجود، اثر چشمگیری در کاهش تعداد بخش‌های زمانی ترافیک چندپخشی و در نهایت افزایش گذردهی شبکه دارد.

اگر فرض کنیم تمام گره‌های شبکه‌ی ارائه شده در بخش قبل به ۲ رادیو مخابراتی مجهز شوند، در این صورت برای ارسال و دریافت همزمان بسته‌های اطلاعاتی در یک شبکه رادیوشناختی چندرادیویی چندکاناله، لازم است علاوه بر برقراری شرط عدم ایجاد تداخل برای سایر کاربران شبکه، شرط وجود رادیویی بدون استفاده در گره‌های فرستنده و گیرنده را نیز بررسی کرد. برای مثال، هنگامی که کاربر N_1 بسته‌ای را توسط رادیوی اول خود دریافت می‌کند، فقط در صورتی می‌تواند آن را برای سایر کاربران در همان بخش زمانی ارسال کند که رادیوی دوم آن آزاد

جدول (۲): زمان بندی شبکه با استفاده از عملکردهای غیر مشارکتی، مشارکتی و بهره گیری از دو رادیو در هر گره.

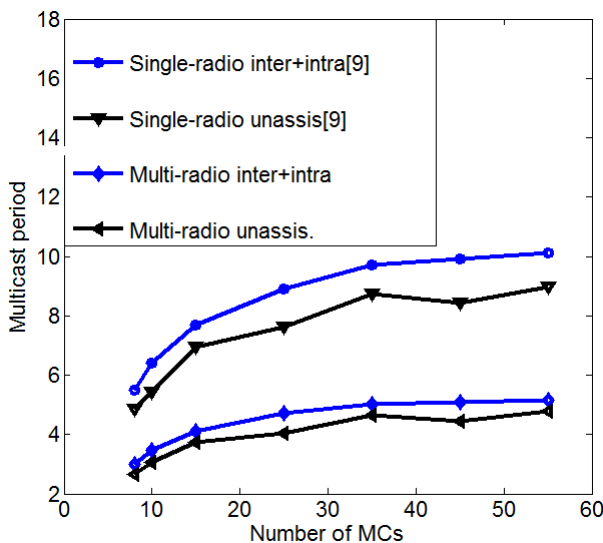
Scenario		Tx/Rx	T_1			T_2		T_3
Multi	Unassisted multicast $C=5$	Tx	$MR(R_1)$	$MR(R_2)$	$MR(R_1)$	$MR(R_2)$	$MR(R_1)$	
		Rx	$\{N_5, N_7\}$	$\{N_1, N_2\}$	N_3	N_4	$\{N_6, N_8\}$	
		C	1	4	5	4	3	
		Packet	a	a	a	b	b	
Radio	Intra-Inter group assisted	Tx	$MR(R_1)$	$MR(R_2)$	$N_3(R_2)$	MR	N_1	
		Rx	$\{N_4, N_5(R_1)\}$	$\{N_1, N_2\}$	$\{N_6, N_8\}$	$\{N_5, N_7\}$	N_3	
		C	4	1	3	4	5	
		Packet	b	a	b	b	a	

۴- شبیه سازی و نتایج عددی

در این بخش، با استفاده از نرم افزار MATLAB، مسئله‌ی زمان بندی ترافیک چندپخش در یک سلول از شبکه‌های توری بی سیم رادیوشناختی شبیه سازی می شود. تعداد کاربران ثانویه که به طور تصادفی در ناحیه مسطح مربعی 500×500 m² پخش شده اند، از ۸ کاربر تا ۵۵ کاربر تغییر می یابد. موقعیت مکانی مسیریاب مرکزی، به طور ثابت در مرکز این ناحیه تعبیه شده است و تمامی گره های شبکه دارای برد مخابراتی یکسان $\sqrt{2} \times \frac{500}{2} = 353.55$ ، مطابق با حداقل فاصله مسیریاب مرکزی از هر مشترک هستند. تعداد گروه های ترافیک چندپخش G ، ۲ و ۳ گروه در هر سلول فرض شده است و هر یک از کاربران ثانویه به طور تصادفی در یکی از گروه های ارسال چندپخش جای گرفته اند. کانال های در دسترس هر کاربر C ، با احتمال دسترسی P_a متغیر هستند و مسیریاب مرکزی سلول قادر به استفاده از تمامی کانال های در دسترس کاربران ثانویه است.

در شکل (۴)، تعداد دوره های زمانی ترافیک چندپخش در ۳۰ توپولوژی مختلف با افزایش تعداد کاربران ثانویه، به صورت میانگین برای عملکردهای غیر مشارکتی و مشارکتی و همچنین بهره گیری از رادیوهای چندگانه ترسیم شده اند. در هر مورد به منظور توصیف بهتر اثر هر یک از روش های مشارکتی ارائه شده، دوره ی زمانی ترافیک چندپخش در سه مرحله محاسبه می شود: ابتدا، روش غیرمشارکتی اعضای یک گروه چندپخش (Unassisted)، سپس با بهره گیری از روش مشارکتی اعضای یک گروه و مشارکت اعضای گروه های مختلف با یکدیگر (Intra-Inter) و در نهایت

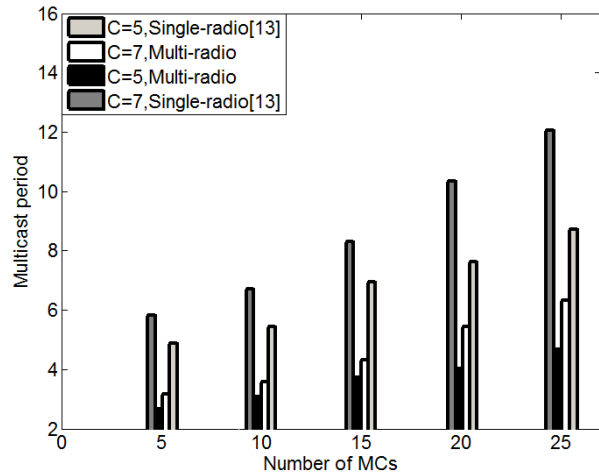
استفاده از رادیوهای چندگانه به تعداد NR در هر گره (Multi-radio).



شکل ۴: دوره های زمانی ترافیک چندپخش عملکردهای مشارکتی و غیر مشارکتی $NR=2$.

در شکل (۵)، اثر افزایش تعداد کانال های در دسترس بر دوره های زمانی، برای عملکرد مشارکتی اعضای یک گروه و اعضای گروه های مختلف با یکدیگر نشان داده شده است. با افزایش کانال های فرکانسی، احتمال دسترسی به هر کانال کاهش می یابد. دلیل این امر، کاهش رقابت بر سر تسهیم کانال های ارزیابی شده در لایه فیزیکی شبکه است. همان گونه که انتظار می رفت، به طور مثال با استفاده از ۲ رادیو در هر گره شبکه، عملکردهای مشارکتی در این حالت

نسبت به عملکرد متناظر خود هنگامی که تنها یک رادیو برای هر گره در نظر گرفته شود [۹]، علی رغم افزایش تعداد کاربران با کاهش قابل توجهی دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی روبه‌رو خواهد شد.



شکل ۵: اثر افزایش کانال بر دوره‌های زمانی ترافیک چندپخش‌ی $NR=2$.

مراجع

- [1] F.C. Commission, Spectrum policy task force, Technical report, Nov. 2002.
- [2] X. Chen, Z. Zhao, T. Jiang, D. Grace, and H. Zhang, "Inter-cluster connection in cognitive wireless mesh networks based on intelligent network coding," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 10, no. 5, pp.1251 - 1256, 2009.
- [3] J. Zhang, H. Wu, Q. Zhang, and B. Li, "Joint routing and scheduling in multi-radio multi-channel multi-hop wireless networks," in *Proc. IEEE Comput. Science*, vol. 1, pp. 631-640, Oct. 2005.
- [4] X. Hong, Z. Chen, C.-X. Wang, and S. A. Vorobyov, "Cognitive radio networks: interference cancellation and management techniques," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 4, no. 4, pp. 76-84, Dec. 2009.
- [5] D. Xue, E. Ekici, and M. C. Vuran, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks using multidimensional correlations," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 4, pp. 1832-1843, Apr. 2014.
- [6] W. Kim, S. Oh, M. Gerla, and J. S. Park, "COCAST: multicast mobile ad hoc networks using cognitive radio," in *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 1-7, 2009.
- [7] C. H. Huang, Y. C. Lai, and K. C. Chen, "Network capacity of cognitive radio relay network," *Phys. Commun.*, vol. 1, no. 2, pp. 112-120, Jun. 2008.
- [8] A. S. Cacciapuoti, M. Caleffi, and L. Paura, "Reactive routing for mobile cognitive radio ad hoc networks," *Ad Hoc Net.*, vol. 10, no. 10, pp. 803-815, Jul. 2012.
- [9] H. M. Almasarid and A. E. Kamal, "Assisted-multicast scheduling in wireless cognitive mesh networks," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 1-5, Dec. 2010.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، اثر استفاده از رادیوهای چندگانه در کنار سیاست مشارکتی در شبکه‌های رادیوشناختی، مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، با فرض ترافیک‌های چندپخش‌ی، نقش مشارکت اعضای یک گروه و مشارکت اعضای گروه‌های مختلف بر گذردهی شبکه ارزیابی شد. به طوری که استفاده از عملکردهای مشارکتی گره رله و سیاست‌های زمان‌بندی مناسب، منجر به کاهش دوره‌ی زمانی ترافیک چندپخش‌ی و افزایش گذردهی شبکه می‌شود.