

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۷/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۲/۲

ارائه مدلی جدید برای ارزیابی تاثیر نرخ گم شدن بسته کاربران ثانویه در کارائی پروتکل TCP در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی

محمد مهدی حسینی*

عضو هیئت علمی (مربی) گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد آیت الله آملی، آمل، ایران.

پست الکترونیکی: M.m.hasani@iauamol.ac.ir

چکیده

و دو عامل اصلی برای وقوع آن را معرفی می‌نمائیم و با استفاده از زنجیره مارکوف زمان گسسته^۲ پیشنهادی احتمال آن را تخمین می‌زنیم. به واسطه این مدل تحلیلی یک الگوریتم جدید کنترل ازدحام نرخ-محور به نام T-CRSN برای شبکه‌های حسگر رادیو شناختی طراحی خواهیم نمود که در آن، بین رخداد گم شدن بسته به دلیل ازدحام و شرایطی که گم شدن بسته به دلیل وقفه‌های ناشی از فعالیت کاربران اولیه در کانال است، تفاوت قائل می‌شود. سپس با استفاده از شبیه‌ساز NS2، مدل پیشنهادی را تایید و صحت سنجی می‌نماییم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی مقدار گذردهی را به میزان ۲۰ تا ۴۰ درصد افزایش خواهد داد

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر رادیو شناختی، الگوریتم کنترل ازدحام نرخ‌گرا، زنجیره مارکوف زمان گسسته، گم شدن بسته کاربران ثانویه، TCP

۱- مقدمه

تخصیص ناکارآمد طیف به ارتباطات مختلف و توسعه

2- Discrete Time Markov Chain (DTMC)

فناوری رادیو شناختی به‌عنوان یک راه‌حل کلیدی افزایش استفاده از طیف‌های استفاده نشده یا کمتر استفاده شده برای کاهش معضل کمبود طیف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ظهور کردند. اما، در شبکه‌های رادیو شناختی، در دسترس بودن کانال به دلیل وجود کاربر اولیه نامشخص است. پروتکل TCP کلاسیک به‌خاطر سازوکار کنترل ازدحام خود برای شبکه‌های حسگر رادیو شناختی مناسب نمی‌باشد و موجب کاهش گذردهی آن به‌واسطه تشخیص اشتباه ازدحام می‌گردد. دلیل این کاهش گذردهی عدم شناخت TCP در شناخت ماهیت خطا می‌باشد. در واقع TCP گم شدن بسته را نشانه‌ای از وجود ازدحام می‌داند و نرخ ارسال را کاهش می‌دهد درحالی که گم شدن بسته در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی دلایل مختلفی علاوه بر ازدحام دارد که حضور کاربران اولیه از جمله این دلایل می‌باشد. در این مقاله نوع جدیدی از گم شدن بسته به نام SBL^۱ در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی را معرفی کرده

* نویسنده مسئول

1- Secondary user Blocking Probability

و پیشرفت فناوری و افزایش استفاده از شبکه‌های بی‌سیم باعث گردیده که کمبود منابعی مانند طیف^۳ احساس گردد [۱]. طیف یک منبع محدود می‌باشد. شبکه‌های بی‌سیم، سرویس‌های فراوانی را فراهم می‌کنند، به همین دلیل به پهنای باند زیادی برای ارائه این سرویس‌ها نیاز می‌باشد و این بدان معنا است که پهنای باند کافی برای تبادل داده در اختیار نداریم. با افزایش تقاضا برای تخصیص اتصال رادیویی باید شرایطی برای اشتراک طیف به صورت پویا را به وجود آورد. دسترسی طیف به صورت پویا، راه‌حلی برای بهره‌وری از طیف به صورت غیرایستا می‌باشد [۲]. یکی از روش‌های دسترسی پویا به طیف رادیو شناختی می‌باشد. یک گره رادیو شناختی، ابتدا محیط را حس می‌کند و سپس برای تطبیق پارامترهای ارتباطی به صورت پویا تصمیم می‌گیرد. اما این کار به توانایی تخصیص یا تخصیص فرکانس بدون ایجاد وقفه در اتصال و بدون تداخل با رادیوهای دیگر نیاز دارد.

این عملیات شامل حس طیف، تصمیم‌گیری در انتخاب طیف، تغییر طیف و اشتراک طیف می‌باشد نمونه عملی بهره برداری از فناوری رادیو شناختی، استفاده از باند فرکانسی دارای مجوز استفاده نشده مثل TV می‌باشد.

تخصیص پویا و دستیابی فرصت طلبانه طیف یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی برای پوشش این کمبودها می‌باشد. این روش خود بهانه خوبی برای تحقیق شبکه‌های رادیو شناختی گردیده است. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی لایه‌های فیزیکی، کنترل دستیابی به محیط و شبکه در شبکه‌های رادیو شناختی انجام گرفته است، اما تاثیر لایه انتقال بر روی کارایی شبکه‌های رادیو شناختی هنوز ناشناخته می‌باشد. پروتکل TCP به عنوان یکی از پروتکل‌های کلاسیک لایه انتقال، به دلیل وجود سازوکار کنترل ازدحام در شبکه‌های بی‌سیم مناسب نمی‌باشد.

شبکه‌های حسگر بی‌سیم رادیو شناختی^۴، یک شبکه موردی خاص است که گره‌های حسگر بی‌سیم در آن،

3- spectrum

4- DSA

5- Cognitive Radio Sensor Network (CRSN)

دارای توانایی رادیو شناختی می‌باشند [۳]. یک گره حسگر، کانال خالی را برای انتقال داده انتخاب می‌کند و در صورت فعالیت دوباره کاربر دارای مجوز دسترسی به کانال، آنجا را ترک می‌نماید. رادیو شناختی یکی از تکنیک‌هایی است که جهت بهبود کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک شبکه حسگر رادیو شناختی، بهره‌وری طیف را افزایش داده، کارایی شبکه را بهبود می‌بخشد و طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم را بیشتر می‌نماید [۴]. پروتکل TCP، یکی از استانداردهای لایه انتقال بر روی اینترنت است. این پروتکل یک انتقال انتها به انتهای مطمئن را تضمین می‌نماید. نرخ گم شدن بسته یکی از نشانه‌های ازدحام در شبکه است. در محیط بی‌سیم گم شدن بسته می‌تواند عوامل دیگری از قبیل حرکت گره‌ها و خطای کانال نیز داشته باشد. پروتکل TCP الگوهای رفتاری نامطلوبی در شبکه‌های بی‌سیم از خود نشان می‌دهد و فاقد راهبردهایی برای مصرف مقرون به صرفه انرژی است تا ما را به گذردهی بالایی برساند. حلقه مفقوده TCP که فقدان آن تأثیرات منفی در محیط‌های ناهمگن با عناصر سیمی و بی‌سیم گذاشته است «شناسایی خطا» است. TCP قادر به تشخیص ماهیت خطا نمی‌باشد بلکه تنها وقوع خطا را اعلام می‌کند؛ به عبارت دیگر، می‌گوید که یک بسته حذف شده است. بنابراین سازوکار «بازیابی خطا» همیشه کارایی ندارد، بخصوص وقتی که الگوی خطا دائماً عوض می‌شود، زیرا گم شدن بسته همیشه از نظر پروتکل ناشی از ازدحام است و لاغیر. مثلاً وقتی که خطاهای نادر و تصادفی یا شدید ولی کوتاه مدت رخ می‌دهد، فرستنده همیشه به عقب بازگشته و سپس با یک سیاست محافظه‌کارانه اندازه پنجره خود را که کاهش یافته به طور تصاعدی افزایش می‌دهد. در مدت زمان گسترش آرام پنجره، فرصت‌های زیادی که برای انتقال سالم و بدون خطا وجود دارد، از دست می‌رود و زمان مبادله اطلاعات افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در صورت وجود خطاهای موقتی و ناگهانی، راهبرد

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به این که پژوهش‌های صورت گرفته در لایه انتقال شبکه‌های حسگر رادیو شناختی بسیار محدود است، لذا در این فصل به مرور مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در لایه انتقال شبکه‌های حسگر و موردی رادیوی شناختی می‌پردازیم. با توجه به مطالعات انجام شده در راستای لایه انتقال در شبکه‌های رادیو شناختی می‌توان پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه را به دو دسته تقسیم بندی کرد:

۱- بهبود کارایی لایه انتقال: بعضی از مقالات [۵-۱۴] مطالعات خود را در راستای بهبود و بهینه کردن کارایی TCP به صورت میان لایه‌ای و مبتنی بر پارامترهای لایه‌های پایین تر شبکه‌های رادیوی شناختی انجام داده‌اند. پژوهشگران در این حوزه بر این باورند که تغییر پروتکل TCP که یک پروتکل شناخته شده و عمومی است نمی‌تواند منجر به عملیات شدن پروتکل انتقال جدید شود. این پژوهشگران بر اساس گفته انجمن اینترنت مبنی بر این که به جای تغییر TCP برای شبکه‌های بی‌سیم مختلف باید شبکه‌های بی‌سیم برای استفاده مفید TCP بهینه شود، تغییر و اصلاح در TCP را منطقی نمی‌دانند.

۲- بهبود پروتکل‌های لایه انتقال: در بعضی از مقالات [۱۵-۲۲]، پژوهشگران اقدام به طراحی پروتکل انتقال جدید برای شبکه‌های رادیو شناختی کرده‌اند. پژوهشگران در این بخش معتقدند که در صورت استفاده از پروتکل‌های لایه انتقال ارائه شده برای شبکه‌های حسگر و موردی سنتی در شبکه‌های حسگر و مورد رادیو شناختی، هدف اصلی رادیو شناختی زیر سوال می‌رود. البته پروتکل‌های انتقال ارائه شده برای شبکه‌های موردی رادیو شناختی عمدتاً مبتنی بر پروتکل TCP بوده‌اند و در حقیقت روی پروتکل TCP بهبود انجام داده‌اند. برای شبکه‌های حسگر رادیو شناختی، هنوز پروتکل لایه انتقال ارائه نشده است.

در این قسمت کارایی TCP در محیط‌های CRSN مورد بررسی قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود که TCP در این

بازگشت به عقب TCP به جای استفاده از انتقال مجدد جزئی، اندازه پنجره ارسال و به سر آمدن‌های بازه زمانی را تغییر می‌دهد و این مسئله موجب افت قابل ملاحظه‌ای در گذردهی و افزایش زمان کل اتصال می‌شود. هنوز هم وقتی خطایی رخ می‌دهد و TCP به عقب باز می‌گردد، تمام سعی خود را می‌کند تا از طریق محدوده پنجره کوچک شده خود عملیات انتقال را انجام دهد. در مورد خطاهای نسبتاً ماندگار و پی‌درپی (مثل نوسان کانال، خطاهای مکرر و طولانی، ازدحام) این رفتار کمکی به صرفه‌جویی در انرژی نمی‌کند، بلکه فقط موجب بهبود اندکی در گذردهی در مقابل هزینه بالایی که برای تهیه انرژی این انتقال متحمل شده‌ایم، می‌گردد. به‌طور خلاصه از نقطه نظر مصرف انرژی در بستر شبکه‌های سیمی/ بی‌سیم به نظر می‌رسد که TCP در زمانی که نباید پسگرد کند؛ تمایل زیادی به راهبرد بازگشت به عقب دارد و در وقتی که باید این‌گونه باشد، برعکس عمل می‌کند. در بخش دوم، به بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه شبکه‌های رادیو شناختی، مخصوصاً شبکه‌های حسگر رادیو شناختی می‌پردازیم. در بخش سوم، معماری شبکه‌های حسگر رادیو شناختی را شرح خواهیم داد. در بخش چهارم، چالش‌های پیش روی پیاده‌سازی این نوع از شبکه‌ها، بالاخص چالش کاهش گذردهی TCP در شبکه‌های CRSN را بررسی کرده و نوع جدیدی از رخداد گم شدن بسته به نام SBL را معرفی می‌نماییم. در بخش پنجم، با استفاده از زنجیره مارکوف زمان گسسته SBL را مدل کرده و تحلیل خواهیم نمود. همچنین در فصل هشتم نتایج حاصل از این مدل را ارائه خواهیم داد. در بخش هفتم، یک الگوریتم کنترل ازدحام جدید به نام T-CRSN را معرفی خواهیم نمود. در بخش هشتم، صحت سنجی مدل تحلیلی ارائه شده در بخش هفتم، مبتنی بر شبیه‌سازی NS2 انجام می‌گیرد. در پایان و در بخش نهم، یک جمع‌بندی کلی از مقاله ارائه داده و پیشنهادهایی برای ادامه خط سیر مقاله ارائه خواهیم داد.

محیطها با مشکلات بیشتری برای فراهم آوردن اتصالات انتها به انتها نسبت به محیطهای تک-گام روبرو می‌شود. از عدم ساختار، خود سازماندهی و نبود یک موجودیت مرکزی می‌توان به‌عنوان دلایل اصلی این مشکلات نام برد. این در حالی است که بعضی خصوصیات ذاتی CRSN مثل عدم دستیابی ایستا به کانال اشتراکی و احتمال بالای خطا در مسیریابی به واسطه بازگشت کاربر اولیه به کانال بر شدت این مشکلات افزوده است.

همچنین گره‌ها در زمان حس کردن طیف توانایی ارسال و دریافت بسته را نخواهند داشت، در این حالت مبدا که از وضعیت گره‌های میانی اطلاع ندارد، به‌صورت پی در پی بسته‌های داده را ارسال می‌نماید و این بسته‌ها مجبور به ذخیره در گره می‌گردند. اگر مدت زمان حس کردن طیف، طولانی گردد، موجب سرریز در میانگیر گره‌های بعدی و یا ارسال تعداد زیادی از بسته‌ها به گره‌های بعدی می‌گردد. این مشکلات موجب کاهش گذردهی TCP در شبکه‌های چند گامه می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، مطالعات انجام شده با دو نگرش اصلاح و جایگزینی TCP به‌صورت های ذیل انجام گرفته است:

در [۶]، چالش‌های انتقال داده مطمئن در شبکه‌های حسگر رادیوشناختی مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها بدین نتیجه رسیده‌اند که پروتکل‌های لایه انتقال موجود در شبکه‌های حسگر کلاسیک، برای معماری حسگر رادیوشناختی مناسب نمی‌باشند. قابلیت اطمینان و سازوکارهای اجتناب از ازدحام و کنترل نرخ کارای جدیدی در این تحقیق برای رفع چالش‌های CRSN ارائه گردیده است و یک پروتکل انتقال حسگر رادیوشناختی بر اساس حس کردن طیف و تحرک گره‌ها توسعه داده شده است. اما در این روش به بهینه‌سازی بهره‌وری پهنای باند اشاره‌ای نگردیده است. در [۲۵] مدل جدیدی از TFRC^۱ به نام TFRC-CR^۷ به‌منظور استفاده کارا از پهنای باند در شبکه‌های حسگر رادیوشناختی معرفی می‌گردد که در آن

اجازه تغییرات فوری نرخ ارسال بر اساس تغییرات طیف، صادر گردیده است. پروتکل CR-TFRC، نرخ ارسال را بر اساس ایجاد تمایز بین حالت تغییر طیف و ازدحام واقعی تنظیم می‌نماید. به‌علاوه، امکان شروع مجدد انتقال، بعد از توقف PU، ایجاد گردیده است. با وجود این، پاسخ TFRC-CR به کاهش سریع در نرخ ارسال گم شدگی بسته بسیار کند می‌باشد و همچنین در زمان تغییر کانال و انتقال به کانال خالی با ظرفیت بالاتر، زمان زیادی برای تنظیم نرخ بر اساس ظرفیت کانال جدید صرف می‌گردد که این امر بر روی مقادیر RTT و RTO تاثیر منفی خواهد گذاشت. پروتکل OHTP^۸ یک پروتکل انتقال ترکیبی فرصت طلبانه می‌باشد که برای رفع چالش کمبود طیف در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی پیشنهاد شده است. در واقع این روش تلفیقی از روش کنترل ازدحام نرخ-محور و پنجره-گرا می‌باشد. در ابتدا از روش پنجره-گرا استفاده می‌گردد و پس از رسیدن اندازه پنجره به میزان آستانه (۷۰ بسته)، به روش نرخ-محور سوئیچ می‌نماید. در [۲۷]، یک روش روش جدید چند کانال در شبکه‌های حسگر رادیوشناختی پیشنهاد گردیده است که هدف آن یافتن تعداد بهینه کانال برای جلوگیری از کاهش گذردهی می‌باشد.

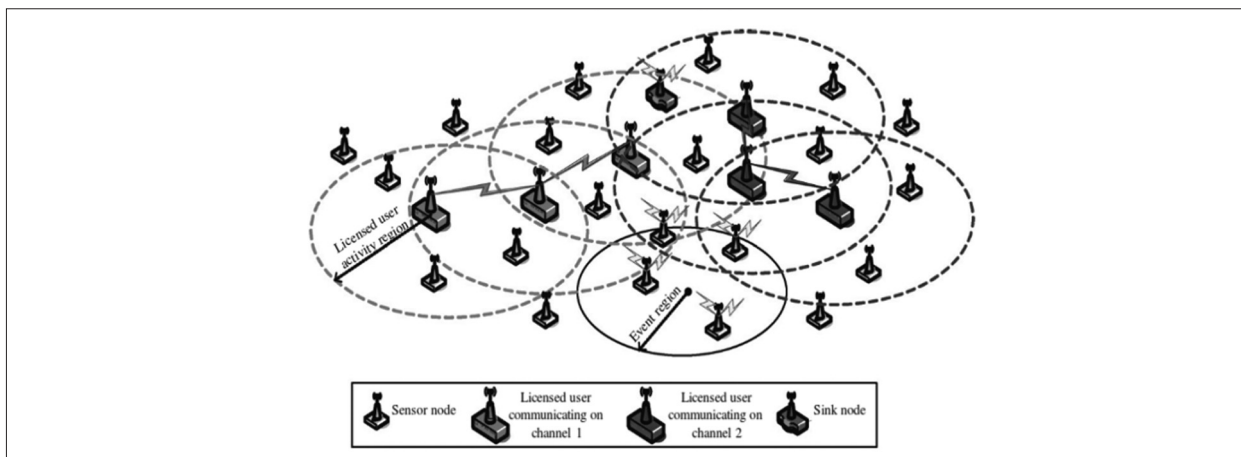
۳- معماری شبکه حسگر رادیوشناختی

شکل ۱ انواع گره‌های حسگر رادیو شناختی موجود در یک معماری ارتباطی حسگر رادیو شناختی را نشان می‌دهد که در آن اطلاعات ارسالی از این گره‌ها به‌صورت چند گام به‌سمت گره سینک منتقل می‌گردد. مهمترین وظیفه هر گره رادیو حسگر بی‌سیم، حس کردن و جمع‌آوری داده از محیط پیرامون خود می‌باشد. گره‌های حسگر رادیو شناختی وظیفه مهم دیگری به نام حس کردن طیف نیز دارند. یعنی همیشه کانال برای آن‌ها آماده نیست، بلکه در زمان دسترسی به کانال، این گره‌ها به‌صورت فرصت طلبانه داده‌ها را به‌سمت گره‌های حسگر رادیو شناختی و

6- TCP Friendly Rate Control

7- TCP Friendly Rate Control for Cognitive Radio networks

8- Opportunistic Hybrid Transport Protocol



شکل ۱: معماری شبکه‌های حسگر رادیو شناختی

محیط‌های تک گام روبرو می‌شود. از عدم ساختار، خود سازماندهی و نبود یک موجودیت مرکزی می‌توان به‌عنوان دلایل اصلی این مشکلات نام برد. این در حالی است که بعضی خصوصیات ذاتی شبکه‌های حسگر رادیو شناختی مثل عدم دستیابی ایستا به کانال اشتراکی و احتمال بالای خطا در مسیریابی به واسطه بازگشت کاربر اولیه به کانال بر شدت این مشکلات افزوده است.

همچنین گره‌ها در زمان حس کردن طیف توانایی ارسال و دریافت بسته را نخواهند داشت، در این حالت مبدا که از وضعیت گره‌های میانی اطلاع ندارد، به‌صورت پی در پی بسته‌های داده را ارسال می‌نماید و این بسته‌ها مجبور به نخیره در گره می‌گردند. اگر مدت زمان حس کردن طیف، طولانی گردد، موجب سرریز در میانگیر گره‌های بعدی و یا ارسال تعداد زیادی از بسته‌ها به گره‌های بعدی، می‌گردد.

۴- مشکل TCP در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی

مطالعات انجام شده برای جلوگیری از کاهش گذردهی TCP با دو نگرش اصلاح و جایگزینی TCP انجام گرفته است. مشکل اصلی که هنوز حل نشده است به ناتوانی TCP در شناخت صحیح ماهیت خطا بازمی‌گردد و بنابراین قادر به پاسخگویی مناسب در برابر خطای به وجود آمده نیست. علاوه بر این پروتکل نمی‌تواند به صورت مؤثر و کارا وضعیت‌های مختلف شبکه را پایش کند؛ تا از این طریق

سرانجام از آنجا به سمت گره سینک ارسال می‌نمایند. گره سینک می‌تواند یا یک گره حسگر ساده بوده و یا دارای قابلیت رادیو شناختی باشد. فرض بر این است که گره سینک دارای توان غیر محدود و تعدادی فرستنده/گیرنده رادیو شناختی می‌باشد تا آن را قادر به ارسال و دریافت همزمان چندین جریان داده سازد.

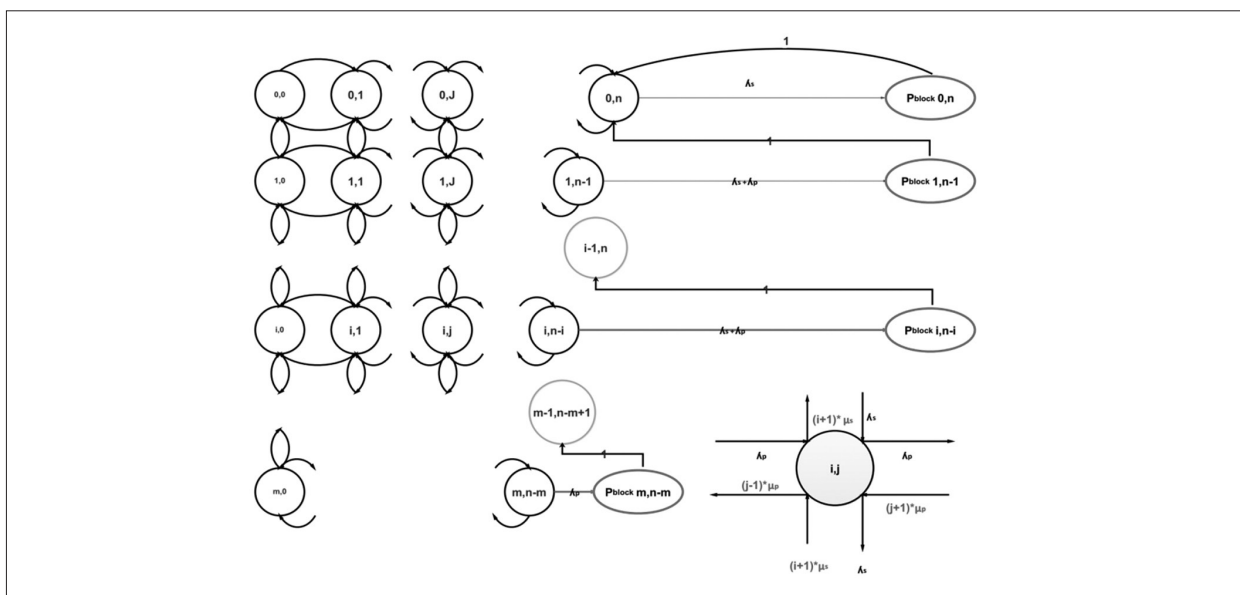
سخت افزار یک گره حسگر رادیو شناختی شامل واحد حس کردن، واحد پردازش، واحد حافظه و واحد فرستنده / گیرنده رادیو شناختی می‌باشد. مهم‌ترین تفاوت بین یک گره حسگر کلاسیک و یک گره حسگر با قابلیت رادیو شناختی در قسمت فرستنده/گیرنده رادیو شناختی قابل مشاهده است.

این واحد گره حسگر را قادر به تطبیق پویای پارامترهای ارتباطی خود مانند توان ارتباطی، فرکانس حامل خود با محیط می‌سازد. گره‌های حسگر رادیو شناختی محدودیت‌های گره‌های حسگر سنتی مانند محدودیت توان مصرفی و حافظه را به ارث می‌برند. روش اشتراک گذاری طیف نیز به صورت روی هم گذاری سیگنال‌ها می‌باشد، یعنی کاربر ثانویه پس از اطمینان از عدم فعالیت کاربر اولیه در کانال، آن را در اختیار گرفته و ارسال خود را انجام می‌دهد [۲۸].

انتظار می‌رود که TCP در این محیط‌ها با مشکلات بیشتری برای فراهم آوردن اتصالات انتها به انتها نسبت به



شکل ۲: مدل‌های مختلف مسدود کردن کاربر ثانویه



شکل ۳: زنجیره مارکوف گسسته در زمان برای n کانال و m کاربر ثانویه

داشته و باید به فکر پروتکل‌های جایگزین بود، اما TCP در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی چالش‌های ذیل را نیز تجربه خواهد کرد.

تاثیر گوش دادن به کانال توسط کاربران ثانویه برای تشخیص کاربر اولیه که در طول این بازه این گره‌ها توانایی مخابره داده و پاسخ به داده را ندارند. این تاخیر ممکن است موجب به‌سر آمدن بازه زمانی گردیده و به تشخیص ازدحام اشتباه منجر گردد.

تاثیر وجود کاربران اولیه، که در این حالت کاربران ثانویه باید زمانی را برای جستجوی کانال خالی دیگر سپری نمایند. این فاز را جابجایی طیف^۱ گویند.

زمانی که کاربر ثانویه از یک کانال با نرخ داده بالا و تاخیر کم به کانال دیگری با خصوصیات متضاد جابجا می‌شود.

بتواند به سرعت اندازه پنجره خود را متناسب با این شرایط پیش آمده تنظیم کند. از طرف دیگر TCP برای شناسایی ازدحام از گم شدن یا حذف بسته‌ها در طول مدت انتقال استفاده می‌کند، بنابراین مقداری از زمان و انرژی صرف انتقال مجدد این بسته‌ها می‌شود و این مسئله کاهش شدید کارایی را در پی دارد. تمهید قبلی و سنتی برای کنترل ازدحام این بود که به‌طور یکنواخت از تنظیمات رو به پایین پنجره ازدحام در موقع انتقال مجدد استفاده شود که از TCP استاندارد الگوبرداری شده بود، ولی این روش لزوماً در شبکه‌های بی‌سیم جوابگو نیست. توجه داشته باشید که عملیات مکمل در کنار تنظیم پنجره ازدحام تنظیم تایم‌اوت می‌باشد. افزایش زمان تایم‌اوت موجب می‌شود تا TCP نتواند بموقع و سریع شرایط سالم و عاری از خطا را شناسایی کند و در نتیجه بازیابی فوری انجام نمی‌شود. به‌رحال TCP در شبکه‌های بی‌سیم کارایی پایینی

9- spectrum hand off

در واقع TCP در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی به دلیل چالش‌هایی چون رفتار کاربران اولیه، شنود طیف و جابجایی طیف نمی‌تواند گزینه مناسبی برای لایه انتقال باشد و باید به دنبال راه‌حل‌های جدیدی در جهت بهبود آن و یا ارائه پروتکل‌های جدیدی برای سازگاری با این نوع از شبکه‌ها بود. الگوی پیشنهادی ما تغییر پروتکل لایه انتقال و تطبیق آن با طبیعت پویای شبکه‌های رادیو شناختی می‌باشد. اولین قدم در این راه، لزوم شناسایی کاربران اولیه در کانال می‌باشد و در مرحله بعد ارائه مدلی برای تفاوت قائل شدن بین گم شدن بسته در نتیجه جابجایی کانال و گم شدن بسته به واسطه ازدحام می‌باشد. در واقع تفاوت قائل شدن بین تشخیص ازدحام درست و غلط ضروری به نظر می‌رسد.

همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، شبکه پیشنهادی یک شبکه حسگر بی‌سیم با قابلیت رادیو شناختی می‌باشد که در آن کاربران ثانویه با استفاده از قابلیت اشتراک طیف به صورت روی هم گذاری و با اولویت بالاتر دستیابی کاربران اولیه به طیف می‌باشد. در این روش اشتراک‌گذاری برای هر باند فرکانسی حداقل یک کاربر اولیه در نظر گرفته شده است. کاربر ثانویه پس از اطمینان از عدم فعالیت کاربر اولیه می‌تواند ارسال خود را انجام دهد. در واقع کاربران ثانویه با اولویت ارسال پایین ارسال خود را انجام می‌دهند.

به علت اولویت پایین ارسال داده توسط کاربران ثانویه نسبت به کاربر اولیه، ارسال اطلاعات توسط آن‌ها در وضعیت مسدود قرار می‌گیرد. حالت‌های مسدود عبارتند از:

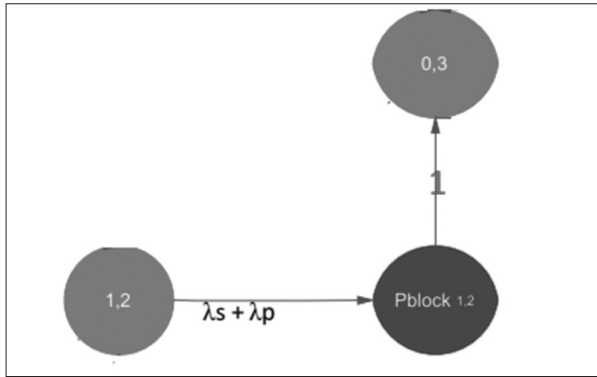
۱- وقتی کاربر ثانویه بعد از حس کردن کانال هیچ کانال خالی پیدا نکند. شکل ۲- (a)

۲- وقتی کاربر اولیه دوباره فعال گردد. در این حالت کاربر ثانویه مجبور به ترک کانال و یافتن کانال خالی دیگر بوده و در صورت عدم وجود کانال خالی، مجبور به انتظار برای پایان اتصال کاربر اولیه می‌باشد. شکل ۲- (b)

شکل ۲، حالت‌های مختلف مسدود کردن کاربران ثانویه را برای کانال نشان می‌دهد. طبق تعریف فوق از حالت مسدودی کاربران ثانویه، این کاربران مجبور به انتظار برای یافتن کانال خالی دیگر و یا انتظار برای اتمام فعالیت کاربران اولیه می‌باشند. چالش فوق اثرات قابل ملاحظه‌ای در کاهش گذردهی اتصالات پروتکل لایه انتقال خواهد گذاشت. مسدود شدن انتقال داده توسط کاربران ثانویه باعث تشخیص اشتباه ازدحام در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی می‌گردد. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم کلاسیک معیارهای مختلفی چون طول صف، نرخ ارسال داده، تاخیر و تفاوت در نرخ ارسال و دریافت داده، برای تشخیص ازدحام در نظر گرفته می‌شود. اما همه این معیارهای تشخیص ازدحام در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی چالش دیگری را در کاهش گذردهی اتصالات TCP ایجاد می‌نمایند و علت این امر وجود خطاهای پیش‌بینی نشده‌ای به نام خطای مسدودی به واسطه حضور کاربران اولیه در کانال و یا پر بودن کانال می‌باشد که باعث فعال شدن اشتباه همه پارامترهای تشخیص ازدحام می‌گردد. مثلاً جابجایی کانال، ممکن است باعث گم شدن بسته به واسطه سرریز میانگیر به خاطر انباشته شدن بسته‌ها به دلیل قطع تناوبی اتصال و همچنین دور ریخت تعدادی بسته گردد. این گم شدن نامطلوب بسته‌ها باعث تشخیص اشتباه ازدحام و کاهش گذردهی به واسطه شروع مجدد اتصالات از اندازه پنجره برابر یک می‌گردد. همچنین اگر طول صف به عنوان نشانه تشخیص ازدحام در نظر گرفته شود، پر شدن ناگهانی صف به دلیل مسدود شدن اتصالات کاربران ثانویه و انباشته شدن بسته‌ها در میانگیر به عنوان نشانه‌ای از ازدحام، به مبدا اطلاع رسانی می‌گردد و مبدا مجبور به کاهش نرخ ارسال می‌گردد.

۵- ارائه مدل مارکوف زمان گسسته پیشنهادی

به دلیل مشکلات شرح داده شده در بخش قبلی و کاهش نرخ گذردهی TCP تخمین احتمال مسدود شدن



شکل ۴: انتقال به حالت مسدودی

برابر p_λ و s_λ می‌باشد و نرخ سرویس نیز به ترتیب برابر نرخ های متوسط μ_p و μ_s می‌باشد.

شکل ۳، زنجیره مارکوف گسسته در زمان را برای حالتی n کانال نشان می‌دهد. مجموعه کل حالت‌های این زنجیره مارکوف به صورت زیر بیان می‌گردد.

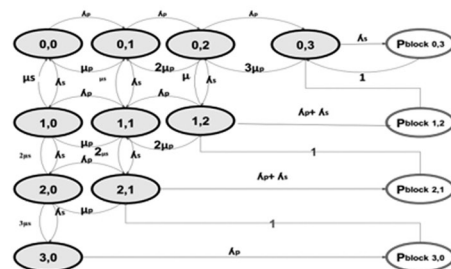
$$S = \{(i, j), \dots, block_{(i, n-i)}\} \quad (1)$$

هر حالت زوج (i, j) نشان داده می‌شود که i نشان دهنده تعداد کاربران اولیه و j نشان دهنده تعداد کاربران ثانویه می‌باشد. به طور مثال حالت $(3, 1)$ نشان دهنده حالتی است که ۳ کاربر ثانویه و یک کاربر اولیه در حالت ارسال داده در ۴ کانال مختلف می‌باشند. این فرآیند ممکن است در یکی از حالت‌های ذکر شده شروع شده و به سمت حالت همسایه به صورت موفقیت آمیزی حرکت نماید. هر حرکت یک گام^{۱۰} نام دارد. ترافیک کاربران اولیه و ثانویه از یک فرآیند نرخ ورود^{۱۱} و سرویس^{۱۲} بواسون با نرخ به ترتیب λ_p ، λ_s و μ_p پیروی می‌کند. احتمال انتقال از یک حالت به حالت دیگر را احتمال انتقال^{۱۳} گویند. حالت $P_{block}(i, n-i)$ ، حالت مسدودی کاربران ثانویه در شبکه می‌باشد که به دلایل فعالیت مجدد کاربر ثانویه در کانال و همچنین عدم وجود کانال خالی رخ می‌دهد. $\pi_{i,j}$ احتمال حالت پایدار حالت (i, j) است و به معنای آن است که در این حالت "i" کاربر ثانویه و "j" کاربر اولیه در n کانال فعال و در حال ارسال داده باشند. شکل ۳، زنجیره مارکوف پیشنهادی n کانال را نشان می‌دهد.

10- step
11- arrival
12- service
13- transition probability

کاربران ثانویه در شبکه امری ضروری به نظر می‌رسد. این بخش، قصد داریم با استفاده از یک زنجیره مارکوف گسسته در زمان، احتمال مسدود شدن اتصالات کاربران ثانویه را اندازه‌گیری نماییم و از آن برای اندازه‌گیری گذردهی استفاده نماییم.

مدل مارکوف پیشنهادی رفتار کاربران ثانویه را در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی تحلیل کرده و احتمال مسدود شدن کاربران ثانویه در شبکه (P_{block}) را محاسبه می‌نماید. در این مدل تعداد کانال‌های موجود برابر n خواهد بود و به ازای هر کانال یک کاربر اولیه وجود خواهد داشت. فرض بر این است که ورود کاربران اولیه به طیف مستقل از یکدیگر بوده و توزیع بازه زمانی بین ورود آن‌ها از توزیع نمایی بواسون پیروی می‌کند. نحوه فعال و یا غیرفعال بودن کاربران اولیه در هر کانال بر اساس مدل تولد/مرگ با نرخ مرگ β و با نرخ تولد α مدل می‌شود. هر کاربر اولیه به احتمال P_{ON} فعال گردیده و به احتمال P_{OFF} از کانال خارج خواهد شد. کانال تنها زمانی توسط کاربر ثانویه مورد استفاده قرار خواهد گرفت که بعد از حس کردن کانال، مشخص گردد که این کانال خالی بوده و هیچ کاربر اولیه ای در کانال نباشد. در مدل پیشنهادی ما کاربر اولیه برای ورود به کانال دارای بالاترین اولویت بوده و نیاز به هیچگونه حس کردن کانالی برای تشخیص حضور کاربر ثانویه در کانال ندارد. در واقع اگر کاربر اولیه قصد فعالیت دوباره و استفاده از کانالی را که توسط کاربر ثانویه استفاده می‌شود داشته باشد، بر اساس مدل پیشنهادی، کاربر ثانویه در وضعیت مسدود قرار گرفته و باید سریعاً کانال را ترک نماید. کاربر ثانویه برای دستیابی به یکی از N کانال مجبور به حس کردن کانال‌ها و یافتن یکی از کاربران خالی می‌باشد که این مرحله دقیق و بدون هیچگونه خطایی فرض گردیده است. همچنین احتمال تشخیص نادرست کاربر اولیه (P_f) برابر صفر خواهد بود. نرخ ورود داده توسط کاربران اولیه و ثانویه، از یک فرآیند ورودی بواسون پیروی کرده و با نرخ متوسط به ترتیب



states	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(3,0)	block(0,3)	l
(0,0)	0	λ_p	0	0	λ_s	0	0	0	0	0	0	0
(0,1)	μ_p	0	λ_p	0	0	λ_s	0	0	0	0	0	0
(0,2)	0	$2\mu_p$	0	λ_p	0	0	λ_s	0	0	0	0	0
(0,3)	0	0	$3\mu_p$	0	0	0	0	0	0	0	0	λ_s
(1,0)	μ_s	0	0	0	0	λ_p	0	λ_s	0	0	0	0
(1,1)	0	μ_s	0	0	μ_p	0	λ_p	0	λ_s	0	0	0
(1,2)	0	0	μ_s	0	0	$2\mu_p$	0	0	0	0	0	0
(2,0)	0	0	0	0	$2\mu_s$	0	0	0	λ_p	λ_s	0	0
(2,1)	0	0	0	0	0	$2\mu_s$	0	μ_p	0	0	0	0
(3,0)	0	0	0	0	0	0	0	$3\mu_s$	0	0	0	λ_p
block(0,3)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
block(1,2)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
block(2,1)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
block(3,0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

شکل ۵: مدل مارکوف پیشنهادی و ماتریس انتقال آن حالت برای ۳ کانال

و با هر درخواست جدیدی از کاربر ثانویه این کاربر در حالت مسدود قرار می‌گیرد. حرکت از هر حالت به سمت حالت P_{block} به دلایل ذیل اتفاق خواهد افتاد:

اگر کاربر ثانویه جدید تقاضای کانال نماید، به علت پر بودن کانال مسدود می‌شود.

اگر کاربر اولیه جدید تقاضای فعالیت دوباره داشته باشد، کاربر ثانویه‌ای که کانال را در اختیار دارد مسدود شده و باید جای خود را به کاربر اولیه بدهد که این حالت را در مدل مارکوف به صورت شکل ۴ نشان می‌دهند.

شکل ۴، در حالی که هر سه کانال توسط یک کاربر ثانویه و ۲ کاربر اولیه پر می‌باشد (حالت (۱,۲))، اگر کاربر اولیه با نرخ ورودی λ_p وارد کانال می‌شود، کاربر ثانویه به علت اولویت پایین تر مجبور به ترک کانال شده و وارد حالت مسدودی (P_{block}) می‌شود و سپس با احتمال یک، به حالت (۰,۳) منتقل می‌گردد. همچنین زمانی که در حالت (۱,۲) باشیم و یک کاربر ثانویه با نرخ ورودی λ_p تقاضای ورود به کانال بدهد، به دلیل پر

T ماتریس انتقال اولیه بوده و P_{ij} احتمال انتقال از حالت i به حالت j می‌باشد. بر اساس شکل ۵، احتمال $p_{(0,0) \rightarrow (0,1)}$ انتقال از حالت (۰,۰) به حالت (۱,۰) با نرخ ورود λ_p می‌باشد. فرآیند حالت‌های انتقال از یک حالت به حالت همسایه دیگر در زنجیره متناهی مارکوف با استفاده از ماتریس $T_{m \times n}$ نشان داده می‌شود. ماتریس انتقال T با جایگذاری احتمال‌های مختلف انتقال به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$T = \begin{bmatrix} P_{(0,0) \rightarrow (0,1)} & P_{(0,1) \rightarrow (0,2)} & \dots & P_{(0,n-1) \rightarrow (0,n)} & P_{(0,n) \rightarrow block(0,n)} \\ P_{(1,0) \rightarrow (1,1)} & P_{(1,1) \rightarrow (1,2)} & \dots & P_{(1,n-2) \rightarrow (1,n-1)} & P_{(1,n-1) \rightarrow block(1,n-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ P_{(m,0) \rightarrow (m,1)} & P_{(m,1) \rightarrow (m,2)} & \dots & P_{(m,n-m-1) \rightarrow (m,n-m)} & P_{(m,n-m) \rightarrow block(m,n-m)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

مدل پیشنهادی توسط یک زنجیره مارکوف زمان گسسته و بردار توزیع حالت پایدار $\pi(i, z)$, $i = 0, \dots, M$, $z = 0, \dots, N$ مدل می‌گردد که i و z به ترتیب تعداد کاربران ثانویه و اولیه می‌باشند. هر $\pi(i, z)$ به عنوان احتمال حالت پایدار (i, z) می‌باشد. $\pi_{block(i, n-i)}$ احتمال حالت پایدار حالت $block(i, n-i)$ در زنجیره مارکوف می‌باشد و به معنای آن است که در شبکه‌ای با n کانال، i کاربر ثانویه، i کانال را در اختیار داشته و n-i کانال دیگر در اختیار کاربران اولیه می‌باشد

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

مقادیر	پارامترهای شبیه‌سازی
500*500 m ²	Network Area size
1,2,3,4,5	Number of channels
1	Number of PU per channel
AODV	Routing algorithm
TCP	Transport protocol
CBR	Traffic type
512 bytes	Link layer frame size
512 bytes	Packet size
10 ⁻⁶	Packet error probability
1 Mbps	Channel bandwidth
Drop tail	Queuing model
1	α
1	β
.1,.2,3,4,5	λ_p
2	N_f
5 msec	T_{sf}
0.04 s	T_p
0.02 s	To (spectrum sensing duration)

$$\pi_{block\ 3.0} = (\pi_{3.0} * \lambda_p)$$

And

$$\begin{aligned} &\pi_{0,0} + \pi_{0,1} + \pi_{0,2} + \pi_{0,3} + \\ &\pi_{1,0} + \pi_{1,1} + \pi_{1,2} + \pi_{2,0} + \pi_{2,1} + \pi_{3,0} + \\ &\pi_{block\ 0.3} + \pi_{block\ 1.2} + \pi_{block\ 2.1} + \\ &\pi_{block\ 3.0} = 1 \end{aligned}$$

π_{SBL} احتمال کل توزیع حالت پایدار برای حالت‌های

مسدود شدن کاربران ثانویه است و به صورت عبارت ۶ محاسبه می‌گردد.

$$\pi_{SBL} = \sum_{i=0}^n \pi_{block(i, n-i)} \quad (6)$$

مثلاً، برای مدل ۳ کانال به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\pi_{SBL} = \pi_{block(0,3)} + \pi_{block(1,2)} + \pi_{block(2,1)} + \pi_{block(3,0)} \quad (7)$$

شکل ۵، زنجیره مارکوف و ماتریس گذر مدل پیشنهادی را برای ۳ کانال نشان می‌دهد.

۶- تحلیل احتمال مسدودی کاربر ثانویه

در این بخش قصد داریم بر اساس ماتریس گذر به دست آمده از بخش قبلی مقدار P_b را محاسبه نموده

بودن کانال، و وارد حالت مسدودی ($P_{block\ 1,2}$) می‌شود. مدل مارکوف زمان گسسته دارای تعداد حالات محدود و غیردوره‌ای است، لذا یک توزیع حالت پایدار یکتا دارد. مبتنی بر زنجیره مارکوف زمان گسسته، برای به دست آوردن بردار توزیع حالت پایدار π دستگاه معادله به صورت زیر تعریف می‌گردد:

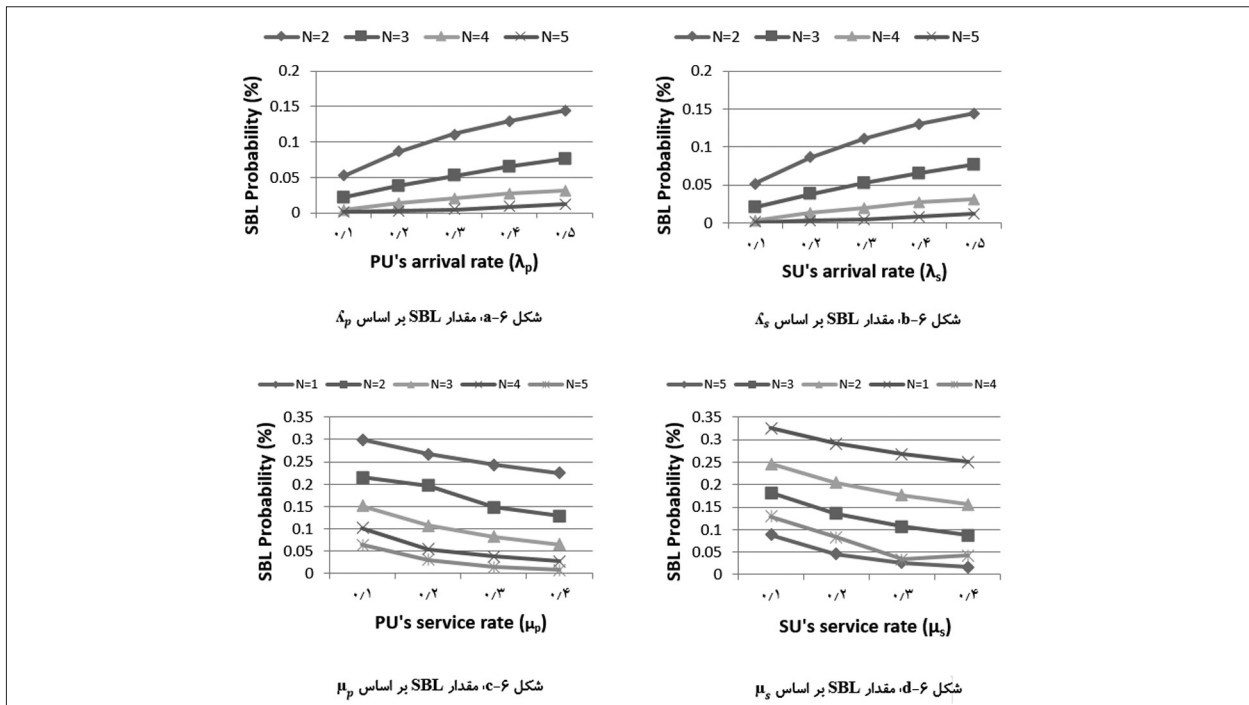
$$\pi_{i,j} = \sum_{m,n} \pi_{m,n} * (p(m,n) \rightarrow p(i,j)), i = 0, \dots, M, j = 0, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{0 \leq i \leq m} \sum_{0 < j < n} \pi(i,j) = 1 \quad (4)$$

که در عبارت بالا $\pi_{(i,j)}$ برابر مجموع احتمال حالت پایدار کلیه حالت‌هایی که وارد حالت (i,j) می‌گردند در احتمال انتقال آن‌ها می‌باشد. همچنین بر اساس مدل مارکوف زمان گسسته، مجموع π کلیه حالت‌ها نیز باید برابر یک باشد.

شکل ۵، زنجیره مارکوف پیشنهادی برای ۳ کانال و ماتریس انتقال آن را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، حالت‌های $(1,0)$ و $(0,1)$ به ترتیب با احتمال انتقال μ_s و μ_p به سمت حالت $(0,0)$ حرکت می‌کنند. به طور مثال در مدل ۳ کانال که دارای ۳ کاربر ثانویه و ۳ کاربر اولیه می‌باشد، بردار احتمال توزیع پایدار π به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} \pi_{0,0} &= (\pi_{0,1} * \mu_p) + (\pi_{1,0} * \mu_s) \\ \pi_{0,1} &= (\pi_{0,0} * \lambda_p) + (\pi_{0,2} * 2\lambda_p) \\ &\quad + (\pi_{1,1} * \mu_s) \\ \pi_{0,2} &= (\pi_{0,1} * \lambda_p) + (\pi_{0,3} * 3\lambda_p) \\ &\quad + (\pi_{1,2} * \mu_s) \\ \pi_{0,3} &= (\pi_{0,2} * \lambda_p) + (\pi_{block\ 0.3} * 1) \\ &\quad + (\pi_{block\ 1.2} * 1) \\ \pi_{1,0} &= (\pi_{0,0} * \lambda_s) + (\pi_{1,1} * \mu_p) \\ &\quad + (\pi_{2,0} * 2\mu_s) \\ \pi_{1,1} &= (\pi_{0,1} * \lambda_s) + (\pi_{1,0} * \lambda_p) \\ &\quad + (\pi_{1,2} * 2\mu_p) + (\pi_{2,1} * 2\mu_s) \\ \pi_{1,2} &= (\pi_{0,2} * \lambda_s) + (\pi_{1,1} * \lambda_p) \\ &\quad + (\pi_{block\ 2.1} * 1) \\ \pi_{2,0} &= (\pi_{1,0} * \lambda_s) + (\pi_{2,1} * \mu_p) \\ &\quad + (\pi_{3,0} * 3\mu_s) \\ \pi_{2,1} &= (\pi_{1,1} * \lambda_s) + (\pi_{2,0} * \lambda_p) \\ &\quad + (\pi_{block\ 3.0} * 1) \\ \pi_{3,0} &= (\pi_{2,0} * \lambda_s) \\ \pi_{block\ 0.3} &= (\pi_{0,3} * \lambda_s) \\ \pi_{block\ 1.2} &= (\pi_{1,2} * (\lambda_s + \lambda_p)) \\ \pi_{block\ 2.1} &= (\pi_{2,1} * (\lambda_s + \lambda_p)) \end{aligned} \quad (5)$$



شکل 6-b، مقدار P_b را بر اساس λ_s و بر اساس

پارامترهای زیر نشان می‌دهد:

۱. $0.1 < \lambda_s < 0.5$
۲. $\lambda_p = 0.4$
۳. $\mu_s = 0.6$
۴. $\mu_p = 0.4$
۵. $n = 1, 2, 3, 4, 5$

۶. تعداد کاربران اولیه = تعداد کاربران ثانویه

با افزایش نرخ ورود کاربران ثانویه به ازای هر n ، میزان P_b نیز افزایش می‌یابد. این یک امر طبیعی است که با افزایش ترافیک کاربران ثانویه رقابت آن‌ها با یکدیگر برای به دست آوردن کانال خالی، احتمال مسدودی آن‌ها نیز افزایش یابد. همچنین هر چه تعداد کانال‌ها کمتر باشد نرخ افزایش مسدودی نیز سریع‌تر خواهد بود.

شکل زیر میزان احتمال مسدودی کاربران ثانویه در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی را بر اساس پارامترهای

زیر نشان می‌دهد.

۱. $0.1 < \mu_p < 0.4$
۲. $\lambda_p = 0.4$
۳. $\lambda_s = 0.4$
۴. $\mu_s = 0.6$
۵. $n = 1, 2, 3, 4, 5$

۶. تعداد کاربران اولیه = تعداد کاربران ثانویه

و میزان تاثیر آن بر روی کارایی شبکه را تحلیل نماییم.

شکل 6-a مقدار P_b را بر اساس λ_p به ازای تعداد کانال

مختلف ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد. نتایج حاصل بر اساس پارامترهای زیر حاصل گردیده‌اند.

۱. $0.1 < \lambda_p < 0.4$
۲. $\lambda_s = 0.4$
۳. $\mu_s = 0.6$
۴. $\mu_p = 0.4$
۵. $n = 1, 2, 3, 4, 5$

۷. تعداد کاربران اولیه برابر تعداد کاربران ثانویه می‌باشد.

از شکل 6-a، این چنین برداشت می‌گردد که در هر

منحنی، با افزایش نرخ ورود میزان P_{block} افزایش می‌یابد.

این نتایج را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که با افزایش

نرخ ورودی، میزان ترافیک و فعالیت کاربران اولیه در هر

کانال افزایش یافته و این امر باعث مسدود شدن کاربران

ثانویه بیشتری می‌گردد و در نهایت P_{block} افزایش

می‌یابد. همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش تعداد کانال

نرخ P_{block} کاهش می‌یابد، این کاهش بدین دلیل است که

هرچه تعداد کانال‌ها افزایش یابد، شانس کاربران اولیه

برای حضور در کانال و ارسال داده نیز افزایش می‌یابد و

با کاهش مسدودی کاربران اولیه مواجه می‌شویم.

همان‌گونه که در شکل ۶-۵، به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد، در هر اندازه کانال، با افزایش نرخ سرویس کاربران اولیه، P_b کاهش می‌یابد. در توجیه این امر می‌توان گفت که با افزایش نرخ سرویس کاربران اولیه، زمان در اختیار داشتن کانال توسط هریک از آن‌ها کاهش یافته و شانس کاربران ثانویه برای در اختیار داشتن کانال افزوده می‌شود و آن‌ها می‌توانند زمان بیشتری کانال را در اختیار بگیرند و با مسدودی کمتری روبرو شوند، چرا که با کانال‌های خالی بیشتری روبرو خواهند شد. در نهایت شکل ۶-۵، نرخ P_b را بر اساس نرخ سرویس کاربران ثانویه متنوع و با استفاده از پارامترهای زیر نشان می‌دهد:

۱. $1 < \mu_s < 4$
۲. $\lambda_p = 4$
۳. $\lambda_s = .4$
۴. $\mu_p = .4$
۵. $n=1,2,3,4,5$

۶- تعداد کاربران اولیه = تعداد کاربران ثانویه

کاهش مقدار P_b با افزایش مقدار نرخ سرویس کاربران ثانویه بدین دلیل است که هرچه کاربران ثانویه بتوانند داده‌ها را با نرخ سریع‌تری سرویس دهند، شانس کاربران دیگر در یافتن کانال خالی افزوده شده و احتمال مسدودی آن‌ها کاهش می‌یابد.

۷- الگوریتم پیشنهادی T-CRSN

در این بخش T-CRSN را به‌عنوان الگوریتم کنترل ازدحام پیشنهادی برای شبکه‌های حسگر رادیو شناختی معرفی خواهیم کرد. هدف از این الگوریتم افزایش کارایی لایه انتقال در این نوع از شبکه‌ها است. فرض بر این است که فعالیت کاربران اولیه از مدل مارکوف دو حالتی تولد/مرگ پیروی کرده و در هنگام ورود یک کاربر اولیه به کانال، کاربر ثانویه مجبور به ترک کانال می‌باشد. شکل ۷، تاثیر رفتار کاربران اولیه در گذردهی TCP را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل به‌طور واضح مشخص می‌باشد، گذردهی TCP در زمان فعالیت کاربران اولیه به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. به‌علاوه TCP ممکن است تاخیر

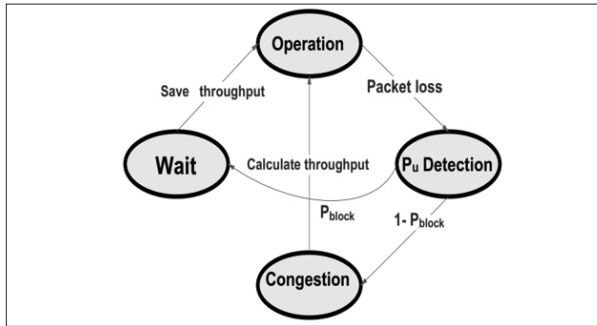
زیادی را به‌واسطه تنظیم مجدد اندازه پنجره ازدحام در زمان تشخیص کاربر اولیه متحمل گردد که این عامل نیز در کاهش نرخ گذردهی موثر می‌باشد. در واقع، کاربران اولیه در هنگام ورود به کانال، با تحمیل بسته‌های گم شده فراوان به کاربران ثانویه که به اشتباه به‌عنوان ازدحام تشخیص داده می‌شوند، باعث این کاهش گذردهی می‌گردند. بنابراین یک پروتکل کارا در لایه انتقال با تشخیص گم شدن بسته ناشی از ازدحام در مقابل گم شدن بسته ناشی از فعالیت کاربران اولیه که در اینجا SBL نامیده می‌شود، تا حد زیادی از کاهش گذردهی جلوگیری خواهد کرد. شکل ۸، نمودار ماشین حالت متناهی ۱۴ پروتکل پیشنهادی T-CRSN را نشان می‌دهد که در آن با استفاده از احتمال SBL به‌دست آمده در بخش قبلی، توانایی تشخیص بین گم شدن بسته ناشی از ازدحام و گم شدن ناشی از حضور کاربران اولیه در کانال حاصل می‌گردد.

زمانی که یک کاربر اولیه وارد کانال می‌گردد، کاربر ثانویه باید کانال را ترک نماید. در نتیجه، قطع اتصال ناشی از ترک کانال عاملی برای انقضای زمان RTO گردیده و در این زمان الگوریتم کنترل ازدحام به اشتباه اندازه پنجره ازدحام را به مقدار یک کاهش می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی در این لحظه عملکرد بهتری داشته و از تشخیص اشتباه ازدحام جلوگیری می‌نماید. در T-CRSN، زمانی که به واسطه حضور کاربر اولیه در کانال RTO منقضی می‌گردد و یا رخداد گم شدن بسته اتفاق می‌افتد، به‌سرعت الگوریتم کنترل ازدحام فعال نمی‌گردد. بلکه این پروتکل نرخ ارسال را با در نظر گرفتن تفاوت بین گم شدن بسته ناشی از ازدحام و SBL تنظیم می‌نماید. شکل ۸، T-CRSN را با استفاده از یک ماشین حالت متناهی توصیف می‌کند.

حالت PU detection: در این حالت از [29] FCC^{۱۴} برای تشخیص حضور کاربران اولیه در کانال استفاده می‌کنیم. در واقع پایگاه داده FCC دارای اطلاعاتی در مورد فعالیت کاربر اولیه، محل حضور کاربر اولیه و میزان توان

14- Finite State Machine (FSM)

15- Federal Communication Commission



شکل ۸: ماشین حالت منتهای پروتکل T-CRSN

لایه انتقال انتخاب گردیده است.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{TCP packet size}}{\text{RTT}} \sqrt{\frac{3}{2 * \text{Packet loss probability}}} \quad (۸)$$

مقدار RTT زمان رفت و برگشت بسته است که بر اساس عبارت ۹ محاسبه می‌گردد [۳۱].

$$\text{RTT} = 2T_{sr} + nT_p * N_f + T_o + T_w \quad (۹)$$

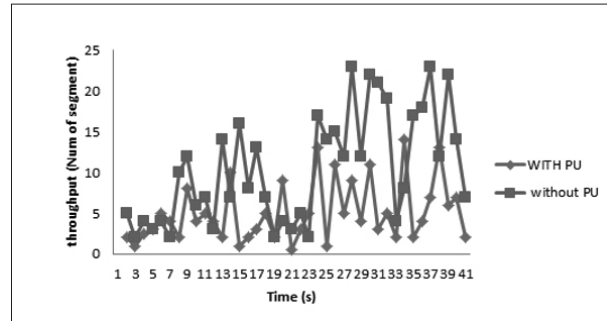
که T_{sr} زمان تحویل بسته، N_f تعداد قاب‌های دوباره ارسال شده به ازای هر بسته TCP، N تعداد میان قاب‌های T_p تاخیر پروتکل کنترل جریان ARQ و T_o مدت زمان حس کردن کانال می‌باشد. T_w میانگین تاخیر تحمیلی به بسته‌های کاربر ثانویه زمانی که کانالی فراهم نمی‌باشد است و به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$T_w = \frac{T_i [p_{blocking} + P_f (1 - P_{blocking})]}{1 - [p_{blocking} + P_f (1 - P_{blocking})]} \quad (۱۰)$$

که T_i بازه زمانی بین دو زمان حس کردن متوالی کانال، P_f احتمال هشدار نادرست است. $P_{Blocking}$ همان احتمال SBL محاسبه شده در بخش ۵ با استفاده از زنجیره مارکوف زمان گسسته پیشنهادی می‌باشد. در صورتی که هیچ کاربر اولیه در کانال حضور نداشته باشد، به کاربر ثانویه اجازه استفاده از کانال داده می‌شود. در غیر این صورت باید کانال دیگری را برای ادامه فعالیت بیابد.

۸- ارزیابی و مقایسه الگوریتم پیشنهادی

در این بخش کارایی الگوریتم پیشنهادی را بر اساس سناریوی توصیف شده در بخش ۳، بررسی می‌نمائیم. همچنین، به منظور صحت سنجی پروتکل پیشنهادی T-CRSN با پروتکل‌های سنتی لایه انتقال مانند TFRC-CR، TFRC، OHTP و پروتکل لایه انتقال TCP-Reno مورد مقایسه



شکل ۷: میزان گذردهی TCP با/بدون حضور کاربران اولیه

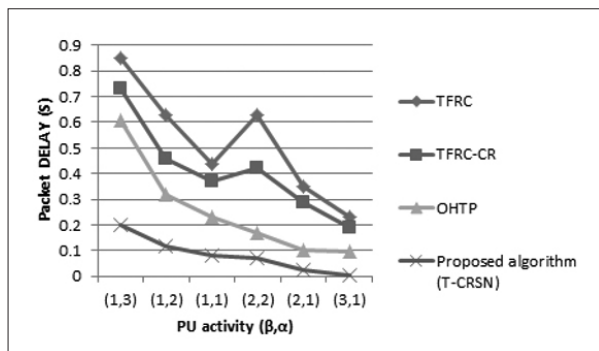
مخابراتی کانال است. گره مبدا TCP در صورت وقوع رخداد گم شدن بسته، درخواستی را در مورد وضعیت کاربر اولیه در کانال به FCC ارسال می‌نماید تا از حضور یا عدم حضور کاربر اولیه در کانال مطمئن گردد. اگر حضور کاربر اولیه در کانال توسط FCC تایید گردد، پروتکل وارد حالت wait می‌گردد، در غیر این صورت این رخداد گم شدن، ازدحام تشخیص داده می‌شود و پروتکل وارد حالت congestion می‌گردد. همچنین نرخ جدید گذردهی توسط عبارت ۷ محاسبه می‌شود که تقریباً نرخ ارسال به نصف کاهش می‌یابد.

حالت Congestion: زمان تشخیص ازدحام، نرخ جدید گذردهی بر اساس مقدار SBL شرح داده شده در بخش ۵، محاسبه می‌شود.

حالت Wait: زمانی که رخداد گم شدن بسته در حالت PU detection به دلیل حضور کاربر اولیه در کانال تشخیص داده شد، پروتکل وارد این حالت می‌شود. در این حالت، میزان جاری گذردهی ذخیره شده و کاهش نمی‌یابد. پروتکل تا زمانی که کاربر اولیه در کانال باشد، در این حالت باقی می‌ماند و بعد از آن وارد حالت operation می‌شود.

حالت Operation: این حالت، حالت نرمال شبکه است که در آن هیچ رخداد گم شدن بسته‌ای اتفاق نمی‌افتد. پروتکل تا زمانی که هیچ رخداد گم شدن بسته‌ای اتفاق نیفتد در این حالت باقی می‌ماند.

تا کنون چندین فرمول برای تخمین گذردهی TCP ارائه گردیده است. از میان این فرمول‌ها، عبارت ۸ [۳۰]، به عنوان یک فرمول ساده برای محاسبه گذردهی ارتباطات



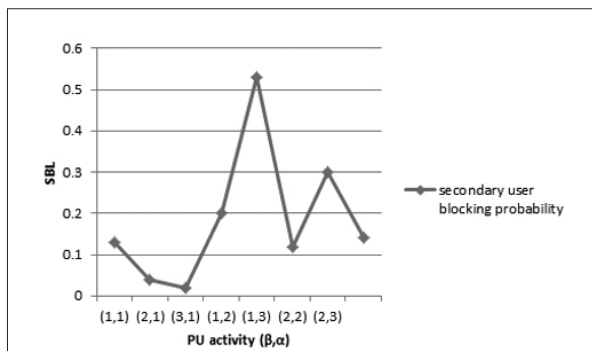
شکل ۱: مقدار تاخیر میانگین انتها به انتها بر اساس فعالیت کاربران اولیه (β, α)

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترهای شبیه‌سازی	مقادیر
Network Area size	500*500 m2
Number of channels	1,2,3,4,5
Number of PU per channel	1
Routing algorithm	AODV
Transport protocol	TCP
Traffic type	CBR
Link layer frame size	512 bytes
Packet size	512 bytes
Packet error probability	10-6
Channel bandwidth	1 Mbps
Queuing model	Drop tail
α	1
β	1
λp	.1, .2, .3, .4, .5
Nf	2
Tsr	5 msec
Tp	0.04 s
To (spectrum sensing duration)	0.02 s

اساس نتایج به‌دست آمده در شکل ۱۰، هرگاه نرخ خروج بزرگتر و یا مساوی نرخ ورود باشد، احتمال SBL کاهش می‌یابد. با کاهش نرخ ورود کاربران اولیه، کاربران ثانویه زمان بیشتری برای انتقال پیدا نموده و تعداد گم شدن بسته به دلیل قطع ارتباط کاربران اولیه کاهش می‌یابد.

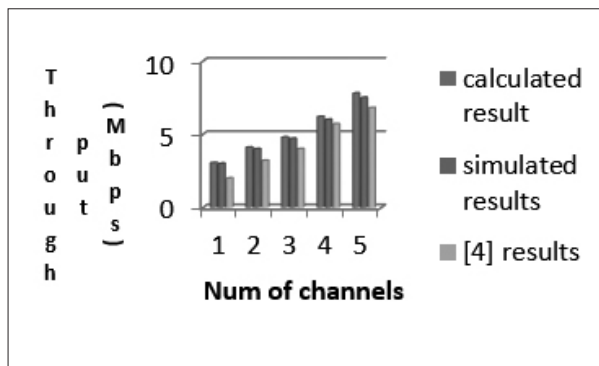
شکل ۱۱، مقدار متوسط تاخیر انتها به انتها را بر اساس الگوریتم پیشنهادی بر اساس فعالیت کاربران اولیه در مقایسه با پروتکل‌های سنتی لایه انتقال در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، الگوریتم پیشنهادی T-CRSN دارای کمترین تاخیر خواهد



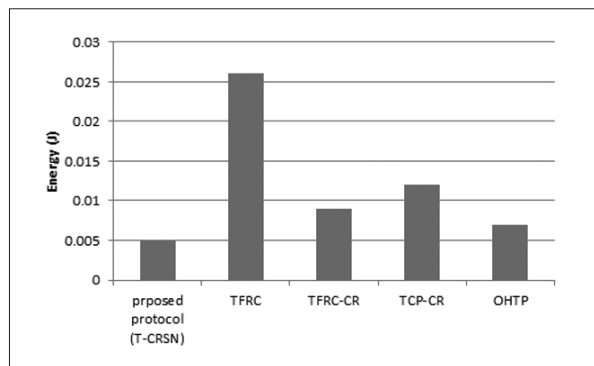
شکل ۱۰: احتمال SBL بر اساس فعالیت کاربران اولیه (β, α)

قرار خواهد گرفت. در پیاده‌سازی سناریوی پیشنهادی از شبیه‌ساز NS2.31 استفاده شده است. تنظیمات مربوط به شبیه‌سازی و پارامترهای شبکه‌های حسگر رادیو شناختی در جدول ۱، ذکر گردیده است.

شبکه حسگر رادیو شناختی در محیطی با ابعاد ۲۰۰ متر در ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است. تعداد کانال‌های بی‌سیم از ۱ تا ۵ کانال متغیر بوده و ظرفیت هر کانال ۱ مگابیت در ثانیه خواهد بود. هر کانال در اختیار یک کاربر اولیه بوده که بر اساس مدل پواسون ON/OFF مدل گردیده است. نرخ خروج (β) و نرخ ورود (α) در همه کانال‌ها به‌صورت یکسان خواهد بود و این نرخ به‌صورت (۱،۱) در نظر گرفته شده است. مدت زمان حس کردن کانال و مدت زمان فعالیت کاربر ثانویه در کانال به‌ترتیب ۰.۰۱ ثانیه و ۰.۰۴ ثانیه در نظر گرفته شده است. پروتکل AODV به‌عنوان پروتکل مسیریابی در نظر گرفته شده است. مدیریت صف در لایه شبکه مبتنی بر راهبرد droptail انجام می‌شود. شبکه از ۲۵ گره حسگر رادیویی (کاربران ثانویه) تشکیل شده است که حرکات آن به‌صورت تصادفی در ۴ جهت در نظر گرفته شده است. ترافیک تولید شده توسط گره مبدا TCP، در این سناریو به‌صورت CBR است که اندازه بسته‌ها، ۵۰۰ بایت با نرخ ارسال ۵۱۲ بسته در ثانیه می‌باشد. احتمال SBL در بخش ۴، بر اساس مدل مارکوف تخمین زده شده است. شکل ۱۰، احتمال SBL را بر اساس نرخ متنوع فعالیت کاربران اولیه نشان می‌دهد. فعالیت کاربران اولیه بر اساس مدل ON/OFF به‌صورت (β, α) توصیف گردیده است. بر



شکل ۱۳: صحت سنجی نتایج مبتنی بر مدل با نتایج شبیه‌سازی



شکل ۱۴: میانگین مصرف انرژی به ازای هر بسته

نرخ ارسال خود را کاهش می‌دهد. بجز TCP-Reno، سایر روش‌ها توانایی لازم را در تشخیص حضور کاربران اولیه در کانال ندارند. پروتکل TFRC-CR توانایی تشخیص بین گم شدن بسته ناشی از ازدحام و گم شدن ناشی از SBL را دارا می‌باشد، اما این توانایی برای این پروتکل به قیمت صرف زمان طولانی برای تنظیم مجدد نرخ ارسال بر اساس ظرفیت جدید شبکه تمام می‌شود. بنابراین این زمان طولانی تلف شده بر روی زمان RTO اثر منفی خواهد داشت. در ابتدای ورود کاربر اولیه به کانال، به دلیل صرف زمان زیاد برای محاسبه میزان نرخ گذردهی جدید، میزان گذردهی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مقدار گذردهی پروتکل OHTP تقریباً با مدل پیشنهادی برابر است، اما در این روش زمان زیادی صرف سوئیچ‌های فراوان بین روش نرخ‌گرا و پنجره‌گرا می‌گردد. عیب دیگر OHTP در تنظیم ایستای مقدار آستانه بسته (۷۰ بسته) برای عمل سوئیچ می‌باشد، زیرا که در شرایطی یکسان واقعی هیچ وقت شرایط و پارامترها در هر شرایطی یکسان نخواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی دارای بهترین میزان گذردهی در مقایسه با دیگر روش‌ها است و زمانی که یک رخداد گم شدن بسته اتفاق می‌افتد، نرخ SBL تخمین زده شده تفاوت‌ها را رقم زده و توانایی تشخیص شرایط ازدحام و غیر ازدحام را فراهم آورده و بی‌دلیل هر گم شدن بسته‌ای را نشان ازدحام ندانسته و با این برتری نرخ ارسال را اشتباه کاهش نمی‌دهد.

بود. همچنین، زمانی که نرخ خروج کاربران اولیه از نرخ ورود آن‌ها بزرگتر باشد، الگوریتم پیشنهادی دارای کمترین مقدار تاخیر خواهد بود.

میزان انرژی مصرفی هر بسته عامل مهمی در طراحی پروتکل‌ها در شبکه‌های حسگر رادیو شناختی است. شکل ۱۲، میانگین انرژی مصرفی هر بسته در پروتکل پیشنهادی را در مقایسه با دیگر روش‌ها نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، T-CRSN دارای کمترین انرژی مصرفی به ازای ارسال هر بسته می‌باشد و دلیل آن پیچیدگی کمتر این الگوریتم در مقایسه با دیگر پروتکل‌ها است.

نرخ گذردهی در ارتباط مستقیم با تعداد کانال می‌باشد. با افزایش تعداد کانال‌ها احتمال حضور کاربران ثانویه در کانال‌ها افزایش یافته و نرخ SBL کاهش می‌یابد. هر چه تعداد کانال‌ها بیشتر باشد، شانس کاربران ثانویه برای یافتن کانال خالی در مرحله حس کردن کانال افزایش می‌یابد و اتصالات کمتری از کاربران ثانویه به دلیل کمبود کانال قطع خواهد شد. شکل ۱۳، صحت نتایج نتایج به دست آمده از مدل تحلیلی را نشان می‌دهد که تقریباً با نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی برابر می‌باشند.

در شکل ۱۴، گذردهی T-CRSN را با روش‌های ذکر شده مقایسه می‌نماید. پروتکل TCP-Reno به دلیل عدم توانایی در شناسایی فعالیت کاربران اولیه در کانال دارای کمترین نرخ گذردهی می‌باشد، زیرا که همیشه گم شدن بسته به دلیل حضور کاربران اولیه در کانال به اشتباه ازدحام تصور می‌گردد و TCP نیز در هنگام تشخیص ازدحام به‌طور ذاتی

trum-Aware Clustering in Mobile Cognitive Radio Sensor Networks,” IEEE Trans. Mobile Comput 2017;15(9):2221 – 2233.

3- M. Ozger, O. B. Akan, “On the Utilization of Spectrum Opportunity in Cognitive Radio Networks,” IEEE Commun. Lett. 2016;20(1):157-160.

4- V. Esmaelzadeh, E. S. Hosseini, R. Berangi, O. B. Akan, “Modeling of Rate-based Congestion Control Schemes in Cognitive Radio Sensor Networks,” Ad Hoc Netw 2016;36(1):177-188.

5- Y. R. Kondareddy, and P. Agrawal, ”Effect of dynamic spectrum access on transport control protocol performance,” GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference, 2009.

6- Changqing Luo, F. Richard Yu, Hong Ji, and Victor C.M. Leung, “Cross – Layer Design for TCP Performance Improvement in Cognitive Radio Networks,” IEEE Trans. Veh. Technol 2010;59(5):2485-2495.

7- Raspopovic M, Thompson C, Chandra K, “Performance Models for Wireless Spectrum Shared by Wideband and Narrowband Sources, “ IEEE Military Commun. Conf ‘05, 2005, p.1-6.

8- Tang P.K., Chew Y.H, Ong L.C, Haldar M.K, “Performance of Secondary Radios in Spectrum Sharing with Prioritized Primary Access,” Military Communications Conference 2006.

9- Xing Y, Chandramouli R, Mangold S, Sai Shankar N, “Dynamic Spectrum Access in Open Spectrum Wireless Networks, “IEEE J. on Selected Areas in Commun 2006;24(3):626 – 637.

10- Ashish. m. and Ritu, Chauhan., ”Transport Control Protocol for Cognitive Radio Ad Hoc Network,” International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE) 2014;3(4):371-376.

11-M. Di Felice, K. R. Chowdhury, W. Kim, A. Kassler, and L. Bononi, “End-to-end protocols for cognitive radio ad hoc networks: an evaluation study,” Performance Evaluation 2011;68(9):859–875.

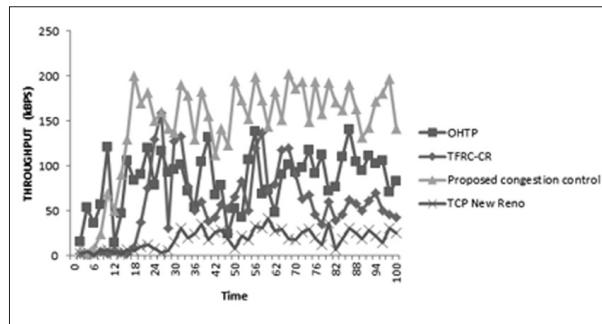
12- A. M. R. Slingerland, P. Pawelczak, R. V. Prasad, A. Lo, and R. Hekmat, ”Performance of transport control protocol over dynamic spectrum access links,” 2007 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2007, p.486-495.

13- Marco Di Felice, Kaushik Roy Chowdhury, and Luciano Bononi, “Modeling and Performance Evaluation of Transmission Control Protocol over Cognitive Radio Ad Hoc Networks,” in Proc. Of ACM Conf. on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, 2009, p.4-12,

14- P. K. Tang, Y. H. Chew, L. C. Ong, and M. K. Haldar, “Performance of secondary radios in spectrum sharing with prioritized primary access,” Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM, 2007.

15-M. F. Amjad, B. Aslam, and C. Zou, “Transparent cross-layer solutions for throughput boost in cognitive radio networks,” in Proc. IEEE CCNC, 2013, p.580-586.

16-J. Wang, A. Huang, W. Wang, Z. Zhang, and V. K. N. Lau, “On the transmission opportunity and TCP throughput in cognitive radio networks,” Int. J. Commun. Syst 2016;27(2):303-



شکل ۱۴: مقایسه نرخ گذردهی T-CRSN با پروتکل های دیگر

۹- نتیجه گیری

در این مقاله، رفتار TCP به عنوان یک پروتکل شناخته شده در لایه انتقال در شبکه های حسگر رادیو شناختی مورد بررسی قرار گرفت و دلایل کاهش گذردهی این پروتکل در این نوع از شبکه ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نوع جدیدی از گم شدن بسته به نام SBL که به دلیل ذات شبکه های حسگر رادیو شناختی اتفاق می افتد، معرفی گردید. احتمال وقوع SBL با استفاده از زنجیره مارکوف زمان گسسته مدل گردید. با تشخیص SBL، به مقدار زیادی از کاهش گذردهی TCP به واسطه تشخیص صحیح ازدحام، جلوگیری گردید. مدل پیشنهادی تاثیر کاربران اولیه در تخمین SBL را به طور واضح نشان داد و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل مارکوف پیشنهادی یک الگوریتم کنترل ازدحام جدید ارائه گردید که با استفاده از توانایی تشخیص بین ازدحام واقعی و SBL میزان گذردهی را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داد.

توضیحات

این مقاله حاصل حمایت های مادی و معنوی دانشگاه آزاد واحد آیت الله آملی و برگرفته از طرح پژوهشی می باشد.

مراجع

1- M Tahir, E. M.h, habaebi, Md. Islam, “ Novel distributed algorithm for coalition formation for enhanced spectrum sensing in cognitive radio networks,» Int J Electron Commun (AEU) 2017;77(9):139-148.

2- M. Ozger, E. A. Fadel, O. B. Akan, “Event-to-Sink Spec-

tion-based transport protocol for cognitive radio networks,” Ad Hoc Networks 2013;11(6):1836-1847.

26-- Yousaf Bin Zikria, Summera Nosheen, Farruh Ishmanov and Sung Won Kim, “Opportunistic Hybrid Transport Protocol (OHTP) for Cognitive Radio Ad Hoc Sensor Networks,” Sensors 2015;15(12): 31672–31686.

27- W.-Y. Lee, I. Akyildiz, “Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks,” IEEE Trans. Wireless Commun. 2008;7(10):3845-3857.

28- Ozgure, B, Akan, OB, Karli. and O, Ergul, “Cognitive radio sensor networks,” IEEE Netw 2009;23(4):34-40.

29- Federal Communications Commission. Notice of Proposed Rulemaking and Order (FCC 03-222). Available online: <http://web.cs.ucdavis.edu/~liu/2891/Material/FCC-03-322A1.pdf> (accessed on 11 December 2015).

30- M. Mathis, J. Semke, J. Mahdavi, and T. Ott, “The macroscopic behaviour of the TCP congestion avoidance algorithm,” ACM SIGCOMM Computer Communications Review 1997;27(3):67– 82.

31- Slingerland, A.M.R., Pawelczak, P., Prasad, R.V., Lo, A., Hekmat, R., “Performance of Transport Control Protocol Over Dynamic Spectrum Access Links,” DySPAN 2007. 2nd IEEE International Symposium on 2007, p.486-495.

32- V. Esmaelzadeh, R. Berangi, S. M. Sebt, E. S. Hosseini, and M. Parsinia, “CogNS: A Simulation Framework for Cognitive Radio Networks,” Wireless Personal Commun. J 2013;72(4):2849-2865.

321.

17- G. Li, Z. Hu, G. Zhang, L. Zhao, W Li, and H. Tian, “Cross-layer design for energy efficiency of TCP traffic in cognitive radio networks,” in Proc. IEEE VTC Fall 2011, p.1-5.

18-X. Wang, X. Sun, C. Zhao, and Z. Zhou, “TCP-CReno-TCP enhancement using cross-layer for cognitive radio networks,” in Proc. IET AIAI 2010, p.37-40.

19 - A. Kumar, and K.G. Shin, “DSASync: Managing end-to-end connections in dynamic spectrum access wireless LANs,” IEEE/ACM Trans. Netw 2012;20(4):1068-1081.

20- C. Luo, F. R. Yu, H. Ji, and V. C. M. Leung, “Cross-layer design for TCP performance improvement in cognitive radio networks,” IEEE Trans. Veh. Technol. 2010;59(5):2485-2495.

21- J. Wang, A. Huang, and W. Wang, “TCP throughput enhancement for cognitive radio networks through lower-layer configurations,” in Proc. IEEE PIMRC 2012, p.1424-1429.

22- H. Khalife, V. Conan, J. Leguay, and T. Spyropoulos, “Point to multipoint transport in multichannel wireless environments,” in Proc. IEEE WCNC, 2013, p.1404-1409.

23- K. R. Chowdhury, M. D. Felice, and I. F. Akyildiz, “TP-CRAHN: A transport protocol for cognitive radio ad-hoc networks,” in Proc. IEEE INFOCOM, 2009, p.2482-2490.

24- H. Khalife, J. Seddar, V. Conan, and J. Leguay, “Validation of a point to multipoint cognitive radio transport protocol over GNU radio testbed,” in Proc. IFIP/IEEE Wireless Days 2013, p.1-6.

25- A. K. Al-Ali, and K. R. Chowdhury, “TFRC-CR: An equa-



چاپ دوم منتشر شد!

**برای کسب اطلاعات بیشتر و تهیه کتاب
با شماره تلفن زیر تماس حاصل فرمایید**

۶۶۴۱۲۸۶۱ (انجمن انفورماتیک ایران)

جیسون فرید و دیوید هاین مایرهنسون، بنیانگذاران شرکت نرم افزاری 37signals هستند. محصولات تولید شده توسط شرکت آن‌ها میلیون‌ها کاربر در سراسر جهان دارد. آن‌ها در این کتاب راه‌های موفقیت شرکتشان را با شما در میان می‌گذارند. این کتاب در فهرست پرفروش‌ترین کتاب‌های روزنامه نیورکتایمز قرار داشته است.