

قابلیت اطمینان و مسیریابی فرصت طلبانه در شبکه های سیار ادهاک با راديوهای شناختی

مجتبی شهابی نژاد^۱، زهره ابوالهادی زاده^۲

^۱دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (mojtaba.shahabi@aut.ac.ir)

^۱شرکت آلومینیوم المهدی، بندرعباس (m.shahabi@almahdi.ir)

^۲شرکت توزیع برق استان هرمزگان (Zohreh.abolhadi@hedc.co.ir)

چکیده: اخیراً شبکه های وایرلس ادهاک^۱ با راديوهای شناختی^۲ با فناوری امید بخش جهت تحقق سیستم های از راه دور و دیگر کاربردهای زیر ساختهای مخابراتی در شبکه های هوشمند در نظر گرفته شده اند. با این حال با چالش های فنی و اساسی بسیار زیادی در این نوع شبکه ها روبرو میباشیم که این معایب به صورت جزئی مورد بررسی قرار گرفته اند. برای غلبه بر شرایط محیطی خشن و ویژگی های طیفی متغیر در زمان و مکان شبکه های شناختی، شبکه سیار ادهاک^۳ پیشنهاد شده است و با توجه به اینکه مسیریابی در شبکه های ادهاک فرآیند دشواری بوده و نیاز به روش های هوشمند احساس می شود، مسیریابی فرصت طلبانه با راديوهای شناختی در این نوع شبکه ها، می تواند مفید واقع شود. در این مقاله سعی بر آن است روشی جهت بالا بردن قابلیت اطمینان و موثر با استفاده از مسیریابی^۴ فرصت طلبانه با راديوهای شناختی برای شبکه های سیار ادهاک ارائه شود.

کلمات کلیدی: شبکه ادهاک، الگوریتم های مسیریابی، مسیریابی فرصت طلبانه، شبکه های سیار، راديوهای شناختی، شبکه های سیار ادهاک

¹ Ad hoc

² Cognitive Radio

³ Mobile Ad Hoc Network (MANET)

⁴ Routing

۱- مقدمه

با افزایش درخواست برای پهنای باند و غیربهمینه بودن روش های فعلی تخصیص باند فرکانسی از سوی دیگر، مراکز تحقیقاتی و صنعتی به دنبال یافتن روشی مؤثرتر برای به اشتراک گذاشتن طیف^۵ هستند. نتایج ارزیابی نحوه استفاده از طیف فرکانسی^۶ حاکی از آن است که درصد کمی از طیف فرکانسی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به این نکته، به تدریج به منظور استفاده بهمینه از طیف فرکانسی، مفهوم دسترسی طیف به صورت پویا و استفاده فرصت طلبانه از طیف با مفهومی به نام رادیوی نسل آینده یا رادیوی شناختی [۱]، مطرح شد. یکی از روش های ارائه شده برای استفاده بهمینه از پهنای باند، به کارگیری تکنیک های دسترسی به طیف به صورت دینامیک است. در سال های اخیر، رادیوی هوشمند به عنوان ابزاری برای استفاده بهمینه از طیف معرفی شده است. شبکه های متشکل از رادیوهای هوشمند، در برابر چالش های خاصی که ناشی از تغییرات شدید طیف در دسترس و همچنین کیفیت سرویس های مختلفی که کاربردهای متنوع از آن ها انتظار دارند، قرار دارند. برای مشخص تر شدن این چالش ها هر رادیوی هوشمند باید بتواند قسمتی از طیف را که در دسترس است مشخص کند، بهترین کانال موجود را انتخاب نماید، با کاربران دیگری که از این کانال استفاده می کنند همکاری داشته باشد و هنگامی که کاربر دارای مجوز می خواهد از کانال استفاده کند کانال مزبور را ترک نماید. این مقاله از پنج بخش تشکیل شده است، در بخش اول و دوم مسیر یابی فرصت طلبانه در شبکه های سیار ادهاک و پروتکل های موثر بر آن مورد ارزیابی قرار می گیرند سپس در بخش سوم به سوابق تحقیق و نحوه دسته بندی آنها اشاره میشود، در بخش چهارم روش ارائه شده برای حل مساله و تحلیل نظری مطرح میشود، در بخش پنجم به نتایج شبیه سازی پرداخته میشود و در پایان به بیان نقاط قوت و ضعفها، چالشها و هم چنین ارایه زمینه های تعمیم مساله یا روش موجود می پردازیم.

۲- بیان مساله

یکی از مشکلات اصلی در شبکه ادهاک سیار این است که بهترین مسیر را بین ارتباطات مبدأ به مقصد پیدا می کند، که ممکن است یک گره بسیار سخت باشد. ایده اصلی شبکه های شناختی استفاده از طیف فرکانسی بلااستفاده توسط کاربران ثانویه میباشد که مجوز استفاده این کاربران توسط اپراتورهای اولیه تامین میگردد. یک نود شناختگر (کاربر ثانویه)^۷ می تواند حفره های طیفی را شناسایی کرده و با توجه به حضور یا عدم حضور کاربران اولیه خود را از یکی به دیگری جابه جا کند. نوسان شرایط کانال بی سیم و تغییر طیف موجود به دلیل فعالیت کاربران اولیه منجر به دشواری قابل ملاحظه ای در ارائه ارتباطات مطمئن و موثر می شود. رادیو شناختی برای پرداختن به مشکلات شبکه ای و مخابراتی و نسل بعدی شبکه های بیسیم، یعنی شبکه های هوشمند به رسمیت شناخته شده است. این شبکه با استفاده از قابلیت های دسترسی طیفی پویا و فرصت طلبانه می تواند برای رسیدگی به بسیاری از الزامات منحصربه فرد و چالش های شبکه های MANET^۸ استفاده شود. کنترل PCTC^۹ ارائه شده توسط آقای گان و همکارانش [5] به منظور جلوگیری از تداخل کاربران ثانویه از کاربران اولیه از پیشگویی در دسترس بودن لینک به صورت شناختی استفاده میکنند. در واقع PCTC یک توپولوژی کارا و قابل اعتماد به وجود می آورد که از مسیر یابی مجدد جلوگیری میکند و کارایی توان عملیاتی و تاخیر را در شبکه های مبدأ به مقصد گسترش میدهد. محققان این مقاله کنترل و مسیریابی را در شبکه های MANET مورد مطالعه قرار داده اند و مدل PCTC را به منظور فراهم کردن توانایی شناختی در مسیر یابی شبکه های CRMANET ارائه کرده اند. در واقع PCTC ارائه شده به عنوان یک میان افزار در بین ماژول CR و مسیریابی عمل میکند

⁵ Spectrum

⁶ Spectrum frequency

⁷ SU

⁸ Mobile Ad hoc Network

⁹ Prediction-based Cognitive Topology Control

PCTC از قابلیت پیش گویی در دسترس بودن یک لینک شناختی استفاده میکند که از تداخل با کاربران اولیه^{۱۰} آگاه است. PCTC یک توپولوژی قابل اعتماد و موثر، برای جلوگیری از تکرار مسیریابی مجدد و گسترش کارایی شبکه ها از جمله افزایش توان عملیاتی و کاهش تاخیر را ساختار دهی می کند. در ادامه برای دستیابی به نتیجه مطلوب به بررسی کنترل PTCP ارائه شده توسط آقای گان و همکارانش [5] و الگوریتم فرصتطلبانه ارائه شده توسط آقای یانگ و همکارانش [4] در شبکه های MANET میپردازیم.

۳- سابقه تحقیق و دسته بندی آنها

آقای سلواکانمانیل^{۱۱} و آقای سامتی^{۱۲} در مقاله خود [6] پایه های رادیوهای شناختی شبکه های ادهاک را پس از طبقه بندی نشان دادند که در آن MC-RAHNS را به پنج دسته ۱- کانال چند منظوره ۲- مدل سازی لینک ۳- مسیریابی جغرافیایی ۴- آگاهی طیف ۵- اتصال و خوشه بندی روی عملکرد آن تقسیم کردند. همچنین نشان دادند اگر چه بیشتر پروتکل های سیار رادیوهای شناختی شبکه های ادهاک در شبکه های وایرلس شناخته شده اند باز هم نیاز به طراحی یک متریک جدید برای نشان دادن یکتایی رادیوهای شناختی شبکه های ادهاک وجود دارد. آقایان یانگ و همکارانش^{۱۳} در مقاله مسیریابی فرصت طلبانه خود [4] پروتکلی مبتنی بر متریک ETX^{۱۴} و برنامه نویسی شبکه^{۱۵} را پیشنهاد دادند و برای جلوگیری از انفجار بازخورد گوش دادن فرصت طلبانه^{۱۶} و تصدیق های فرصت طلبانه^{۱۷} را معرفی کردند.

اکثر الگوریتم های مسیر یابی به دنبال انتخاب کوتاهترین مسیر برای بهبود بهره وری میباشند اما در شبکه های MANET لزوما کوتاه ترین مسیر بهترین مسیر نیست. در واقع معیار های مختلفی برای انتخاب بهترین مسیر وجود دارد از قبیل ظرفیت، تاخیر، طول پیوند، در دسترس بودن طیف و قدرت توان و غیره. در مقاله کنترل فناوری مسیریابی شبکه های MANET با رادیوهای شناختی [5] آقای گان و همکارانش^{۱۸} به تاثیر لایه های بالاتر در کارایی رادیو های شناختی شبکه های MANET اشاره کردند و یک چهارچوب کلی برای تدارک قابلیت شناخت پروتکل های مسیریابی در CR-MANETs برای آگاهی از تداخل کاربران اولیه، جستجو و ارسال به لینک های فعال در دسترس و تطبیق پویایی محیط تعیین کردند .

۴- روش پیشنهاد شده برای حل مساله و تحلیل نظری آن

پروتکل ارائه شده توسط آقای یانگ و همکارانش [4] بر اساس ارزش ETX کار میکند که متریک ETX به طور کامل در رساله آقای دکتر بوهان شرح داده شده است. پروتکل ExOR^{۱۹} نیز توسط آقایان Biswas و Morris ارائه شد [7] که اساس کار این پروتکل به این صورت است که به جای اینکه برای ارسال یک بسته بخواهد از یک مسیر از قبل تعیین شده استفاد کند یک مسیر بین مبدا و مقصد ایجاد میکند و سپس بسته را ارسال میکند.

10 PU

11 S. Selvakanmani

12 M. Sumathi

13 WenZhong Yang , ChuanHe Huang , Bo Wang & ZhenYu Zhang

14 Expected Number of Transmissions

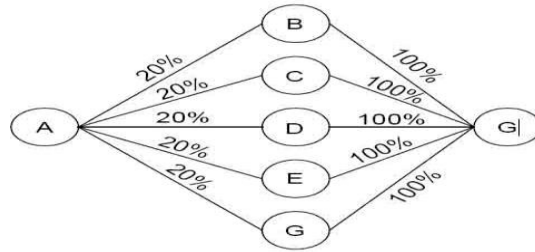
15 Network Coding

16 Opportunistic listening

17 Opportunistic acknowledgement

18 Quansheng Guan, F. Richard Yu and Shengming Jiang

19 Extremely Opportunistic Routing



شکل ۱

تکنیک برنامه نویسی شبکه^{۲۰} نیز که توسط آقای Ahlswede و همکارانش ارائه شد برای کد گذاری بسته ها قبل از ارسال استفاده میشود تا کارایی و توان شبکه را افزایش دهد. و استفاده از الگوریتم درخت اشتاینر^{۲۱} [11,21] جهت به دست آوردن درخت بازخورد مینیمم استفاده میشود. همانطور که در شکل نشان ۱ داده میشود در روش مسیریابی سنتی هنگامی که یک بسته بخواهد از مبدا a به مقصد g ارسال شود بایستی از ۵ مسیر مشخص شده عبور کند که بعد از رسیدن به این مسیر ها یک مسیر هم به مقصد وجود دارد که در کل با ۶ مسیر به مقصد میرسد پس نرخ ارسال ۶ میشود اما در مسیر یابی فرصت طلبانه ۵ گره میانی به عنوان یک گره مجازی در نظر گرفته میشود که نرخ بازخورد از مبدا تا گره های میانی 0.67 میباشد که در حالت قبل این نرخ ۵ در نظر گرفته شده بود و طبق جدول ۱ در نهایت نرخ رنج انتقال ۲,۶۷ میشود که همانطور که مشاهده میشود نسبت به حالت قبل از نصف کمتر شده است پس نتیجه میشود که مسیریابی فرصت طلبانه به مراتب بهتر از سنتی میباشد.

جدول ۱

traditional routing	Transmissions = 6
Opportunistic routing	delivery rate = $1 - (1 - 0.2)^5 \approx 0.67$ Transmissions = $1/0.67 + 1 \approx 2.49$

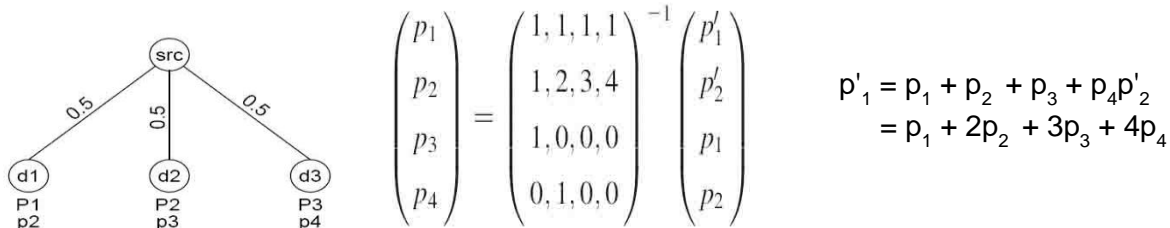
همانطور که در شکل ۲ دیده میشود برای بررسی مزایای استفاده از برنامه نویسی شبکه مبدا قصد دارد ۴ بسته p1 تا p4 به ۳ مقصد D1 تا D3 ارسال کند همانطور که مشاهده میشود بعضی از مقصدها تعدادی از بسته ها را از دست داده اند به عنوان مثال مقصد D1 بسته p1 و p2 را دریافت کرده و p3 و p4 را از دست داده اند و مقصد D2 بسته های P1 و p4 را از دست داده و d3 بسته های p1 و p2 را از دست داده اند. در حالت معمولی در صورت از دست دادن بسته های بایستی آن بسته ها را مجدداً ارسال کنیم اما در حالت استفاده از برنامه نویسی شبکه میتوان ۴ ارسال را به ۲ ارسال کاهش داد بدین صورت که مبدا از ۲ بسته کد شده p1' و p2' استفاده میکند و بسته های P1 و p2 را نیز از قبل در اختیار داشته پس به راحتی میتوان با ضرب در ماتریس معکوس هر ۴ بسته را در اختیار بگیرد. پروتکل ROMP^{۲۲} مبتنی بر مسیریابی فرصت طلبانه و برنامه نویسی شبکه میباشد و برای قابلیت اطمینان از گوش دادن فرصت طلبانه برای تصدیق همسایه بالا دستی خود استفاده میکند در واقع مقصد بسته های گمشده را از همسایه های بالا دستی خود دریافت کرده و این روند به صورت بازگشتی ادامه پیدا میکند تا بسته های گمشده بازیابی گردند به این صورت قابلیت اطمینان بدون داشتن سربار بیشتر میشود. برای انتخاب درخت مالتی کست مسیر یابی پروتکل ROMP دو مفهوم درخت پیش فرض مالتی کست و مجموع فورواردینگ انتخابی را مورد بررسی قرار میدهد. همانطور که در شکل ۳ دیده میشود درخت مالتیکست به این صورت عمل میکند که هر نود در هر ثانیه یک بسته را ارسال میکند و در طول ۱۰ ثانیه تعداد

²⁰ Network Coding

²¹ Steiner tree

²² Reliable opportunistic multicast routing protocol

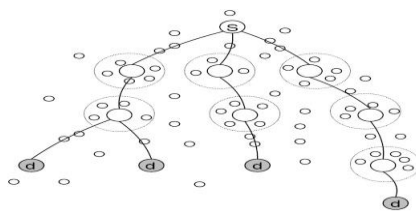
پروپ های دریافتی را می‌شمارد و از طریق این پروپ ها می‌تواند نرخ از دست دادن^{۲۳} خود را محاسبه کند. سیاست پروتکل ROMP در انتخاب مجموعه فورواردینگ به این صورت است که نودهای موجود در مسیر را به درخت مالتی کست پیش فرض خود اضافه میکند و این عمل باعث میشود که از پراکندگی و انتقالهای تکراری جلوگیری شود. از طرفی چون نودهای انتخابی به همدیگر خیلی نزدیک هستند همکاری بین آنها را آسان میکند برای انتخاب مجموعه فورواردینگ مراحل ۱- انتخاب لیست فورواردینگ اولیه بر اساس درخت پیش فرض خود ۲- محدود کردن گره های فورواردینگ برای جلوگیری از انتخاب های تکراری ۳- ست کردن تایمر فرستنده بر طبق کمترین ارزش آن از سمت زیر گروه، انجام می شود.



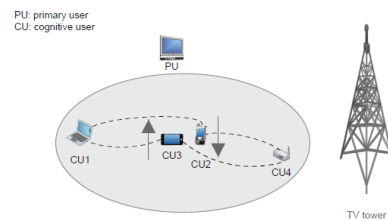
شکل ۲

اگر این مراحل به سرعت انجام شود میتواند خود را با شرایط شبکه وفق دهد و همانطور که مشاهده شد این مقاله یک پروتکل مبتنی بر قابلیت اطمینان و مسیریابی فرصت طلبانه را ارائه داد و برای پروتکل مالتی کست زیر گر وها یک پرتکل مبنی بر ارزش ETX ارائه داده شد و کارایی مطلوب پروتکل فرصت طلبانه را نسبت به سایر پروتکل ها استنتاج کرد. در مقاله آقای گان و همکارانش [5] از مسیر یابی در شبکه های CR-MANET به عنوان مسیریابی شناختی نام برده میشود . مسیر یابی در شبکه های CR-MANET باید دارای ویژگیهای آگاهی از ناحیه تداخل کاربران اولیه، پیشگویی در دسترس بودن یا آزاد بودن یک لینک و همچنین تطبیق خود با مسیر مبتنی بر پیشگویی به منظور جلوگیری از تکرار مسیریابی مجدد و افزایش کارایی و کاهش تاخیر باشد. در مقاله اشاره شده محققان برای رسیدن به این هدف از توپولوژی کنترل استفاده کرده اند، توپولوژی کنترل در شبکه های حساس بیسیم ، مش بیسیم و MANET به منظور کاهش انرژی و تداخل قابل استفاده میباشد و در واقع بر روی اطلاعات بدست آمده از لایه فیزیکی و MAC^{۲۴} که هر دو متعلق به ماژول های رادیو های شناختی در CR-MANET هستند تمرکز میکند و به عنوان یک میان افزار عمل میکند. تکنولوژی کنترل از تداخل با کاربران اولیه و پیش گویی دسترسی لینک شبکه های CR-MANET حمایت میکند. بر اساس این مقاله یک مدل تحت عنوان توپولوژی کنترل شناختی مبتنی بر پیشگویی PCTC به منظور فراهم کردن قابلیت شناختی در شبکه های CR-MANET را ارائه داده شد که این مدل دو ویژگی زیر را دنبال میکند:

- ۱- میتواند مدت در دسترس بودن لینک و احتمال اینکه آیا این مدت به پایان میرسد را پیشگویی کند.
- ۲- به صورت یک رفتار توزیع شده عمل کند.



شکل ۳



شکل ۴

²³ loss rate

²⁴ Media Access Control

دسترسی پویا به یک طیف و اهمیت محدودیت تداخل با کاربران اولیه CR-MANT را از شبکه های MANET سنتی متفاوت میکند و ۲ فاکتور مهم وجود دارد که در دسترسی به یک طیف موثر است: اولین عامل آن فعالیت کاربران اولیه میباشد، از آنجا که کاربران ثانویه دارای اولویت پایین تری نسبت به کاربران اولیه میباشد آنها باید همیشه فعالیت کاربران اولیه را شناسایی کنند. دومین عامل آن در حرکت و سیار بودن کاربران ثانویه میباشد زمانی که یک کاربر به سمت ناحیه تداخل هر کاربر اولیه فعالی وارد میشود طیف فرکانسی برای آن کاربر غیر قابل دسترس خواهد بود بنابراین تشخیص وضعیت حرکت در طراحی مسیر یابی موثر و توپولوژی کنترل در CR-MANET ها بسیار با اهمیت میباشد. برای نشان دادن این عامل به شکل ۴ توجه میکنیم، فرض کنید قرار است یک مسیر از CU1 به CU4 داشته باشیم دو مسیر CU1 به CU2 و CU4 و همچنین مسیر CU1 به CU3 و CU4 وجود دارد ولی همان طور که مشاهده میشود CU3 دارد به ناحیه تداخل کاربر اولیه وارد میشود و نمیتواند مورد استفاده قرار گیرند و بر عکس لینک CU1 به CU2 چنین مشکلی ندارد در واقع CU2 دارد از ناحیه تداخل دور میشود و با انتخاب CU1 به CU2 به جای CU1 به CU3 بوجود میاید و ما میتوانیم با مشاهده کنیم که با پیشگویی سیار بودن می تواند کارایی را در مسیر یابی شناختی CR-MANET افزایش دهد و همانطور مشاهده شد پروتکل های مسیریابی سنتی فاقد چنین توانایی شناختی هستند با این حال این پروتکل ها نسبتا کامل هستند و سوز کد آنها به طور گسترده در سیستم عامل های متفاوتی در دسترس هستند به همین دلیل محققان این مقاله یک تکنولوژی میان افزار مثل تکنولوژی کنترل را به کار بردند و این توپولوژی کنترل به عنوان یک ماژول بین لایه ای در بین لایه مسیر یابی و ماژول CR عمل میکند. یک مدل پیشگویی در دسترس بودن لینک منطقی، برای شبکه های MANET کلاسیک که در کارها و تحقیقات قبلی ارائه شده است [4]، پارامتر TP پیشگویی زمانی که یک لینک در بین دو نود در دسترس است و پارامتر دیگری که با $L(TP)$ نشان داده میشود را معرفی میکند و در حقیقت احتمال اینکه این لینک چه قدر در زمان TP پایدار است را تخمین میزند. ولی این دو پارامتر TP و $L(TP)$ در CR-MANET ها کافی نیستند زیرا در اینجا لینک بین دو نود فقط به حرکت آنها محدود نیست و بحث تداخل با کاربران اولیه در آنها دیده نشده است. به همین دلیل در این مدل دو پارامتر دیگر \hat{T}_p و $L(\hat{T}_p)$ نیز علاوه بر دو پارامتر قبلی برای این پیشگویی استفاده میشود. \hat{T}_p مدت زمانی که یک کاربر به سمت تداخل کاربر اولیه حرکت میکند می باشد و $L(\hat{T}_p)$ تخمین متناظر آن میباشد. و در نهایت از ترکیب $[TP, L(TP)]$ و $[\hat{T}_p, L(\hat{T}_p)]$ با همدیگر برای پیشگویی در دسترس بودن یک لینک استفاده میشود. اگر d به عنوان فاصله بین دو نود و T هم زمان متناظر با آن در نظر گرفته شود فرمول ۱ را داریم:

$$d^2 = \alpha T^2 + \beta T + \gamma \quad (1)$$

که α و β و γ از اندازه گیری سه نقطه $(t_0, d_0), (t_1, d_1), (t_2, d_2)$ بدست می آیند و $t_i = t_0 + T_i$ و d_i فاصله متناظر بین دو نود هستند. اگر بخواهیم از حرکت نودها به سمت کاربران اولیه صرف نظر کنیم به راحتی میتوان از طریق (۱) مقدار T_p را بدست آوریم ولی بحثی که در CR-MANET ها با آن مواجه هستیم حرکت نودها به سمت ناحیه تداخل کاربران اولیه میباشد که از طریق (۱) به راحتی \hat{T}_p قابل محاسبه نیست. کاربران شناختی که به سمت ناحیه تداخل یک کاربر اولیه در حال حرکت هستند توسط ماژول CR قابل شناسایی هستند و در اینجا مقدار \hat{T}_p برابر با صفر میشود بنابراین ما فقط باید در مورد کاربرانی که از ناحیه تداخل دور میشوند بحث کنیم. اگر ρ به عنوان شعاع تداخل در نظر گرفته شود و سپس $\Delta = \beta^2 + 4\alpha\rho^2 - 4\alpha\gamma$ از داشتن حداقل یک جواب برای \hat{T}_p در (۱) مطمئن میسازد.

$$\hat{T}_p = \begin{cases} \frac{\sqrt{\beta^2 + 4\rho^2 - 4\alpha\gamma} - \beta}{2\alpha} - t_2 & \text{if } \Delta \geq 0 \text{ and } \Delta - \beta^2 \geq 0 \\ \infty & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

دقت \hat{T}_p همانطور که مشاهده شد وابسته به مقدار ρ است که این مقدار از طریق های مختلف مثل سیستم های GPS یا مسیر گمشده و ... بدست میآید. مقدار $L(\hat{T}_p)$ نیز همانند مقدار $L(T_p)$ از فرمول ۳ بدست میآید:

$$L(\hat{T}_p) \approx e^{-\lambda \hat{T}_p} e^{-\lambda \tau} + \zeta(1 - e^{-\lambda \hat{T}_p}), \quad (3)$$

محققان کارهای قبلی نشان داده اند که مقدار $TP^* L(T_p)$ به پروتکل های مسیر یابی برای انتخاب مسیر قابل اطمینان کمک میکند ولی چون در اینجا بحث شبکه های MANET شناختی است پیشگویی در دسترس بودن لینک از فرمول زیر بدست میآید:

$$T_a = \min_{i=1,2;j \in \{PUS\}} \{T_p \times L(T_p), \hat{T}_{p_i}^j \times L(\hat{T}_{p_i}^j)\}, \quad (4)$$

که i نشان دهنده دو نود انتهایی یک لینک است و $\{PUS\}$ نشان دهنده کاربران اولیه موجود در شبکه است. در مقاله اشاره شده برای جلوگیری از تکرار مسیریابی مجدد، یک مدل توپولوژی کنترل شده و مسیر یابی را مبتنی بر پیشگویی لینک گفته شده در شبکه های CR-MANET ارائه شده است. در واقع یک مقدار جریمه (δ) برای مسیر یابی مجدد در نظر گرفته میشود که این δ مدت زمانی که برای مسیر یابی مجدد هدر میرود میباشد پس در دسترس بودن یک لینک به مقدار $(T_a - \delta)$ کاهش میآید. مقدار T_a به تنهایی برای پیشگویی یک لینک کافی نیست یک لینک ممکن است زمان T طولانی داشته باشد و در مورد اجرای طولانی ممکن است به دلیل انتخاب این لینک با پدیده مسیر یابی مجدد مواجه شویم. پس برای نشان دادن کیفیت یک لینک، وزن یک لینک را از فرمول ۵ و مبتنی بر آن میتوان وزن یک مسیر را از فرمول ۶ بدست آورد. که L نشان دهنده مجموع لینک های موجود در یک مسیر میباشد.

$$W = \min w_i, i \geq 2 \quad L \quad (6) \quad w = r \times (T_a - \delta) \quad (5)$$

با توجه به این فرمولها ما یک لینک با مدت زمان طولانی ولی کیفیت پایین و یک لینک با مدت زمان کوتاه ولی کیفیت خوب داریم در نتیجه در انتقال داده توانایی ضعیفی داریم در این مقاله الگوریتم PCTC توزیع شده شناختی از الگوریتم ^{۲۵} LDTC برای ذخیره کردن یک مسیر قابل اطمینان در CR-MANET ها استفاده میکند. در این الگوریتم توزیع شده هر نود مراحل زیر را به عنوان یک نود اولیه انجام میدهد:

- ۱- همه همسایه های خود را جمع میکند و مطابق (۵) وزن هر لینک را بدست میآورد.
- ۲- $(w=\infty)$ وزن مسیر تود ابتدایی را مساوی بینهایت قرار میدهد و برای همسایه هایش صفر قرار میدهد و همه همسایه هایش را به عنوان نود دیده نشده در نظر میگیرد و خودش را به عنوان گره فعلی در نظر میگیرد.
- ۳- وزن مسیر را بر اساس فرمول ۶ از نود اولیه به نودهای ملاقات نشده از طریق گره فعلی محاسبه میکند.
- ۴- خودش را به عنوان نود ملاقات شده در مظر میگیرد و وزن مسیر تمام نودهای ملاقات نشده را به بزرگترین مقدار خودش بروز میکند و به مرحله ۳ میرود تا تمام نودها ملاقات شوند.
- ۵- تمام مسیر های قابل اطمینان از نود اولیه پیدا شده اند.

با اجرای این الگوریتم همانطور که مشاهده میشود در این توپولوژی بدست آمده لینک هایی با مدت زمان پایین ممکن است حذف شوند بنابراین یک توپولوژی با قابلیت اطمینان بیشتر و پایدار میباشد. این مدل توپولوژی کنترل شده ارائه شده دارای ویژگیهای قابلیت اتصال، تقارن، شدت کنترل، Spanner که به راحتی قابل اثبات میباشد.

نگاهی می اندازیم به پروتکل های مسیر یابی معروفی مانند DSR و AODV. آنها معمولاً RREQ^{۲۶} ها یا همان بسته های درخواستی مسیریابی به منظور پیدا کردن یک مسیر از مبدا به مقصد ارسال میکنند. زمانی که یک RREQ میرسد به یک نود

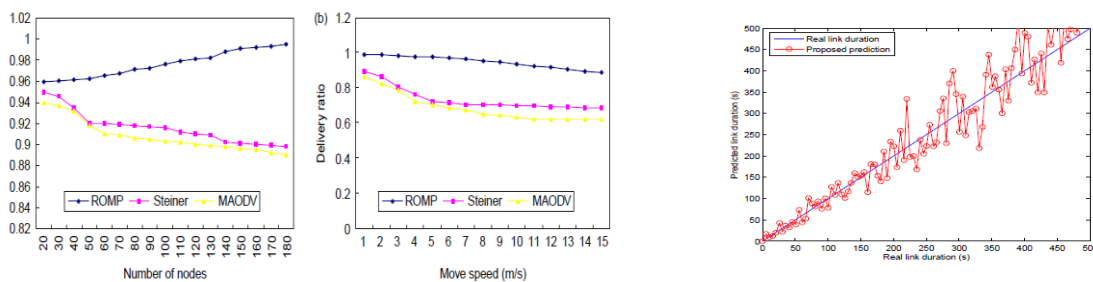
²⁵ The Localized Dijkstra Topology Control

²⁶ Route Request

میانی اگر فرستنده در همسایه های مرتبط با آن که توسط الگوریتم PCTC تولید شده بنا شد ممکن است حذف شود از طرف دیگر این RREQ توسط نودهای میانی مرتب شده و دوباره انتشار پیدا میکنند در نتیجه از لینک هایی که در مجاورت کاربران اولیه هستند و یا دارای کیفیت پایین و مدت زمان کوتاه در دسترس هستند، جلوگیری میشود. (اولین RREQ یی که پاسخ داده میشود اولین مسیر پیدا شده به لحاظ متریک مسیریابی است.)

۶- نتایج شبیه سازی

آقای یانگ و همکارانش [4] برای نشان دان کارایی پروتکل ارائه شده ROMP²⁷ آن را با پروتکل مقایسه میکند و عملکرد آنها را نشان میدهد. برای انجام شبیه سازی مکانی به مساحت $1000*1000$ m² را در نظر میگیرد و ۲۰۰ نود را در رنج ارسال 250m قرار میدهد که به صورت آزادانه در حرکتند و سایز بسته ها را 512 BYTE در نظر میگیرد. آزمایش به این صورت انجام گردید و پس از بررسی نتایج همانطور که در شکل ۵ مشاهده میشود که نرخ بازخورد بسته پروتکل ROMP با دو پروتکل درخت اشتاینر و MAODV [13] بسیار بهتر میباشد زیرا با انجام آزمایش مشاهده میشود که در ROMP از ۲۰ تا ۱۸۰ نود پیش رفتند و نتیجه به این صورت بود که هر چه تعداد نودها افزایش پیدا میکند توان عملیاتی نیز افزایش پیدا میکند (افزایش از ۹۵٪ به ۹۸٪) و این در حالی است که برای دو پروتکل دیگر توان عملیاتی از ۹۵٪ به ۹۰٪ کاهش پیدا میکند. همچنین این آزمایش برای سرعت نیز انجام شد که مشاهده میشود که ROMP در ابتدا یک کاهش اندک دارد اما در ادامه بسیار بهتر عمل میکند.

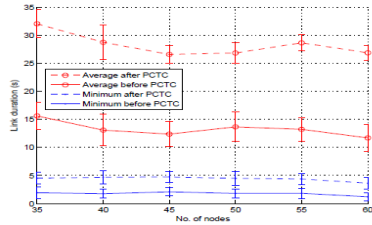


شکل ۵

شکل ۶

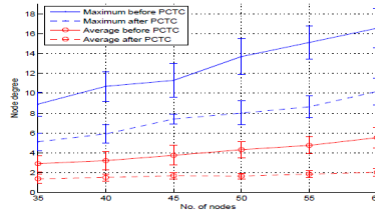
ماکزیمم رنج انتقال هر نود ۳۰۰ متر و نرخ انتقال از 2mb/s میباشد. ما ابتدا دقت پیشگویی مبتنی بر طول دوره لینک شناختی را بررسی میکنیم. شکل ۶ نتیجه پیشگویی برای فضایی با مساحت $500*500$ m² و $\lambda-1 = 60$ s را نشان میدهد که در آن Ta نوسان میکند اطراف Tr، که آن زمان واقعی است که یک لینک دائما در دسترس است در مقابل Ta پیشگویی شده. با پیشگویی مدت ما میتوانیم عملکرد یک لینک مبتنی بر الگوریتم پیشگویی کنترل توپولوژی مبتنی بر شناختی را ارزیابی کنیم. شکل ۷ ویژگی های الگوریتم کنترل توپولوژی را از نظر درجه گره و طول مدت لینک نشان می دهد ما اجرا برای ۱۰۰ بار شبیه سازی کردیم. سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد در شکل ۸ مشاهده می شود که متوسط درجه گره و حداکثر درجه گره در توپولوژی بدست آمده کمتر از حالت بدون استفاده از کنترل توپولوژی می باشد. درجه گره کوچک، رقابت در رسانه های بی سیم با اشتراکی و تعداد RREQs در فرآیند کشف مسیر کاهش خواهد داد. متوسط درجه گره نشان می دهد یک مقدار کوچک به عنوان تعداد گره های که در شبکه افزایش می یابند، که باعث می شود شبکه های مقیاس پذیر شود. علاوه بر درجه گره، الگوریتم کنترل توپولوژی، مدت زمان لینک طولانی تری را نیز نتیجه می دهد، که در شکل ۷ (b) نشان داده شده است. این موارد باعث می شود که توپولوژی ارائه شده با ثبات تر شود و مسیر یابی مجدد در شبکه کاهش یابد.

²⁷ Reliable Ordered Multicast Protocol



(b) Link duration

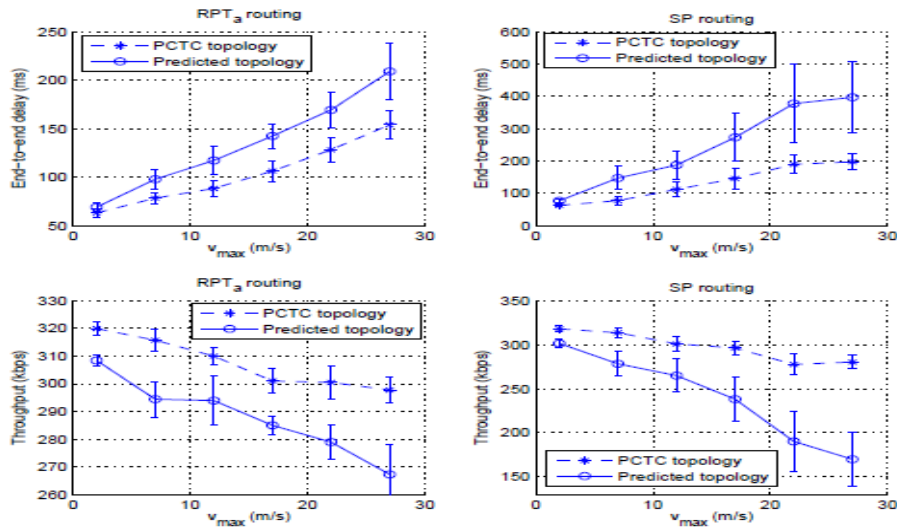
شکل 7b



(a) Node degree

شکل 7a

این توپولوژی ارائه شده با قابلیت شناختی از تداخل با کاربران اولیه اجتناب می کند. مسیریابی مبتنی بر توپولوژی ارائه شده با CR-MANET ها به خوبی سازگار است. دو معیار مسیریابی کوتاهترین مسیر²⁸ (SP) و RPTa²⁹ برای ارزیابی بهتر عملکرد الگوریتم کنترل توپولوژی بیشتر در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (8) دو معیار اصلی عملکرد، توان عملیاتی و تاخیر در مسیر یابی مبتنی بر توپولوژی پیش بینی و مسیر یابی شناختی در توپولوژی PCTC ارائه شده، نشان می دهد. در مسیریابی RPTa، هر چند مسیر در دو توپولوژی پیش بینی و توپولوژی PCTC با توجه به ویژگی 2 یکسان انتخاب شده اند، ولی توان عملیاتی و تاخیر در مسیر یابی شناختی بهتر از آن بدون کنترل توپولوژی می باشد. این به این دلیل است که درجه گره کمتر در توپولوژی PCTC ممکن است رقابت در رسانه بی سیم اشتراکی کاهش دهد و زمان دسترسی کمتری را نتیجه دهد. در مسیر یابی SP، هر چند در مسیری با تعداد هاپ بیشتر، توان عملیاتی در توپولوژی ارائه شده، بیشتر از حالت توپولوژی Ta است و همچنین تاخیر نیز کمتر است و آن به این دلیل است که مسیر در توپولوژی ارائه شده، دارای مدت زمان طولانی تر است، و در نتیجه شکسته ها کمتر و تکرار مسیریابی مجدد کمتری شود.



شکل 8

²⁸ Shortest Path

²⁹ Reliable Path with regard to T_a

۶- نقد کار(های) موجود مرتبط با مساله بیان شده: بیان نقاط قوت و ضعفها، چالشها و هم چنین آرایه زمینه های تعمیم مساله یا روش موجود

در قابلیت اطمینان و موثر مسیریابی فرصت طلبانه در شبکه های MANETs با رادیوهای شناختی، ما شبکه های MANET و الگوریتم های مسیریابی فرصت طلبانه و موثر را که دارای قابلیت بالایی باشند را مورد بررسی قرار دادیم. آقای یانگ و همکارانش [4] پروتکل ROMP را به منظور دستیابی به قابلیت اطمینان و مسیر یابی فرصت طلبانه در شبکه های MANET ارائه کردند و همانطور که نتایج شبیه سازی نشان داد این پروتکل نسبت به نمونه های ماقبل خود دارای توان عملیاتی و کارایی بالاتری میباشد و از طرفی آقای گان و همکارانش [5] کنترل PCTC که یک ماژول میان لایه، ما بین ماژول CR و مسیریابی ارائه کردند که به منظور جلوگیری از تداخل کاربران ثانویه از کاربران اولیه از پیشگویی در دسترس بودن لینک به صورت شناختی استفاده میکرد و برای تخمین اولیه مقادیر زمانی در دسترس بودن یک لینک و پایداری آن از الگوریتمی برای مسیر یابی اولیه آن استفاده میکرد. حال اگر بتوان از الگوریتم ROMP ارائه شده توسط آقای یانگ و همکارانش برای تخمین مقادیر زمانی مورد نیاز در کنترل PCTC ارائه شده توسط آقای گان و همکارانش استفاده کرد قطعاً باید به نتایج جالب و شاید عملکردهای بهتری در زمینه مسیر یابی فرصت طلبانه با رادیوی شناختی دست یافت که به عنوان یک مسئله باز قرار گیرد.

۷- فهرست مراجع

- [1] Bo Han, "Cognitive Routing for Wireless Ad Hoc Networks," August 2011. [Online]. Available: <http://wrc.ejust.edu.eg/>
- [2] Marcello Caleffi, Member, IEEE, Ian F. Akyildiz, Fellow, IEEE, and Luigi Paura, Member, IEEE, "OPERA: Optimal Routing Metric for Cognitive Radio Ad Hoc Networks," 2884 IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 11, NO. 8, AUGUST 2012
- [3] Shelly Salim and Sangman Moh, "On-demand routing protocols for cognitive radio Ad Hoc networks," Journal on Wireless Communications and Networking 2013, 2013:102
<http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2013/1/102>
- [4] WenZhong Yang , ChuanHe Huang , Bo Wang & ZhenYu Zhang (2012) "Reliable and efficient opportunistic multicast routing for MANETs," International Journal of Parallel Emergent and Distributed Systems, 27:3, 193-203, DOI: 10.1080/17445760.2011.575049. <http://dx.doi.org/10.1080/17445760.2011.575049>
- [5] Quansheng Guan*†, F. Richard Yu* and Shengming Jiang† "Topology Control and Routing in Mobile Ad Hoc Networks with Cognitive Radios," (Submitted on 29 Apr 2011). <http://arxiv.org/abs/1104.5608>
- [6] S. Selvakanmani and Dr. M. Sumathi "A REVIEW OF ROUTING PROTOCOLS FOR MOBILE COGNITIVE RADIO AD HOC NETWORKS," Submitted on 24 Jul 2012. <http://arxiv.org/abs/1207.5734>
- [7] S. Biswas and R. Morris, ExOR: Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks, in Proceedings of the ACM SIGCOM, August, 2005.
- [11] L. Kou, G. Markowsky, and L. Berman, A fast algorithm for Steiner trees, Acta Inf. 15(2)((1981), pp. 141-145.
- [12] F.K. Wang, Steiner tree problems, Networks 15(1) (1992), pp. 55-89.
- [13] E.M. Royer and C.E. Perkins, Multicast Operation of the Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol, in Proceedings of the ACM MobiCom, 1999, pp. 90-100.