

تحلیل قابلیت تحمل پذیری خطا در ایستگاههای مشترک شبکه مش WiMAX

محبوبه افضلی^(۱) - محمود فتحی^(۲) - مجید هارونی^(۳) - کمال رولنیظام ابوبکر^(۴)

(۱) کارشناسی ارشد - گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بردسیر

(۲) دانشیار - دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۳) کارشناسی ارشد - گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد

(۴) دانشیار - دانشکده کامپیوتر، دانشگاه تکنولوژی مالزی

تاریخ دریافت: بهار ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش: بهار ۱۳۹۰

خلاصه: تکنولوژی مش WiMAX بر اساس استاندارد IEEE 802.16، مکانیزمی را جهت استفاده ماکزیمم از کانال بی‌سیم، با پهنای باند بالا فراهم می‌آورد. از مزایای مهم این استاندارد، می‌توان به نرخ داده زیاد، دسترسی به پهنای باند وسیع، کیفیت سرویس بالا و محدوده پوششی وسیع با کمترین هزینه توسعه در محدوده یک شهر اشاره کرد. یکی از مهمترین چالش‌های این‌گونه از شبکه‌ها، خرابی ایستگاههای مشترک در مسیرهای ارتباطی مبتنی بر چندین گره، به دلایل مختلف نظیر کمبود انرژی، حرکت و... می‌باشد. بنابراین محاسبه پارامترهای تحمل‌پذیری خطا نظیر قابلیت انعطاف اتصال در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این مقاله سعی بر آن است که پارامترهای دسترس‌پذیری و قابلیت انعطاف اتصال سیستم یک گره و مسیر ارتباطی در مقابل خطا براساس مدل مارکوف و تحلیل ریاضی با تکنیک استفاده از چندین گره جایگزین، محاسبه گردد. تکنیک استفاده از چندین گره جایگزین، سبب افزایش مساله تحمل‌پذیری خطای یک گره می‌گردد. سپس، یک تحلیل ریاضی بر روی محاسبه قابلیت انعطاف اتصال و حداقل تعداد گره سالم در یک کلاستر مش به منظور برقراری یک ارتباط موفق انجام می‌گیرد.

کلمات کلیدی: استاندارد IEEE 802.16، زنجیره مارکوف، دسترس‌پذیری، شبکه مش WiMAX، قابلیت انعطاف اتصال.

۱- مقدمه

نسل آینده شبکه با نرخ داده زیاد، کیفیت سرویس و تامین سرویس‌های چند رسانه‌ای مشخص می‌شود. دسترسی به پهنای باند عرض^۱ BWA به دلایلی نظیر آسان‌ترین روش جهت ارتباطات بی‌سیم و اتصال به اینترنت برای دریافت سرویس‌های داده، صوت و ویدئو مورد توجه روزافزون قرار گرفته است. BWA بهترین جایگزین شبکه‌های^۲ DSL، کابلی و T1 می‌باشد.

کمیته IEEE، یک استاندارد جدید بر اساس سیستم‌های BWA جهت دسترسی بی‌سیم به اینترنت در فاصله چندین کیلومتر طراحی کرده است که IEEE 802.16 WirelessMAN [۱] نام‌گذاری شد. WiMAX^۳ [۲]، نام تجاری استاندارد IEEE 802.16 می‌باشد. این استاندارد تلاش می‌نماید تا کیفیت سرویس، نرخ داده زیاد و پوشش شبکه‌های کامپیوتری بی‌سیم را در فاصله چندین کیلومتر جهت دسترسی کاربران فراهم آورد. استاندارد IEEE 802.16a [۳] از مکانیزم‌های اشتراکی پروتکل MAC جهت دسترسی به پهنای باند وسیع در ناحیه شهری به منظور انتقال داده استفاده می‌کنند [۴].

مکانیزم‌های موثر اشتراک لایه MAC، شامل سبک‌های یک نقطه به چندین نقطه PMP^۴ و مش می‌باشد. در سبک PMP، همه گره‌ها به یک گره مرکزی متصل می‌شوند. بنابراین، همه گره‌ها بایستی در محدوده انتقال گره و انتشار دید مستقیم ایستگاه پایه قرار گیرند. در سبک مش، نیازی به ارتباط مستقیم بین ایستگاه پایه و ایستگاه‌های مشترک نیست و گره‌ها می‌توانند بدون ارتباط مستقیم، با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند. در سبک مش، هر گره می‌تواند همانند یک مسیریاب برای انتقال بسته به همسایگانش عمل نماید. بنابراین ترافیک در ایستگاه پایه متمرکز نیست و می‌تواند مستقیماً میان SSها منتقل گردد. در نتیجه، خصوصیات سبک مش به عنوان نسخه اصلاحی IEEE 802.16-2004 جمع‌آوری شد [۱].

خرابی گره‌ها در شبکه مش WiMAX به عنوان یکی از چالش‌های مهم این‌گونه از شبکه‌ها می‌باشد که اجتناب‌ناپذیر است. خرابی گره‌های BS و SS بیشترین تاثیر را بر روی کارایی شبکه‌های مش WiMAX دارد. توانایی شبکه‌ها در جلوگیری و یا مقابله با خرابی گره‌ها با ۳ پارامتر قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری و قابلیت انعطاف

۲- مروری بر استاندارد WiMAX

استاندارد IEEE 802.16a [۳]. در بردارنده مجموعه‌ای از واسط‌های مبتنی بر هوا بر روی پروتکل MAC متداول با لایه فیزیکی متناسب با طول موج‌های قابل استفاده هر منطقه می‌باشد. این استاندارد در سال ۲۰۰۱ میلادی، فرکانس 10 تا 66 گیگا هرتزی را در برداشت که طیف گسترده ایست که در تمام نقاط انتشار یافته در مسیر دید، در دسترس می‌باشد. اما به دلایل نیاز به عملکرد خارج از دید و توسعه طول موج‌های کوتاه در IEEE 802.16d، فرکانس‌های پایین‌تر 2 تا 11 گیگا هرتزی در هر دو محدوده طیف‌های با مجوز/بدون مجوز در نظر گرفته شده است. نرخ داده بین 1 تا 120 مگابیت با شعاع سلولی بین 6 تا 9 کیلومتر افزایش می‌یابد [۱۲]. این مساله سبب پشتیبانی توپولوژی مش شده است. در نتیجه، انتشار چند مسیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است.

در شبکه مش WiMAX، یک گره مرکزی وجود دارد که اتصال شبکه مش WiMAX را با یک شبکه خارجی یا اینترنت فراهم می‌نماید. گره مرکزی، به عنوان ایستگاه پایه یا BS نامگذاری می‌شود. سایر گره‌های شبکه مش WiMAX به عنوان گره‌های مشترک یا SS شناخته می‌شوند. BS، مدیریت و کنترل تمام SSها را بر عهده دارد.

هر گره‌ای که با یک لینک مستقیم با گره مورد نظر در ارتباط باشد، به عنوان همسایه گره مورد نظر شناخته می‌شود. مجموعه همسایه‌های یک گره (به عبارتی تمامی همسایه‌های در یک گام دورتر)، یک مجموعه همسایگی را تشکیل می‌دهند. مجموعه همسایگی توسعه یافته شامل همه همسایه‌های یک همسایگی (در فاصله دو گام دورتر از گره مورد نظر) می‌باشد [۱].

در مش WiMAX، BS در فاصله‌های دوره‌ای منظم، پیام MSH-NCFG^۵ شامل اطلاعات اساسی پیکربندی شبکه را به همه گره‌های مشترک می‌فرستد. هنگامی که یک SS جدید به شبکه مش متصل می‌شود، بایستی برای جستجوی MSH-NCFG به فرکانس‌های ارسالی همه گره‌های همسایه گوش دهد و یکی از همسایگانش را به عنوان گره حامی خود انتخاب نماید. سپس پیام MESH-NENT^۶ را به همراه اطلاعات NetEntryRequest برای همزمان کردن خود با شبکه به BS ارسال می‌نماید.

گره‌های مشترک در سبک مش، کانال را با مکانیزم تقسیم بازه‌های زمانی TDMA^۷ به اشتراک می‌گذارند. در این روش، کانال به بازه‌های زمانی تقسیم شده است و نیاز به تخصیص بازه‌های زمانی به هر گره SS، جهت انتقال اطلاعات می‌باشد. سبک مش با دو طرح زمان‌بندی متمرکز و توزیع شده جهت انتقال بسته‌ها در بازه‌های زمانی مشخص، همراه گشته است. طرح زمان‌بندی متمرکز مبتنی بر مدیریت تخصیص کانال به ایستگاه‌های مشترک توسط ایستگاه پایه می‌باشد. تمامی درخواست‌های پهنای باند در گره مرکزی مش پاسخ داده می‌شوند. در زمان‌بندی توزیع شده بر خلاف طرح متمرکز، هر گره، خود جداگانه مدیریت و تخصیص کانال را بر عهده دارد [۱۴-۱۳].

اتصال سیستم در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری بیان می‌شود [۵] که به عنوان محورهای مهم مورد مطالعه این گونه از شبکه‌ها می‌باشند. دسترس‌پذیری اتصال به عنوان احتمال اینکه یک اتصال، در شبکه در یک زمان مشخص برقرار باشد، تعریف می‌گردد [۶]. یک شبکه بایستی شامل یک مسیر بین مبدا و مقصد جهت برقراری اتصال باشد. از مقیاس‌های دیگر اتصال‌پذیری می‌توان به قابلیت انعطاف اتصال در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری اشاره نمود. قابلیت انعطاف اتصال به عنوان یکی از پارامترهای تحمل‌پذیری خطا است. احتمال اینکه یک شبکه متصل باقی بماند حتی اگر گره‌های خراب در شبکه وجود داشته باشد را به عنوان معیار قابلیت انعطاف اتصال در نظر می‌گیرند. به عبارتی دیگر، قابلیت انعطاف اتصال به عنوان احتمال توانایی مقاومت یک شبکه در مقابل حذف بعضی گره‌های سالم می‌باشد [۷].

اکثر مطالعات قبلی در زمینه اتصال‌پذیری بر روی شبکه‌های ad-hoc انجام شده است و متاسفانه تعداد بررسی‌های انجام شده بر روی شبکه‌های مش WiMAX، محدود می‌باشد. مدل زنجیره‌ای مارکوف، جهت محاسبه میزان دسترس‌پذیری در یک شبکه ad-hoc دو گره‌ای با در نظر گرفتن خطاهای فیزیکی نظیر خرابی گره، کاهش انرژی، خرابی لینک استفاده شده است [۸]. یک مدل عمومی اتصال‌پذیری جهت شبکه‌های ایستا ad-hoc با در نظر گرفتن تعداد زیادی گره خراب معرفی گردیده است [۹]. مدل قابلیت انعطاف اتصال در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری شبکه‌های ad-hoc با در نظر گرفتن پارامترهای پروتکل مسیریابی و محدوده‌ای که گره‌ها در آن پراکنده شده‌اند، انجام شده است [۱۰]. دسترس‌پذیری یک گره در شبکه مش WiMAX با استفاده از مدل مارکوف، به همراه پارامترهای موثر بر دسترس‌پذیری نظیر الگوریتم زمان‌بندی، انجام شده است [۱۱].

در این مقاله، یک مدل مارکوف جهت محاسبه دسترس‌پذیری و قابلیت انعطاف اتصال یک گره در مقابل خطا بر مبنای تکنیک چندین گره جایگزین ارائه شده است. سپس با استفاده از یک تحلیل ریاضی به محاسبه پارامترهای ذکر شده در یک کلاستر شبکه مش WiMAX، میان گره‌های SS می‌پردازد و حداقل تعداد گره سالم جهت تضمین اتصال‌پذیری شبکه را محاسبه می‌کند.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی می‌شود: بخش دوم به مروری اجمالی بر شبکه‌های مش WiMAX می‌پردازد. بخش سوم به معرفی تکنیک چندین گره جایگزین جهت گره حامی به منظور افزایش دسترس‌پذیری یک گره و مسیر ارتباطی می‌پردازد. در بخش چهارم، محاسبه قابلیت انعطاف اتصال یک گره در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری بر اساس مدل مارکوف انجام می‌شود. در بخش پنجم، محاسبه قابلیت انعطاف اتصال در مقابل خطا جهت دسترس‌پذیری با استفاده از یک تحلیل ریاضی بر روی یک کلاستر مش انجام می‌گیرد. نتایج عددی در بخش ششم نشان داده می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری مقاله در بخش هفتم، ارائه می‌شود.

۳- تکنیک چندین گره جایگزین جهت گره حامی

یک مسیر از ایستگاه مشترک مبدا به ایستگاه مشترک مقصد شامل n گره می‌باشد که به عنوان یک سیستم سری در نظر گرفته می‌شود. زمانی که یکی از گره‌های ارتباطی مسیر خراب شود، مسیر خراب می‌شود. فرض می‌شود که هر گره، x همسایه دارد. یکی از همسایه‌ها (گره x_1) به عنوان گره حامی و دیگر همسایه‌ها (x_2, x_3, \dots, x_n) به عنوان گره‌های جایگزین انتخاب می‌شوند. رفتار گره‌ها به صورت مستقل و نمایی فرض می‌شود. با فرض خرابی گره حامی، گرهی دیگر از سایر گره‌های جایگزین به عنوان گره حامی جهت انتقال داده انتخاب می‌گردد. زمانی که تمامی همسایه‌های یک گره خراب شود به گونه‌ای که نتوان گره حامی انتخاب نمود، گره به عنوان یک گره منفرد و خراب شده محسوب می‌گردد. بنابراین مدت زمانی که پس از آن، هیچ‌کدام از همسایه‌ها جهت یک گره در دسترس نباشد، با متغیر تصادفی T_n شناخته می‌شود.

$$T_n = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

T_n ، نشان دهنده مدت زمان بین وجود داشتن گره حامی و عدم وجود گره حامی می‌باشد. نرخ خطای گره‌های حامی و جایگزین به ترتیب با $\lambda e^{-\lambda t}$ و $\delta e^{-\delta t}$ نشان داده می‌شود. در بدترین حالت، بایستی یک گره x گره به عنوان حامی یک گره، سالم بماند تا دسترس پذیری را تضمین نماید. به عنوان مثال، اگر x_1 به عنوان گره حامی فرض گردد که با احتمال $\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}$ خراب گردد، در بدترین حالت، یکی از گره‌های جایگزین حامی سالم می‌باشد در حالی که سایر گره‌های جایگزین خراب می‌باشند. T_{x_1} به عنوان مدت زمانی است که گره x_1 در دسترس باشد.

$$T_{x_1} = \left[\begin{aligned} & \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_3 e^{-\delta_3 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_2 e^{-\delta_2 t}) \right) \\ & + \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_2 e^{-\delta_2 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_3 e^{-\delta_3 t}) \right) \\ & + \dots \\ & + \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_2 e^{-\delta_2 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_x e^{-\delta_x t}) \right) \end{aligned} \right] \quad (2)$$

بدین ترتیب معادله (۲)، جهت سایر گره‌های حامی $x_2 \dots x_n$ - محاسبه می‌گردد. تابع چگالی احتمال T_n به صورت (۳) بیان می‌شود.

$$T_n = \left[\begin{aligned} & \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_3 e^{-\delta_3 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_2 e^{-\delta_2 t}) \right) \\ & + \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_2 e^{-\delta_2 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_3 e^{-\delta_3 t}) \right) \\ & + \dots \\ & + \left((\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) (\delta_2 e^{-\delta_2 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_x e^{-\delta_x t}) \right) \\ & + \dots \\ & + \left((\lambda_x e^{-\lambda_x t}) (\delta_2 e^{-\delta_2 t}) \dots (\delta_x e^{-\delta_x t}) (1 - \delta_1 e^{-\delta_1 t}) \right) \\ & + \dots \\ & + \left((\lambda_x e^{-\lambda_x t}) (\delta_1 e^{-\delta_1 t}) \dots (\delta_{x-2} e^{-\delta_{x-2} t}) (1 - \delta_{x-1} e^{-\delta_{x-1} t}) \right) \end{aligned} \right] \quad (3)$$

بنابراین، دسترس پذیری یک مسیر شامل n گره به صورت (۴) محاسبه می‌گردد.

$$A(t) = \left[\sum_{i=1}^{i=x} (\lambda \lambda^{-\lambda_i t}) \left[\sum_{j=1, j \neq i}^{j=x} (1 - \delta_j e^{-\delta_j t}) \prod_{k=1, k \neq i, j}^{k=x} (\delta_k e^{-\delta_k t}) \right] \right]^n \quad (4)$$

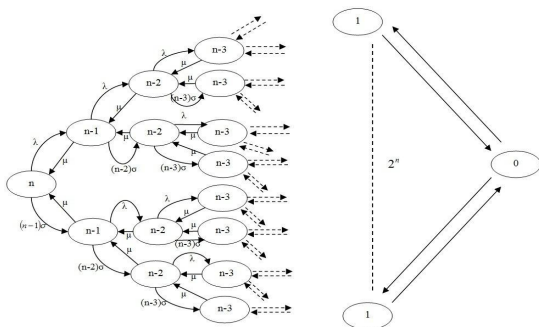
۴- محاسبه پارامتر دسترس پذیری و قابلیت انعطاف اتصال یک

گره در مقابل خطا بر اساس مدل مارکوف

در این بخش، محاسبه دسترس پذیری و قابلیت انعطاف اتصال یک گره بر اساس مدل زنجیره زمانی مارکوف انجام می‌شود. در مدل طراحی شده فرض می‌گردد که هر گره، x گره همسایه دارا می‌باشد. هر گره به هنگام ورود به یک شبکه مش WiMAX گره انتخاب شونده، یکی از همسایگانش را به عنوان گره حامی انتخاب می‌نماید. گره انتخاب شونده، دیگر همسایگانش را به عنوان گره‌های جایگزین انتخاب می‌کند.

گره مشترک فرستنده بایستی یک مسیر از مبدا به مقصد انتخاب نماید. اگر در حین عمل انتقال، گرهی به دلایلی نظیر کمبود انرژی و یا ... خراب شود، در آن صورت مسیر ارتباطی قطع می‌شود. گره خراب شده به عنوان گره حامی گره قبلی‌اش محسوب می‌شود، بنابراین گره قبلی می‌تواند گره دیگری از مجموعه گره‌های جایگزین را به عنوان گره حامی انتخاب نماید و مسیر دیگری را در نظر گیرد. بنابراین یک سیستم موازی شامل x جز با قابلیت تعمیر جهت یک گره در نظر گرفته می‌شود.

در مدل طراحی شده نرخ خرابی گره حامی λ ، نرخ خرابی گره جایگزین δ ، نرخ تعمیر μ و نرخ سوئیچ σ فرض می‌شود. همچنین، فرض می‌گردد که نرخ خرابی با توزیع نمایی مستقل بیان شود. وضعیت‌های زنجیره مارکوف با $(x, x-1, \dots, 0)$ مطابق شکل (۱) نشان داده شده‌اند. وضعیت x نشان دهنده یک گره حامی و $x-1$ گره جایگزین می‌باشد. اگر در وضعیت x ، یکی از گره‌های جایگزین با نرخ δ خراب شود، سیستم به وضعیت $x-1$ می‌رود که نشان دهنده یک گره حامی و $x-2$ گره جایگزین می‌باشد. همچنین، اگر در وضعیت x ، گره حامی با نرخ λ خراب شود، گره قبلی بایستی بر روی یکی از گره‌های جایگزین، به عنوان گره حامی با نرخ σ سوئیچ نماید و با نرخ $\lambda + \sigma$ به وضعیت $x-1$ می‌رود، زیرا یکی از گره‌های جایگزین به عنوان گره حامی انتخاب می‌گردد. در وضعیت $x-1$ ، اگر گره خراب شده حامی یا گره جایگزین تعمیر شود، به وضعیت x برمی‌گردد. به همین ترتیب، وضعیت 0 نشان دهنده این است که هیچ گرهی جهت انتخاب گره حامی در دسترس نیست و مسیر به طور کامل، خراب می‌شود و سیستم، غیر قابل دسترس می‌شود.



شکل (۱): نمودار مارکوف اتصال پذیری یک گره بر پایه روش چندین گره

جایگزین حامی

Fig. 1: Markov chain model for node connectivity based on multiple sponsor nodes

$$\sum_{i=0}^n x^i = n_1 \Rightarrow \frac{x^{n+1} - 1}{x - 1} = n_1 \Rightarrow n = \left\lceil \log_x \frac{x n_1 - n_1 + 1}{x} \right\rceil \quad (8)$$

در ادامه، احتمال متصل بودن یک کلاستر مش و همچنین حداقل احتمال دسترس پذیری یک مسیر ارتباطی- احتمال دسترس پذیری بحرانی- فرموله می گردد.

قضیه ۲: احتمال اتصال پذیری در یک کلاستر مش به صورت $A = (P_{ss})^{n_1} + n_1 (P_{ss})^{n_1-1} + (1 - P_{ss})^x (1 - P_{ss})^n$ محاسبه می گردد. **اثبات:** احتمال خرابی یک SS گره، P_{ss} فرض می شود. بدین ترتیب، احتمال سالم بودن یک گره $(1 - P_{ss})$ فرض می شود. احتمال اتصال- پذیری از مجموع احتمالات دو روش زیر محاسبه می گردد.

الف. اگر همه گره های مش، خراب فرض شود و با فقط یک گره سالم فرض شود، آنگاه یک کلاستر مش، اتصال پذیر می باشد.

$$(p_{ss})^{n_1} + n_1 (p_{ss})^{n_1-1} \quad (9)$$

اگر همه x همسایه یک گره، خراب در نظر گرفته شود، در آن صورت، یک گره در وضعیت بلاک شده قرار می گیرد. بنابراین ضروری است که از وضعیت ذکر شده جهت از بین رفتن اتصال پذیری جهت n مرحله جلوگیری شود.

$$(1 - p_{ss})^x (1 - p_{ss})^n \quad (10)$$

قضیه ۳: احتمال دسترس پذیری بحرانی مسیر بین گره مبدا و مقصد در یک کلاستر مش به معادله (۱۱) محدود می شود.

$$A_c = \left(\binom{x}{1} (1 - p_{ss}) (p_{ss})^{x-1} \right)^2 + \left(\binom{x}{2} (1 - p_{ss})^2 (p_{ss})^{x-2} \right)^{[n-2]} \quad (11)$$

اثبات: ضروری است که دو شرط زیر جهت اتصال پذیری بررسی گردد. **الف-** بایستی یک همسایه از دو گره مبدا-جهت فرستادن- و مقصد- جهت دریافت کردن- به منظور اتصال پذیری در یک مسیر، سالم بماند.

$$\left(\binom{x}{1} (1 - p_{ss}) (p_{ss})^{x-1} \right)^2 \quad (12)$$

ب- همچنین، مسیر ارتباطی بین گره SS مبدا و گره SS مقصد، بایستی از گره های SS میانی می گذرد. جهت گره های SS میانی، بایستی دو گره از x همسایه جهت فرستادن و دریافت دیتا سالم باشد. در بدترین حالت، فرض می شود که یک مسیر، طولانی ترین مسیر باشد. طولانی ترین مسیر، شامل n مرحله می باشد.

در ابتدا برای ایستگاه مشترک مبدا، بایستی یکی از x گره همسایه اش به عنوان گره حامی سالم بماند. بدین ترتیب بایستی رابطه

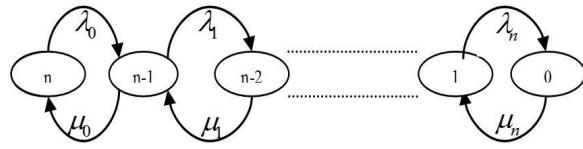
$$\binom{x}{1} (1 - P_{ss}) (P_{ss})^{x-1}$$

یکی دیگر از x همسایه اطرافش به عنوان گره حامی و یک گره قبلی جهت دریافت اطلاعات سالم بماند. در این صورت بایستی رابطه

$$\binom{x}{2} (1 - P_{ss}) (P_{ss})^{x-2}$$

مرحله رویه فوق الذکر ادامه دارد.

با ساده کردن مدل مارکوف، شکل (۲) حاصل خواهد شد.



شکل (۲): ساده شده مدل مارکوف دسترس پذیری یک گره
Fig. 2: A simplified markov model of node connectivity

$$\lambda_0 = \lambda + \sigma + (n-1)\delta, \mu_0 = \mu$$

$$\lambda_1 = \lambda + \sigma + (n-2)\delta, \mu_1 = 2\mu \quad (5)$$

...
 $\lambda_n = \lambda + \sigma, \mu_n = n\mu$
دسترس پذیری یک گره با مجموع تمامی حالات به جز وضعیت 0 قابل محاسبه می باشد.

$$A_s = \sum_{i=0}^{n-1} \left[\sum_{m=i, k=0}^{m=0, k=i} \frac{C_k^{(n-0)\dots(n-k)} (\lambda + \sigma)^m \delta^k}{m! \mu^m} \right] \quad (6)$$

که $C_k^{(n-0)\dots(n-k)}$ همه ترکیبات k تایی از $(n-0)(n-1)\dots(n-k)$ می باشد.

قابلیت انعطاف اتصال یک گره، به عنوان بیشترین تعداد گره (K_{max}) که می تواند از x همسایه یک گره در شبکه مش حذف شود، در حالی که همچنان دسترس پذیری اتصال از سطح بحرانی A_c بیشتر باشد.

$$Res(x, A_{c=k_{max}}) > A_c$$

که $A_s(x)$ ، سطح دسترس پذیری حالت پایدار مطابق معادله ۶ می باشد. مقادیر نزدیک به صفر، نشان دهنده کم بودن میزان انعطاف اتصال در مقابل خرابی گره های همسایه است. مقادیر بزرگتر، نشان دهنده بیشتر بودن انعطاف دسترس پذیری یک گره می باشد که توانایی فراهم کردن سطح بحرانی دسترس پذیری را علیرغم خرابی گره های همسایه دارد.

۵- تحلیل ریاضی پارامتر دسترس پذیری و قابلیت انعطاف اتصال یک کلاستر مش در مقابل خطا

قضیه ۱: اگر تعداد گره های SS در یک کلاستر مش n_1 باشد.

$$n = \left\lceil \log_x \frac{x n_1 - n_1 + 1}{x} \right\rceil$$

اتصال وجود دارد.

اثبات: فرض می شود که یک گره SS شامل x همسایه می باشد. یکی از x همسایه به عنوان گره حامی انتخاب می گردد. هر کدام از x گره نیز شامل x گره همسایه دیگر می باشد. بنابراین یک گره شامل x^2 گره همسایه - دو گام دورتر از یک گره می باشد. و این همسایگی تا x^n به صورت سلسله مراتبی ادامه پیدا می کند.

$$1 + x + x^2 + \dots + x^n = n_1 \quad (7)$$

با ساده کردن معادله (۷)، n به عنوان تعداد گام های دورتر از یک گره، محاسبه می شود.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، یک الگوریتم بر مبنای الگوریتم گره جایگزین جهت گره حامی به منظور افزایش دسترس پذیری یک گره ارائه شده است. این الگوریتم، یک مکانیزم جایگزین جهت اتصال سریع به هنگام خراب شدن یک گره را فراهم می آورد. در این مقاله، دسترس پذیری و قابلیت انعطاف اتصال یک گره در برابر خطا را با استفاده از مدل مارکوف بر مبنای تکنیک چندین گره محاسبه گردیده است. اگرچه این تکنیک جهت افزایش دسترس پذیری سودمند است، اما فاکتور تأخیر و سربار را نیز افزایش می دهد. که بایستی در کارهای آتی مد نظر قرار گیرند. سپس، این دو پارامتر و حداکثر تعداد گره های خراب در یک کلاستر مش بر مبنای تحلیل ریاضی میان ایستگاه های مشتری محاسبه گردیده است. لازم به ذکر است که در کارهای آتی بایستی پارامترهای ذکر شده میان ایستگاه های پایه در بین کلاسترهای مختلف مش نیز بررسی گردد و خرابی ایستگاه های پایه نیز به عنوان عامل محدود کننده در دسترس پذیری مطرح گردد.

پی نوشت:

- 1- Broadband Wireless Access
- 2- Digital Subscriber Line
- 3- Worldwide Interoperability for Microwave Access
- 4- Point to Multi point
- 5- Mesh Network Configuration
- 6- Mesh Network Entry
- 7- Time Division Multiple Access

قضیه ۴: قابلیت انعطاف اتصال در برابر خرابی گره های مشترک در یک شبکه مش WiMAX، $\frac{2n_t}{x}$ می باشد.

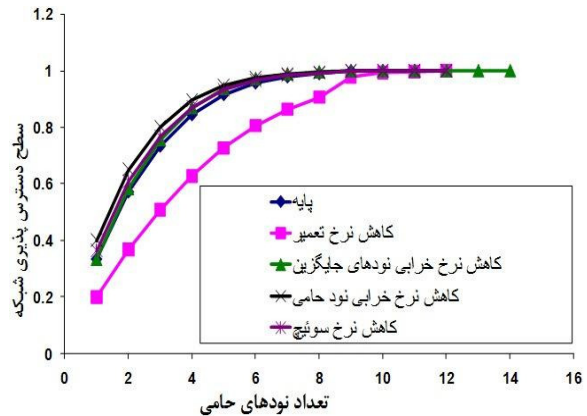
اثبات: بر طبق تعریف قابلیت انعطاف اتصال در برابر خرابی، k بایستی محاسبه شود. اگر k گره حذف شود، احتمال اتصال پذیری از حداقل احتمال اتصال پذیری بیشتر باشد. برای حداقل احتمال اتصال- پذیری، بایستی حداقل 2 گره از x گره، سالم بماند تا اتصال پذیری برقرار بماند.

$$\binom{n_t}{k} (p_{ss})^k (1-p_{ss})^{n_t-k} \geq \binom{x}{2} (1-p_{ss})^2 (p_{ss})^{x-2} \Rightarrow k \leq \frac{2n_t}{x} \quad (13)$$

۶- نتایج عددی

یک مدل بر پایه نرم افزار Matlab جهت ارزیابی کارایی روش طراحی شده در شبکه WiMAX ارائه شده است. در این سناریو، نتایج عددی ارائه می شود که مقدار دسترس پذیری را با استفاده از مدل مارکوف نشان می دهد.

دسترس پذیری سیستم، از نتایج عددی معادله (۶) با موارد نرخ های متفاوت خرابی گره حامی و سایر گره های جایگزین، نرخ تعمیر گره ها و نرخ سوئیچ بر روی گره جایگزین ارزیابی می گردد. نمودار پایه با نرخ های $\lambda = 0.3, \delta = 0.2, \mu = 0.1, \sigma = 01$ ، شکل (۳)، دسترس پذیری سیستم را در برابر تعداد گره های حامی ممکن، نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، کاهش نرخ تعمیر گره، سبب کاهش دسترس پذیری سیستم می گردد. همچنین، کاهش نرخ خرابی گره اصلی، بیشترین تاثیر را بر روی افزایش دسترس پذیری سیستم دارد.



شکل (۳): دسترس پذیری سیستم در برابر تعداد گره های حامی بر اساس روش چندین گره حامی

Fig. 3: Availability level of WiMAX network versus the numbers of sponsor node based on multiple sponsor nodes

مراجع

- [1] IEEE STD 802.16-2004 (Revision of IEEE Std 802.16-2001), "IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems", Oct. 2004.
- [2] [WiMAX Forum. WiMAX End-to-End Network Systems Architecture. Technical report, August 15 2005. Draft. Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points.
- [3] IEEE Std 802.16a-2003, "IEEE standard for local and metropolitan area networks—part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems-amendment 2: Medium access control modifications and additional physical layer specifications for 2-11 GHz", April 2003.
- [4] I.F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, "Wireless mesh networks: A survey", IEEE Comm. Mag., Vol.43, pp.23-30, Sep. 2005.
- [5] P.A. Snow, U. Varshney, D.A. Malloy, "Reliability and survivability of wireless and mobile networks", IEEE Trans. on Comp., Vol.33, No.7, pp.49-55, June 2000.
- [6] M.S. Andrew, "Algorithms for network reliability and connection availability analysis", IEEE Tran. on Reli., Vol.44, No.10, pp.309-333, 1995.
- [7] W. Najjar, J. Gaudiot, "Network resilience: A measure of network fault tolerance", IEEE Trans. on Comp., Vol.39, No.2, pp.174-181, Feb. 1990.
- [8] D.Y. Chen, S. Garg, K.S. Trivedi, "Network survivability performance evaluation: A quantitative approach with applications in wireless ad-hoc networks", In Proc. the 5th ACM Int. Work. on Mode. Anal. and Simu. of Wire. and Mob. Sys., Atlanta, Georgia, USA, pp.61-68, Sep. 2002.
- [9] J. Koroma, W. Li, "A generalized model for network survivability", In Proc. the 2003 Conf. on Dive. in Comp. (TAPIA 2003), Atlanta, Georgia, USA, pp.47-51, 2003.
- [10] D. Trajanov, S. Filiposka, M. Efnuseva, A. Grnarov, "Connection resilience to nodes failures in Ad Hoc networks", Proc. of the 12th IEEE Elect. Medi., Vol.2, pp.579-582, May 2004.
- [11] M. Afzali, V. Khatibi, M. Harouni, "Connection availability analysis in the WiMAX mesh network", The 2nd Int. Conf. on Comp. and Auto. Engi., Vol.5, pp.693-703, Feb. 2010.
- [12] The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, <http://www.wirelessman.org>.
- [13] M. Andrews, L. Zhang, "Routing and scheduling in multihop wireless networks with time-varying channels", IEEE Trans. on Algo. (TALG), Vol.3, No.3, pp.1031-1040, Aug. 2007.
- [14] S.M. Chen, P. Lin, D-W. Huang, S-R. Yang, "A study on distributed/centralized scheduling for wireless mesh network", In Proc. of the 2006 Int. Conf. on Wire. Comm. and Mob. Comp., pp599-604, Vancouver, British Columbia, Canada, 2006.