

ارائه یک روش اختصاص کانال ابتکاری در شبکه‌های چند کانالی چند رادیویی مش بی سیم

راضیه قادری، مهدی تخت فولادی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه کامپیوتر، قزوین، ایران
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، گروه کامپیوتر، تهران، ایران
مسئول مکاتبات: راضیه قادری

چکیده

شبکه‌های مش بی سیم کاربردهای فراوانی همچون دسترسی به اینترنت را دارند. یکی از مهمترین معماری‌های مطرح شده در این نوع شبکه‌ها، شبکه‌های چند رادیویی چند کانالی مش بی سیم است. از مهمترین مسائل در این نوع معماری، مسئله تخصیص کانال است. از آنجایی که شبکه‌های مش بی سیم به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند مسئله تخصیص کانال نقش حیاتی را در این نوع شبکه‌ها دارد. در این مسئله، تداخل تاثیر معکوسی را بر کارایی شبکه دارد. ارائه راه حلی جهت مسئله تخصیص کانال باید با هدف افزایش گذردهی و کاهش تداخل انجام شود. راه‌حل‌های مختلفی برای حل این مسئله ارائه شده است که از آن جمله می‌توان روش‌های ابتکاری را نام برد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از این روش‌ها، اختصاص کانال با هدف افزایش گذردهی و کاهش تداخل انجام شود. برای این منظور جهت مدیریت ساده‌تر اختصاص کانال از یک روش خوشه‌بندی استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی، شامل چهار فاز است که در آن ارتباطات بین خوشه‌ها بر اساس روش گروه‌های حداکثری در تئوری گراف و با استفاده از درجه‌ی مرزی بودن هر گره مرزی انجام می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند نرخ تحویل بسته‌ها و همچنین میزان گذردهی را افزایش دهد. علاوه بر آن میزان از دست رفتن بسته‌ها و تاخیر انتها به انتها را کاهش دهد. پس به صورت کلی کارایی شبکه مش را بهبود می‌بخشد.

واژگان کلیدی: شبکه‌های مش بی سیم، چند رادیویی چند کانالی، اختصاص کانال، خوشه‌بندی

معرفی

امروزه ارتباطات بی سیم به یکی از اجزای جدایی ناپذیر زندگی انسان‌ها تبدیل شده است. افزایش روزافزون تقاضا برای خدمات بی سیم، باعث ظهور فناوری‌های جدید در این حوزه شده است. یکی از این فناوری‌های نوید بخش شبکه‌های مش بی سیم^۱ است که در ارتباطات بی سیم مورد توجه می‌باشد. شبکه‌های مش به دلیل فواید فراوان و همین طور نرخ ارسال داده بالا و هزینه پایین و انعطاف‌پذیری، بسیار مورد توجه هستند. یک شبکه مش متشکل از چندین گره^۲ است که عبارتند از: مسیریاب‌های مش^۳ و کاربران مش^۴ است. مسیریاب‌ها دارای حداقل قابلیت حرکت می‌باشند و زیربنای شبکه را تشکیل می‌دهند. از کاربردهای این نوع شبکه‌ها در زمینه‌ی دسترسی به اینترنت است. (2005, Akyildiz, Wang and et al)

ظرفیت شبکه‌های مش به دلیل تداخل کاهش می‌یابد و این یکی از مسائل اساسی در این نوع شبکه‌هاست. امروزه شبکه‌های چند کانالی چند رادیویی با گره‌هایی که مجهز به چندین واسطه^۵ هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این صورت تداخل کاهش یافته و کارایی شبکه بالا می‌رود. در این حالت هر گره می‌تواند به صورت همزمان با گره‌های همسایه خود ارسال و دریافت داشته باشد. بسیاری از روش‌های اختصاص کانال با هدف بهبود کارایی شبکه طراحی شده‌اند. در خیلی از این روش‌ها از خوشه‌بندی استفاده شده‌است تا اینکه میزان پیچیدگی اختصاص کانال کاهش یابد. در این حالت شبکه به خوشه‌هایی تقسیم شده و اختصاص کانال به صورت محلی در هر کدام از خوشه‌ها انجام می‌شود. (2012, Ding, Xue and et al)

¹ Wireless Mesh Network

² Nodes

³ Mesh Routers

⁴ Mesh Clients

⁵ Interface

بر اساس مقاله ۲، بسته به مکان جغرافیایی، لینک‌های متداخل می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند که عبارتند از لینک‌های متداخل هماهنگ و لینک‌های متداخل غیرهماهنگ. در مقایسه با لینک‌های متداخل هماهنگ لینک‌های متداخل غیر هماهنگ منجر به از دست رفتن میزان داده‌ی بالاتری می‌شوند و در نتیجه سبب توزیع ناعادلانه ظرفیت، بین لینک‌ها می‌شوند. بر طبق مقاله ۳ (2009, Naveed and Kanhere) که در آن روش CCAS مطرح شده است سطوح مختلف لینک‌های متداخل بررسی می‌شوند. الگوریتم خوشه‌بندی این روش مشابه شبکه‌های سلولی است. اما اطلاعات مکانی گره‌ای که مورد استفاده‌ی فرآیند خوشه‌بندی است مشکل به دست می‌آید. الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس سلول‌های ثابت که مورد استفاده‌ی این روش است مناسب توپولوژی تصادفی نیست. گره‌های موجود در خوشه‌های یکسان نمی‌توانند با گره‌هایی که در دو گامی خود هستند ارتباط برقرار کنند. در مقاله ۲ یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر گروه‌بندی^۶ با نام CCCA مطرح شد که در آن نیز سطوح مختلف لینک‌های متداخل بررسی می‌شود. هدف این است که تداخل غیر هماهنگ حذف شده و تداخل هماهنگ کاهش یابد. در این روش شبکه بر اساس گراف تداخل و با استفاده از روش گروه‌های حداکثری^۷ به خوشه‌های مجزایی تقسیم می‌شود. از آنجایی که گراف تداخل به راحتی می‌تواند از روابط ارتباطی بین گره‌ها در شبکه به دست آید اطلاعات مکانی بیشتری مورد نیاز نیست. پس انعطاف‌پذیری این روش از CCAS بیشتر است. در این روش هر خوشه نشاندهنده یک حوزه تداخلی است. در این مقاله از روش خوشه‌بندی مطرح شده در مقاله ۲ استفاده شده است. گره‌ها در یک خوشه به جهت اینکه همواره متصل باقی بمانند از یک کانال پیش فرض برای ارتباطات درون خوشه ای استفاده می‌کنند. کانال‌های متعامد طوری به عنوان کانال پیش فرض خوشه‌های همسایه اختصاص پیدا می‌کنند که تداخل غیر هماهنگ تا حد امکان حذف شود. برخلاف مقاله ۲ جهت کاهش تداخل از دو واسط جهت مرتبط ساختن خوشه‌های مجاور استفاده می‌شود. در این صورت با استفاده از روش ساختن حداکثر گروه‌ها در تئوری گراف و از طریق درجه‌ی مرزی بودن هر گره، برای هر گره‌ی مرزی، حداکثر دو گروه ساخته شده و به گره‌های هر گروه کانالی اختصاص می‌یابد. کانالی که به واسط‌های بین خوشه‌ها اختصاص پیدا می‌کند باید متفاوت از کانال پیش فرض خوشه‌های همسایه باشد تا آنکه میزان تداخل کاهش یابد. نهایتاً به واسط‌های درون خوشه ای باید کانالی اختصاص داده شود که در دو گامی یک گره حداقل استفاده را دارد. برای ارزیابی این روش از نرم افزار NS2 استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش کارایی شبکه را بهبود می‌بخشد. ادامه این مقاله به صورت زیر است: در قسمت ۲ مفاهیم، مدل شبکه و فرمول‌سازی مسئله مطرح شده و در ادامه الگوریتم پیشنهادی در قسمت ۳ بیان می‌شود. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی نیز در قسمت ۴ مطرح شده و در قسمت ۵ نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

مفاهیم و مدلسازی شبکه

در این قسمت ابتدا مفاهیم مورد نیاز در مدلسازی شبکه مطرح شده و در ادامه مدل شبکه و فرموله سازی مساله ارائه می‌گردد.

گراف توپولوژی شبکه

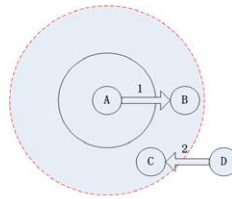
اگر k کانال در یک شبکه به صورت $C_1, C_2, C_3, \dots, C_k$ موجود باشد و I_i تعداد واسط‌های گره‌ی i باشد، در صورتی که هر کدام از جفت گره‌ها درون محدوده‌ی انتقالی مشترک، حداقل یک واسط داشته باشند که بر روی کانال مشترکی کار کند، در این صورت یالی بین آن دو گره در توپولوژی شبکه وجود خواهد داشت. (2008, Crichigno, Wu and et al)

لینک‌های متداخل هماهنگ و لینک‌های متداخل غیر هماهنگ

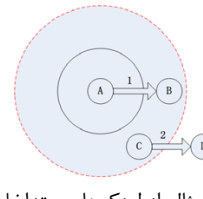
به طور کلی لینک‌های متداخل به دو گروه لینک‌های متداخل هماهنگ و لینک‌های متداخل غیرهماهنگ تقسیم‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی بر اساس فاصله‌ی جغرافیایی دو لینک متداخل انجام می‌شود. بر اساس این تقسیم‌بندی در صورتی که دو لینک (A, B) و (C, D) وجود داشته باشد و فاصله‌ی بین A و C کمتر از محدوده‌ی تداخلی R' باشد، در این صورت این دو لینک در گروه لینک‌های متداخل هماهنگ قرار داده می‌شوند و در غیر این صورت این لینک‌ها در گروه لینک‌های متداخل غیر هماهنگ قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در شکل‌های ۱ و ۲ این دو گروه نشان داده شده است.

⁶ Cliuqe

⁷ Maximal Cliques



شکل ۲: یک مثال از لینک‌های متداخل غیرهمانگ



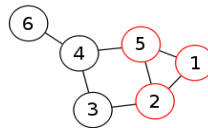
شکل ۱: یک مثال از لینک‌های متداخل همانگ

در این شکل‌ها دایره‌ی پررنگ نشان‌دهنده‌ی محدوده‌ی انتقالی است و دایره‌ی نقطه‌چین نشان‌دهنده‌ی محدوده‌ی تداخلی گره‌ی A همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود لینک ۲ یک لینک همانگ با لینک ۱ است. در این حالت انتقالات دو جریان A و C در محدوده‌ی انتقالی یکدیگر هستند. هر دو دسته از لینک‌های متداخل کارایی شبکه را کاهش می‌دهند، اما لینک‌های متداخل غیرهمانگ منجر به از دست دادن نرخ بالاتری از بسته‌ها می‌شوند. بنابراین در تخصیص کانال ابتدا باید اولویت با حذف لینک‌های متداخل غیر همانگ باشد و پس از آن باید لینک‌های متداخل همانگ تا حد امکان کاهش یابد.

مسئله‌ی گروه‌بندی

در تئوری گراف یک گروه عبارت است از گرافی غیرجهت‌دار که شامل زیرمجموعه‌ای از رئوس می‌باشد که در آن هر دو راس توسط یالی به یکدیگر متصل شده باشند. به عبارت دقیق‌تر یک گروه در یک گراف غیر جهت‌ی $G(V,E)$ یک زیرمجموعه از رئوس مثل C است به طوری‌که تمام اعضای C عضو مجموعه‌ی V باشد و در آن به ازای هر دو راس در C یالی بین آنها در گراف G وجود داشته باشد. بر اساس تعریف ارائه شده نتیجه گرفته می‌شود که یک گروه گرافی کامل است. در گراف کامل بین تمام رئوس گراف حتماً یالی وجود خواهد داشت. (Tomita, Akutsa and et al)

گروه‌ها یکی از مفاهیم اصلی در تئوری گراف هستند و کاربردهای زیادی در مسائلی که توسط گراف‌ها مدل می‌شوند دارند. به طور کلی کاربرد مسئله-ی گروه‌بندی در علوم کامپیوتر در جاهایی مطرح می‌شود که در آن هدف پیدا کردن زیر گراف‌هایی کامل باشد. یکی از کاربردهای گروه‌بندی استفاده از آن در ساختن خوشه‌ها و اختصاص کانال است. مسئله‌ی گروه‌بندی در حوزه‌ی مسائل سخت قرار داده می‌شود. دو مفهوم اصلی در مسئله‌ی گروه‌بندی، گروه‌های حداکثری و بزرگترین گروه^۸ است. یک گروه حداکثری، گروهی است که نمی‌تواند با راس دیگری جز اعضای خودش گسترش یابد. به عبارت دیگر یک گروه حداکثری گروهی کامل است که خود نمی‌تواند زیر مجموعه‌ی یک گراف کامل بزرگتر باشد. اگر تمامی گروه‌های حداکثری در گرافی محاسبه شوند در بین آنها گروهی که حداکثر اعضا را دارد بزرگترین گروه نامیده می‌شود. این دو مفهوم در گراف شکل ۳ نشان داده می‌شود.



شکل ۳: یک مثال از مساله گروه‌بندی

گراف تداخل

گراف تداخل، گراف غیرجهتی $G(V,E)$ است که در آن V مجموعه مسیربای‌های مش است و E هم مجموعه لینک‌های متداخل است. لینک‌های متداخل بین هر دو گره‌ای که در فاصله تداخلی هم باشند وجود خواهد داشت و این به معنای آن است که گره‌ها می‌توانند انتقال یکدیگر را حس کرده و از برخورد جلوگیری کنند. (2011, Ding and Xiao)

مدل شبکه

فرض بر این است که شبکه‌ی مش از تعدادی مسیربای تشکیل شده و هر گره حداقل به سه واسط مجهز شده است. تعداد کانالها مطابق با استاندارد ۸۰۲.۱۱a محدود و برابر با ۱۲ کانال است. یکی از گره‌ها به عنوان دروازه در نظر گرفته می‌شود. هر گره توسط دروازه به اینترنت دسترسی پیدا می‌کند. تمامی گره‌ها می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم به دروازه متصل گردند.

در این روش، توپولوژی شبکه با گراف غیرجهتی $G_T(V_T, E_T)$ نشان داده می‌شود به طوری‌که در آن، مجموعه‌ی $V_T = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعه‌ی رئوس گراف است که نشان دهنده‌ی مسیربای‌هاست و مجموعه‌ی $E_T = \{e(i,j) | v_i \in V_T, v_j \in V_T\}$ مجموعه‌ی لینک‌های بین گره‌ها را نشان می‌دهد. در این صورت v_i گره مبدا و v_j گره مقصد است. در صورتی بین دو گره لینکی موجود خواهد بود که این دو گره در حوزه فرکانسی یکدیگر بوده و از کانال مشترکی استفاده کنند. به واسط‌های یک گره ممکن است کانال‌های متفاوتی در صورتی که موجود باشد، اختصاص یابد.

⁸ Maximum Clique

در این الگوریتم یکی از واسطها به عنوان واسط پیش فرض تنظیم می شود. محدوده‌ی انتقالی و محدوده‌ی تداخلی ثابت هستند و همه‌ی گره‌ها با توان ثابتی عملیات انتقال را انجام می دهند. محدوده‌ی تداخلی دو برابر محدوده‌ی انتقالی است. مدل تداخلی مورد استفاده در این روش، مدل پروتکلی است، در این صورت تداخل با گراف $G(V, E)$ مدل می شود. به طوریکه در آن مجموعه‌ی $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعه‌ی مسیریاب‌هاست و مجموعه‌ی $V, v_j \in V, E = \{e(i, j) | v_i \in V\}$ مجموعه‌ی گره‌هایی را نشان می دهد که در فاصله‌ی دو گامی از یکدیگر هستند و با یکدیگر تداخل دارند. بر اساس گراف توپولوژی تمامی همسایگان یک گامی با هر گره‌ی v_i در مجموعه‌ی OHN_i قرار داده می شوند. علاوه بر آن با توجه به گراف تداخل تمامی همسایگان دو گامی با گره‌ی v_i در مجموعه‌ی THN_i قرار می گیرند. همچنین برای هر گره‌ی v_i مجموعه‌ی CH_i شامل تمام کانال‌هایی است که به واسط‌های آن گره اختصاص داده می شود.

الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت به اختصار الگوریتم اختصاص کانال پیشنهادی شرح داده می شود. الگوریتم پیشنهادی یک روش ایستا، مبتنی بر گراف و متمرکز است که در آن از یک دروازه جهت اتصال به اینترنت استفاده می شود. دروازه عملیات تخصیص کانال را نیز بر عهده دارد. روش پیشنهادی از یک روش خوشه‌بندی جهت ساختن گروه‌هایی مجزا استفاده می کند. به طور کلی این روش شامل ۴ فاز است که عبارتند از:

- فاز ۱: خوشه‌بندی
 - فاز ۲: اختصاص کانال به واسط پیش فرض گره‌های هر خوشه
 - فاز ۳: اختصاص کانال به گره‌های مرزی، جهت ارتباط برقرار کردن بین خوشه‌ها
 - فاز ۴: اختصاص کانال به سایر واسط‌های درون هر خوشه
- در ادامه جزئیات هر یک از این فازها به اختصار شرح داده خواهد شد.

فاز اول: خوشه‌بندی

در زمان راه‌اندازی شبکه، در ابتدا واسط‌های پیش فرض تمامی گره‌ها به کانال مشترکی گوش می دهند تا آنکه ارتباط بین آنها برقرار گردد. در فاز نخست هر گره بسته‌های سلام^۹ را برای همسایگان یک گامی خود پخش همگانی می کند تا آنکه همسایگان خود را شناسایی کرده و لیستی از آنها را تولید کند و آن لیست را به همراه شناسه‌ی خود به دروازه ارسال کند. دروازه با استفاده از این اطلاعات گراف توپولوژی شبکه یا $G_T = (V_T, E_T)$ را به دست آورده و در ادامه گراف تداخل یا $G = (V, E)$ را با استفاده از گراف توپولوژی تولید می کند. همانطور که در قسمت قبل ذکر شد محدوده‌ی تداخلی دو گام در نظر گرفته شده است. گراف تداخل می تواند توسط افزودن یال‌هایی بین یک گره و همسایگان دو گامی آن تولید شود. با استفاده از گراف توپولوژی تمام گره‌هایی که در فاصله‌ی دو گامی یکدیگر هستند شناسایی شده و یالی بین آنها در گراف تداخل ایجاد می گردد.

پس از طی این مراحل، دروازه الگوریتم خوشه‌بندی را با استفاده از گراف تداخل به صورتی که در ادامه خواهد آمد اجرا می کند. اینکه شبکه چگونه به خوشه‌هایی تقسیم شود که حداقل همپوشانی را با هم داشته باشند می تواند به عنوان یک مسئله گروه‌بندی مطرح گردد. اینگونه مسائل در طبقه‌ی مسائل سخت هستند. در این فاز سعی شده است با هدف کاهش پیچیدگی مسئله از الگوریتم ابتکاری مطرح شده در مقاله ۲ جهت عملیات خوشه‌بندی استفاده گردد.

الگوریتم خوشه‌بندی شامل دو فاز است که عبارتند از: محاسبه گروه‌ها و تنظیم گروه‌ها. در این الگوریتم جهت تولید هر خوشه از گره‌ی انتخابی v_i دو مرحله طی می شود که عبارتند از: تولید یک زیرگراف از گره‌هایی که بر اساس گراف تداخل در فاصله‌ی دو گامی گره‌ی v_i است و به دست آوردن یک حداکثر گروه در زیر گراف. پس از آن گره‌های بررسی نشده در مجاورت گره‌ی v_i بر اساس مجموعه‌ی OHN_i به حداکثر گروه ساخته شده اضافه می شوند و آن گروه به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می شود. هر خوشه شامل شناسه‌ی خوشه و لیست شناسه‌ی گره‌های آن خوشه است. در ادامه فرآیند تنظیم برای سایر گره‌های باقیمانده و همچنین تمام خوشه‌هایی که حداکثر دو عضو دارند، انجام می شود. در این صورت جهت متعادل‌سازی بار شبکه گره‌های باقی مانده به نزدیکترین خوشه‌هایی اضافه می شوند که حداقل تعداد گره را دارند. علاوه بر آن گره‌های تمام خوشه‌هایی که حداکثر دو عضو دارند، به خوشه‌های مجاور افزوده می شود.

فاز دوم: اختصاص کانال به واسط پیش فرض گره‌های هر خوشه

در فاز دوم لازم است جهت برقراری ارتباط اولیه بین گره‌های درون هر خوشه به واسط پیش فرض گره‌های هر خوشه کانالی اختصاص یابد. کانالی که به گره‌های هر خوشه اختصاص می یابد باید متفاوت از کانال‌هایی باشد که به خوشه‌های مجاور هر خوشه اختصاص داده می شود. این عمل سبب کاهش تداخل می گردد. بر این اساس کانال اختصاص داده شده به گره‌ی v_i به مجموعه کانال‌های آن افزوده خواهد شد.

فاز سوم: اختصاص کانال به گره‌های مرزی جهت ارتباط برقرار کردن بین خوشه‌ها

⁹ Hello Packet

در این فاز جهت برقراری ارتباط بین خوشه‌های مجاور لازم است به رادیوهای گره‌های مرزی کانالی اختصاص داده شود. بر این اساس با توجه به گراف توپولوژی تمامی گره‌های مرزی در مجموعه‌ای با عنوان BOR قرار داده می‌شوند. از آنجایی که مبنای انتخاب گره‌های مرزی جهت تخصیص کانال بر اساس درجه‌ی مرزی بودن هر گره است، بنابراین لازم است با توجه به گراف توپولوژی درجه‌ی مرزی بودن تمام گره‌های مرزی مشخص شود. درجه‌ی مرزی بودن با توجه به اینکه هر گره با چه تعداد گره در خوشه‌های دیگر هم‌جوار است، مشخص می‌گردد. درجه‌ی مرزی گره‌ی v_i با BO_i نمایش داده می‌شود. حداکثر تعداد واسطه‌هایی که در این مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرند ۲ تاست. با توجه به این محدودیت، مجموعه‌ای با نام LIM در نظر گرفته می‌شود. این مجموعه شامل تمامی گره‌های مرزی است که مورد بررسی قرار نگرفته‌اند و تعداد کانال‌های اختصاص داده شده به آنها ۳ تا خواهد شد. در ادامه تعداد اعضای مجموعه‌ی LIM مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که در این مجموعه عضوی وجود داشت یکی از گره‌های موجود در این مجموعه انتخاب می‌شود اما اگر این مجموعه فاقد عضو باشد از بین اعضای مجموعه‌ی BOR گره‌ای که بزرگترین درجه‌ی مرزی بودن را داراست، انتخاب می‌گردد. بر اساس توضیحات فوق الگوریتم اختصاص کانال به گره‌های مرزی و همچنین الگوریتم بررسی محدودیت گره‌های مرزی بررسی نشده، مطابق شکل ۴ و ۵ خواهد بود.

```

given topologh graph  $G_T=(V_T,E_T)$ 

for  $\forall v_i \in BOR$ 

    according to the graph topology calculate  $BO_i$ 

end for

While  $LIM \neq \emptyset$  do

    Select  $v_i$  from  $LIM$ 

        AssingChannels_Inter ( $v_i$ )

end while

search for  $v_i$  with maximum  $BO_i$  from  $BOR$ 

AssingChannels_Inter ( $v_i$ )
    
```

PROCEDURE Update_Lim (v_z)

```

if  $|CH_z|=3$  then

     $LIM = LIM \cup v_z$ 

end if
    
```

شکل ۵: الگوریتم بررسی محدودیت گره‌های مرزی

در ادامه رویه‌ی AssingChannels_Inter اجرا خواهد شد. بر این اساس به ازای هر گره‌ی انتخابی v_i زیر گراف G'_i با استفاده از تمامی همسایگان تک گامی هم‌جوار در خوشه‌های دیگر تولید خواهد شد. در زیرگراف به دست آمده در صورتی که هر یک از گره‌های هم‌جوار با گره‌ی انتخابی v_i ، در مجموعه‌ی گره‌های مرزی بررسی نشده موجود باشند و حداکثر با گره‌ی انتخابی v_i یک کانال مشترک داشته باشند، الگوریتم حداکثر گروه برای آنها اجرا خواهد شد. نهایتاً تمام گروه‌های حداکثری گره‌ی v_i به صورت $MCL_{i,k}$ از زیرگراف استخراج خواهند شد. در این حالت اگر تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده یا K_i بیش از ۲ تا بود، ابتدا ۲ تا از گروه‌هایی که حداکثر تعداد اعضا را دارا هستند با نام‌های A و B انتخاب می‌شوند. هر یک از اعضای سایر گروه‌ها به گروهی اضافه می‌شوند که با تعداد کمتری از گره‌های آن گروه در فاصله‌ی دو گامی باشد. اگر تعداد گروه‌ها ۲ تا بود یکی A و دیگری B نامگذاری می‌شود و اگر تنها یک

گروه وجود داشت آن گروه A نامیده خواهد شد. در پایان اجرای الگوریتم، BO_i برای گرهی v_i صفر شده و گرهی v_i از مجموعهی BOR و در صورت وجود از مجموعهی LIM نیز حذف خواهد شد. الگوریتم رویه‌ی $AssingChannels_Inter$ در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است.

PROCEDURE $AssingChannels_Inter(v_i)$

get the subgraph G'_i of OHN_i

for $\forall v_j \in G'_i$

if $((|CH_i \cap CH_j| \leq 1) \ \&\& \ v_j \in BOR)$

calculate all of the maximal cliques $MCL_{i,k}$ in G'_i

end if

end for

if $K_i > 2$ then

search for A and B

for $z=1$ to k

if $((MCL_{i,z} \neq A) \ \&\& \ (MCL_{i,z} \neq B))$ then

for $\forall v_j \in MCL_{i,z}$

add v_j in A or B with minimum THN_j

remove v_j from $MCL_{i,z}$

end for

end if

end for

if $K_i = 2$ then

select A and B

else if $K_i = 1$ then

select for A

end if

```
if  $K_i=2$  then  
    select  $A$  and  $B$   
else if  $K_i=1$  then  
    select for  $A$   
end if  
if  $|CH_i|=3$   
    if  $K_i=1$  then  
        AssingChannels_Inter1 ( $A$ )  
    else  
        AssingChannels_Inter1 ( $A$ )  
        AssingChannels_Inter1 ( $B$ )  
    end if  
if  $|CH_i|=2$  then  
    if  $K_i=1$  then  
        AssingChannels_Inter2 ( $A$ )  
    else  
        AssingChannels_Inter3 ( $A,B$ )  
    end if  
else  
    if  $K_i=1$  then  
        AssingChannels_Inter2 ( $A$ )  
    else  
        AssingChannels_Inter2 ( $A$ )  
        AssingChannels_Inter2 ( $B$ )  
    end if
```

در ادامه مجموعه کانال های گرهی انتخابی v_i مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در صورتی که تعداد اعضای مجموعه کانال های گرهی v_i سه تا بود و تعداد گروه های حداکثری ساخته شده یکی بود، رویه ی AssingChannels_Inter1 برای گروه حداکثری A اجرا خواهد شد. در این صورت مجموعه کانال های تک تک گره های دو گامی گره های گروه حداکثری A ، با استفاده از رویه ی UseChannel به مجموعه ی U_A افزوده می شود. در این شرایط از بین کانال های مجموعه کانال های گرهی v_i ، کانالی با عنوان CHA_a که حداقل تکرار را در U_A دارد انتخاب شده و مطابق با رویه ی AssingChannels به مجموعه کانال های گروه حداکثری A افزوده می شود. با توجه به این توضیحات الگوریتم رویه های AssingChannels_Inter1 و UseChannel و AssingChannels به ترتیب در اشکال ۸ و ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

PROCEDURE AssingChannels_Inter1 (Z)

$U_Z = \emptyset$

UseChannel(Z, U_Z)

search for CHA_a with minimum number from U_Z

AssingChannels(Z, CHA_a)

شکل ۸: الگوریتم رویه ی AssingChannels_Inter1

PROCEDURE UseChannel(X, U_X)

for $\forall v_j \in X$

for $\forall v_k \in THN_j$

$U_X = U_X \cup CH_k$

end for

end for

شکل ۹: الگوریتم رویه ی UseChannel

PROCEDURE AssingChannels(W, CHA_z)

for $\forall v_i \in W$

$CH_i = CH_i \cup CHA_z$

Update_Lim (v_i)

end for

شکل ۱۰: الگوریتم رویه ی AssingChannels

اما اگر تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده بیش از یکی بود، رویه‌ی AssingChannels_Inter1 برای هر دو گروه حداکثری A و B اجرا خواهد شد. بر این اساس مجموعه کانال‌های تمام گروه‌های دو گامی گروه‌های حداکثری A و B ، به ترتیب به مجموعه‌ی U_A و U_B افزوده شده و از بین کانال‌های مجموعه کانال‌های گروه i ، v_i کانالی که حداقل تکرار را در U_A و U_B دارد انتخاب شده و به ترتیب به مجموعه کانال‌های گروه‌های حداکثری A و B افزوده می‌شود.

در صورتیکه تعداد اعضای مجموعه کانال‌های گروه i دو تا بود و تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده یکی بود، رویه‌ی AssingChannels_Inter2 اجرا خواهد شد. بر این اساس ابتدا مجموعه کانال‌های تک تک گروه‌های دو گامی گروه‌های حداکثری A ، به مجموعه‌ی U_A افزوده می‌شود. در ادامه جهت بررسی اینکه مجموعه کانال‌های آزاد یا AV جهت استفاده موجود می‌باشد یا خیر، رویه‌ی SelectChannels اجرا خواهد شد. بر این اساس مجموعه‌ی U_A از مجموعه کانال‌های شبکه یا CH کاسته می‌شود. در صورتی که کانال آزادی موجود نبود، کانالی که حداقل تکرار را در U_A دارد انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گروه‌های حداکثری A افزوده می‌شود. اما اگر کانال آزادی وجود داشت یکی از کانال‌های مجموعه‌ی AV انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گروه‌های حداکثری A اضافه می‌شود. با توجه به این توضیحات الگوریتم رویه‌های AssingChannels_Inter2 و SelectChannels و به ترتیب در اشکال ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

PROCEDURE AssingChannels_Inter2 (M)

$U_M = \emptyset$

UseChannel(A, U_M)

SelectChannels(U_M)

AssingChannels(M, CHA_m)

شکل ۱۱: الگوریتم رویه‌ی AssingChannels_Inter2

PROCEDURE AssingChannels_Inter2 (M)

$U_M = \emptyset$

UseChannel(A, U_M)

SelectChannels(U_M)

AssingChannels(M, CHA_m)

شکل ۱۲: الگوریتم رویه‌ی SelectChannels

PROCEDURE SelectChannels(U)

$AV = CH - U$

if $AV \neq \emptyset$ **then**

select CHA_Z from AV

else

search for CHA_Z with minimum number from U

حال اگر تعداد اعضای مجموعه کانال‌های گرهی v_i دو تا بود و تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده بیش از یکی بود، رویه‌ی AssingChannels_Inter3 اجرا خواهد شد. بر این اساس ابتدا مجموعه کانال‌های تک تک گره‌های دو گامی گره‌های گروه‌های حداکثری A و B ، به ترتیب به مجموعه‌ی U_A و U_B اضافه شده و پس از آن بررسی می‌شود که از مجموعه کانال‌های گرهی v_i کدامیک در کل مجموعه‌های U_A و U_B کمتر تکرار شده است. اگر کانال مورد نظر در مجموعه‌ی U_A قرار داشت، این کانال به تمام گره‌های گروه حداکثری A افزوده می‌شود و پس از آن مجموعه‌ی U_B از مجموعه کانال‌های شبکه یا CH کاسته می‌شود. در صورتی که کانال آزادی موجود نبود، کانالی که حداقل تکرار را در U_B دارد انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گره‌های گروه حداکثری B افزوده می‌شود. اما اگر کانال آزادی موجود بود یکی از کانال‌های مجموعه‌ی AV انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گره‌های گروه حداکثری B افزوده می‌گردد. اگر کانال مورد نظر در مجموعه‌ی U_B قرار داشت، این کانال به تمام گره‌های گروه حداکثری B اضافه شده و پس از آن مجموعه‌ی U_A از مجموعه کانال‌های شبکه یا CH کاسته می‌شود. در صورتی که کانال آزادی موجود نبود، کانالی که حداقل تکرار را در U_A دارد انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گره‌های گروه حداکثری A اضافه می‌شود. اما اگر کانال آزادی وجود داشت یکی از کانال‌های مجموعه‌ی AV انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های گره‌های گروه حداکثری A افزوده می‌گردد. با توجه به توضیحات ارائه شده الگوریتم رویه‌های AssingChannels_Inter3 در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

PROCEDURE AssingChannels_Inter3 (A,B)

$U_A = \emptyset$

UseChannel(A, U_A)

$U_B = \emptyset$

UseChannel(B, U_B)

search for CHA_a with minimum number from U_A

search for CHA_b with minimum number from U_B

if $|CHA_a| \geq |CHA_b|$ **then**

 AssingChannels(B, CHA_b)

 SelectChannels(U_A)

 AssingChannels(A, CHA_a)

else

 AssingChannels(A, CHA_a)

 SelectChannels(U_B)

 AssingChannels(A, CHA_b)

end if

اما اگر تعداد اعضای مجموعه کانال‌های گرهی v_i کمتر از دو تا بود و تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده یکی بود، رویه‌ی AssingChannels_Inter2 به ازای گروه حداکثری A اجرا خواهد شد. اگر تعداد گروه‌های حداکثری ساخته شده بیش از یکی بود، همین روند برای هر دو گروه حداکثری A و B تکرار خواهد شد.

فاز چهارم: اختصاص کانال به سایر واسطه‌های درون هر خوشه

در فاز چهارم جهت اختصاص کانال به سایر واسطه‌های گره‌ها درون هر خوشه کانالی که حداقل استفاده را در فاصله‌ی دو گره‌ای که در فاصله‌ی انتقالی هم هستند، دارد انتخاب شده و به مجموعه کانال‌های هر دو گره افزوده می‌شود. در این صورت تداخل هماهنگ کاهش می‌یابد. بعد از انجام این ۴ فاز، کانال هر واسطه ثابت می‌شود. پس از آن دروازه اطلاعات خوشه را به هر سرخوشه تحویل می‌دهد. این اطلاعات عبارتند از: شناسه‌ی خوشه، شناسه‌ی سرخوشه، لیست شناسه‌ی گره‌های هر خوشه و کانال‌های اختصاص داده شده به هر گره. پس از دریافت اطلاعات، سرخوشه‌ها آنها را برای گره‌های خوشه خود پخش همگانی می‌کنند. گره‌ها پس از دریافت اطلاعات، کانال‌های خود را تنظیم می‌کنند. در این شرایط اختصاص کانال خاتمه می‌یابد.

نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی

جهت عملیات شبیه‌سازی، شبکه از تعدادی مسیریاب تشکیل شده‌است که همان گره‌های شبکه هستند. مسأله تخصیص کانال بر روی همین مسیریاب‌ها تعریف می‌شود. این گره‌ها دارای چندین واسطه شبکه هستند. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، تعداد واسطه‌ها برای تمامی گره‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. گره‌ها حداقل ۳ واسطه دارند. استاندارد مورد استفاده ۸۰۲.۱۱a است که از ۱۲ کانال متعامد تشکیل شده است. این کانال‌ها می‌توانند توسط واسطه‌های گره‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند، به گونه‌ای که چندین ارتباط می‌تواند به صورت همزمان برقرار شود. تعداد گره‌های موجود در شبیه‌سازی ۳۶ تاست و یکی از این گره‌ها به عنوان دروازه در نظر گرفته می‌شود. این گره‌ها در یک محیط 1000×1200 متر مربع به صورت تصادفی توزیع می‌شوند. پروتکل مورد استفاده جهت مسیریابی AOMDV است. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم افزار شبیه ساز NS-2.34 انجام شده است. به طور کلی این نسخه از شبیه‌ساز، شبکه‌های چند کانالی چند رادیویی را پشتیبانی نمی‌کند. جهت پشتیبانی از این نوع شبکه‌ها می‌توان تغییراتی را در این نسخه اعمال کرد. مدت زمان هر بار شبیه‌سازی ۱۰۰۰ ثانیه است. جهت ارزیابی بهتر، عملیات شبیه‌سازی چندین بار تکرار شده و نهایتاً از کل نتایج، میانگین گرفته شده است. جهت سنجش بهتر، روش BFS-CA که در مقاله ۷ (Si, Selvakennedy and et al) مطرح گردید و همین طور الگوریتم CSAS که در مقاله ۳ بیان شد نیز شبیه‌سازی می‌شوند. پارامترهای مورد بررسی جهت ارزیابی عبارتند از: تاخیر^{۱۰}، نرخ از دست رفتن بسته‌ها^{۱۱}، نرخ تحویل بسته‌ها (PDR)^{۱۲} و گذرده‌ی.

یکی از خصوصیات مهم جهت ارزیابی شبکه‌ها میزان تاخیر است. تاخیر عبارت است از مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک بسته از مبدا به مقصد برسد. در این قسمت هدف ارزیابی میانگین تاخیر برای کل بسته‌هاست. بر اساس نمودار شکل ۱۴ میانگین تاخیر در روش پیشنهادی کاهش می‌یابد. معیار مهم دیگر جهت بررسی ارزیابی شبکه‌ها، میزان از دست رفتن بسته‌هاست. میزان از دست رفتن بسته‌ها عبارت است از نسبت کل بسته‌های از دست رفته به کل بسته‌های مبادله شده در زمان شبیه‌سازی. اگر هدف بررسی درصد از دست رفتن بسته‌ها باشد این نسبت در ۱۰۰ ضرب خواهد شد. بر اساس نمودار شکل ۱۵ میزان از دست رفتن بسته‌ها در روش پیشنهادی کاهش می‌یابد.

میزان نرخ تحویل بسته‌ها معیار مهم دیگری جهت ارزیابی شبکه‌هاست. نرخ تحویل بسته‌ها عبارت است از نسبت کل بسته‌های دریافت شده به کل بسته‌های مبادله شده در زمان شبیه‌سازی. اگر هدف بررسی درصد نرخ تحویل بسته‌ها باشد این نسبت در ۱۰۰ ضرب خواهد شد. بر اساس نمودار شکل ۱۶ نرخ تحویل بسته‌ها در روش پیشنهادی افزایش می‌یابد.

معیار مهم دیگر جهت ارزیابی شبکه‌ها میزان گذرده‌ی است. گذرده‌ی عبارت است از نسبت کل بیت‌های دریافت شده در زمان شبیه‌سازی. از آنجایی که در این شبیه‌سازی اندازه هر بسته ۱۰۰۰ بایت در نظر گرفته شده است، بنابراین جهت محاسبه‌ی تعداد کل بایت‌های ارسالی اندازه‌ی هر بسته را بر ۱۰۰۰ تقسیم کرده و نتایج را با هم جمع می‌کنند. اگر هدف محاسبه‌ی گذرده‌ی بر اساس کیلو بیت بر ثانیه باشد کل بایت‌های دریافتی را بر زمان شبیه‌سازی تقسیم کرده، حاصل را در عدد ۸ ضرب کرده تا تعداد بایت‌ها به بیت تبدیل شوند. نهایتاً حاصل را بر عدد ۱۰۰۰ تقسیم کرده تا نتیجه بر حسب کیلو بیت محاسبه گردد. بر اساس نمودار شکل ۱۷ میزان گذرده‌ی در روش پیشنهادی افزایش می‌یابد.

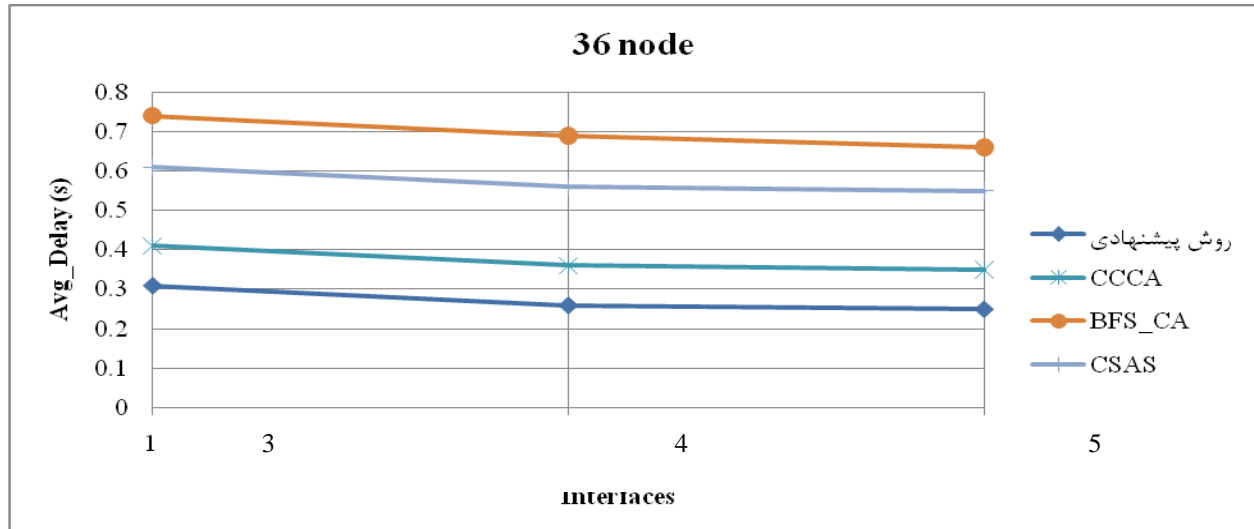
نتیجه گیری

¹⁰ Delay

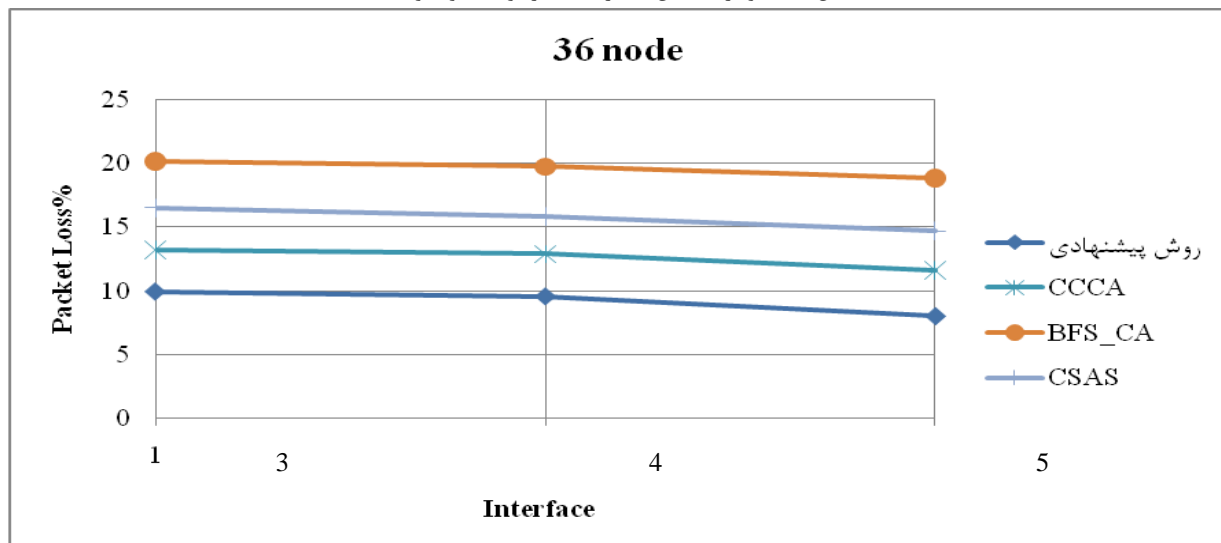
¹¹ Packet Loss

¹² Packet Delivery Ratio

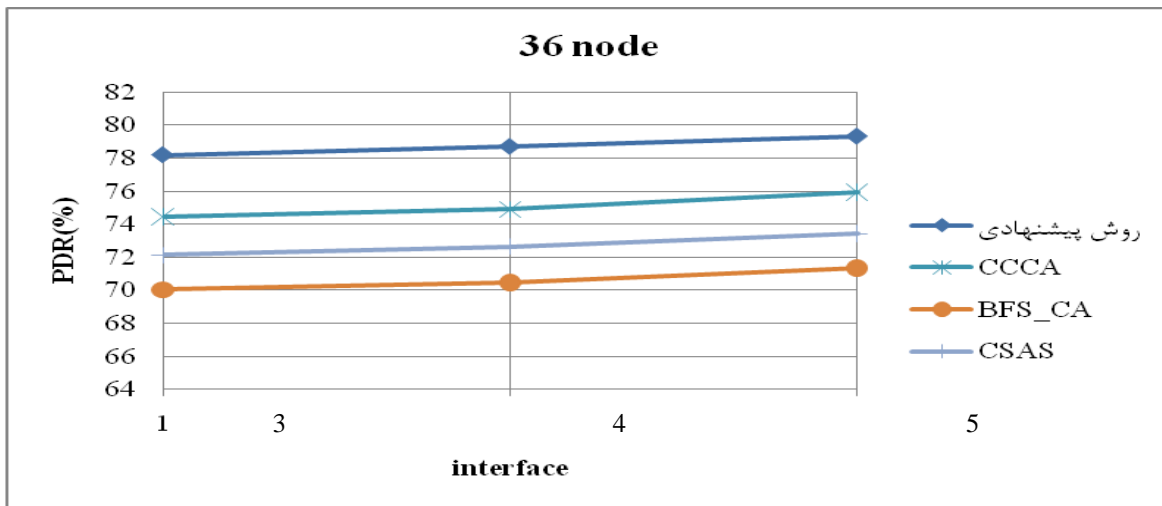
همانطور که در این مقاله ملاحظه شد در روش پیشنهادی سعی شد با استفاده از روش‌های ابتکاری مسئله‌ی تخصیص کانال به صورت متمرکز و با استفاده از دروازه به گونه‌ای مدیریت شود که میزان تداخل کاهش یافته و گذردهی افزایش یابد. در این روش در ابتدا خوشه‌ها بر اساس روش حداکثر گروه و با استفاده از گراف تداخل ساخته می‌شوند. در فاز بعدی با توجه به اینکه خوشه‌های مجاور نباید از کانال یکسانی استفاده کنند، به واسطه‌های پیش فرض گروه‌های هر خوشه کانالی تخصیص داده شد. در ادامه جهت ارتباط بین خوشه‌های مجاور، با استفاده از روش ساختن حداکثر گروه‌ها در تئوری گراف و از طریق درجه‌ی مرزی بودن هر گره، برای هر گره‌ی مرزی حداکثر دو گروه ساخته شده و به گره‌های هر گروه کانالی اختصاص داده شد. در نهایت به سایر واسطه‌های درون هر خوشه کانالی که حداقل استفاده را در فاصله‌ی دو گامی گره‌ها داشت اختصاص یافت. با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی، روش پیشنهادی میزان تاخیر و نرخ از دست رفتن بسته‌ها را کاهش داده و نرخ تحویل بسته‌ها و میزان گذردهی را افزایش می‌دهد و به صورت کلی سبب افزایش میزان کارایی شبکه و کاهش تداخل می‌گردد.



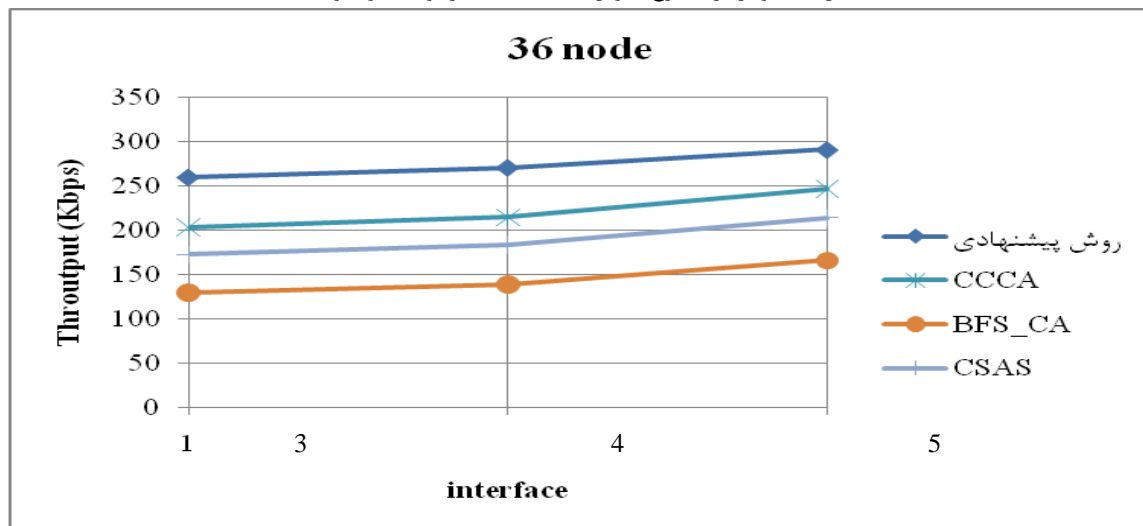
شکل ۱۴: نمودار میانگین تاخیر با ۳۶ گره و ۳، ۴ و ۵ واسط



شکل ۱۵: نمودار درصد از دست رفتن بسته‌ها با ۳۶ گره و ۳، ۴ و ۵ واسط



شکل ۱۶: نمودار درصد نرخ تحویل بسته ها با ۳۶ گره و ۳، ۴ و ۵ واسط



شکل ۱۷: نمودار گذردهی با ۳۶ گره و ۳، ۴ و ۵ واسط

منابع

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang and W. Wang(2005). "Wireless mesh networks: a survey", *Jornal of Computer Networks*, vol. 47, pp. 445-487.
- [2] R. Ding, K. Xue, P. Hong and Z. Du(2012). "A novel cluster-based channel assignment scheme for wireless mesh networks". in *Proceedings of 9th Annual Conference of the IEEE Consumer Communications and Networking (CCNC'12)*, pp. 921-925.
- [3] A. Naveed and S.S Kanhere(2009). "Cluster-based channel assignment in multi-radio multi-channel wireless mesh networks". in *Proceedings of 34th Conference of the IEEE Local Computer Networks (LCN'09)*, pp. 53-60.
- [4] J. Crichigno, M. Y. Wu and W. Shu(2008). "Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks". *Ad Hoc Networks*, vol. 6, pp. 1051-1077.
- [5] E. Tomita, T. Akutsa and T. Matsunaga, "Maximal cliques: effective tools for bioinformatic", In: A. Laskovski, *Biomedical Engineering, Trends in Electronics, Communications and Software*, Intech, pp. 625-640.

- [6] Y. Ding, L. Xiao(2011). "Channel allocation in multi-channel wireless mesh networks". *Computer Communications*, vol. 34, pp. 803-815.
- [7] W. Si, S. Selvakennedy and A. Y. Zomaya(2010). "An overview of channel assignment methods for multi-radio multi-channel wireless mesh networks". *Parallel Distribution Computing*, vol. 70, pp. 505-524.