

## بکارگیری اتوماتای یادگیر برای تخصیص کانال در شبکه‌های بی‌سیم تنیده

ضیال‌الدین بهشتی فرد<sup>۱</sup>، محمدرضا میبیدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات- دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

beheshti@qazviniau.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

mmeybodi@aut.ac.ir

### چکیده

یکی از مشکلاتی که در شبکه‌های بی‌سیم تنیده وجود دارد تخصیص بهینه کانال برای گره‌ها می‌باشد. استفاده از چندین کانال رادیویی غیر متداخل در این گره‌ها، کارایی این نوع شبکه‌ها را بهبود می‌دهد. اما تخصیص کانال هنوز دارای مسائل بفرنجی است که از یک طرف با افزایش تداخل، کارایی شبکه را به شدت پایین آورده از طرف دیگر با انتصاب کانالهای متنوع باعث بروز پدیده انتشار موجدار تغییرات<sup>۱</sup> می‌گردد. در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر ارائه می‌شود که در عین تخصیص بهینه کانال به ارتباطات مسیریابها، پدیده انتشار موجدار را نیز به نحو مؤثری کاهش می‌دهد. روش ارائه شده بطور هوشمند ارتباطات رادیویی را به کانالها منتسب می‌کند بطوریکه کمترین تداخل را با ارتباطات مجاور داشته و در عین حال محدود به تعداد رادیوهای تجهیز شده هر گره باشد تا پدیده انتشار موجدار تغییرات به کمترین حد خود برسد. نتایج آزمایشات بر روی توپولوژیهای همگن و تصادفی نشان می‌دهد که بکارگیری اتوماتای یادگیر در تخصیص کانال میزان تداخل را در شبکه‌هایی با تراکم متوسط و انتشار موجدار کانالها را در شبکه‌های با تراکم بالا به شدت کاهش می‌دهد.

### کلمات کلیدی:

شبکه‌های بی‌سیم تنیده، Mesh Networks Wireless، تخصیص کانال، اتوماتای یادگیر

### ۱- مقدمه

یک شبکه بی‌سیم تنیده<sup>۲</sup>، متشکل از مسیریاب‌های تنیده<sup>۳</sup> و ایستگاه‌ها<sup>۴</sup> می‌باشد. مسیریاب‌ها عمدتاً گره‌ها ثابت هستند و یک زیرساخت بی‌سیم چندگانه را بین ایستگاه‌ها و گذرگاه‌های اینترنتی<sup>۵</sup> بوجود می‌آورند. معمولاً گذرگاه‌های اینترنتی مستقیماً به شبکه سیمی متصل هستند. هر مسیریاب تنیده نه تنها به عنوان یک میزبان بلکه به عنوان یک مسیریاب وظیفه رساندن بسته‌های گره‌های دیگر به مقصد را برعهده دارند. ایستگاه‌های کاری می‌توانند ثابت یا متحرک باشند. قابلیت‌های گذردهی و پل‌زنی در مسیریاب‌ها، قابلیت یکپارچه‌سازی WMN را با سایر شبکه‌های بی‌سیم از جمله شبکه‌های حسگر، سلولی، Wi-Fi و WiMAX به وجود می‌آورد. شبکه‌های WMN به عنوان راه‌حلی با انعطاف‌پذیری بالا، مطمئن و کم‌هزینه برای پوشش بی‌سیم فضاهای بزرگ

ارائه شده و ارتباط اینترنتی کم‌هزینه و چندگامی را به وجود می‌آورند [۹]. انتظار می‌رود که این شبکه‌ها نه تنها محدودیت‌های شبکه‌های بی‌سیم موردی<sup>۶</sup>، شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN)، شبکه‌های شخصی بی‌سیم (WPAN) و شبکه‌های بی‌سیم شهری (WMAN) را حل نمایند بلکه انتظار می‌رود کارایی آنها نیز با ساختار جدید بهبود یابد [۱].

### ۲- مسئله تخصیص کانال

در شبکه‌های WMN تعدادی از اتصالات میان مسیریاب‌ها بر روی مجموعه‌ای از کانال‌های یکسان برقرار می‌گردد. لذا تداخل حین انتقال روی این کانال‌ها می‌تواند به طور مؤثری کارایی را کاهش دهد. بنابراین همانند شبکه‌های سلولی، عامل کلیدی برای کاهش تأثیرات تداخل، استفاده بهینه از طیف‌های رادیویی استفاده نشده

مثال بالا به طور واضح نشان می‌دهد که هدف تخصیص کانال رسیدن به توازن بین حداقل کردن تداخلات و حداکثر کردن ارتباطات می‌باشد.

در این مقاله ما یک روش تخصیص کانال مبتنی بر اتوماتای یادگیر ارائه می‌کنیم که از نظر تعداد کانال‌های مورد استفاده بهینه می‌باشد و حداکثر ارتباطات را به وجود آورد. در ادامه ابتدا تفاوت تخصیص کانال در شبکه‌های سلولی و WMN بررسی می‌گردد. سپس مروری بر کارهای انجام شده قبلی ارائه می‌شود در بخش ۳ اتوماتای یادگیر معرفی می‌شود. بخش ۴ مدل‌سازی مسئله و الگوریتم تخصیص کانال در شبکه‌های WMN مبتنی بر اتوماتای یادگیر ارائه شده و در نهایت آزمایشات انجام گرفته و نتایج ارائه می‌شود.

## ۲-۱- مقایسه تخصیص کانال در شبکه‌های سلولی و شبکه‌های WMN

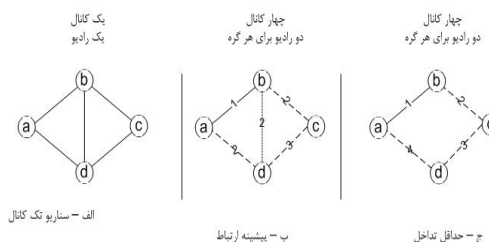
مسئله تخصیص کانال<sup>۱</sup> (CA) بطور گسترده در شبکه‌های سلولی مطالعه شده است. مفهوم پایه‌ای مورد استفاده در این روش‌ها، تقسیم طیف رادیویی بر مجموعه‌ای از کانال‌های رادیویی غیرمتداخل می‌باشد که می‌توانند به صورت همزمان مورد استفاده قرار گیرند. برای استفاده مجدد از یک کانال بایستی دو سلول در یک حداقل فاصله معینی از هم قرار گرفته باشند.

بنابراین نقش یک روش تخصیص کانال کاهش تداخل با استفاده از تنظیم فاصله میان سلول‌های هم کانال و سطح توان ارسال می‌باشد. این دو مسئله مفاهیم پایه‌ای برای تخصیص کانال در شبکه‌های سلولی می‌باشد که هدف آنها کاهش CIR<sup>۲</sup> و در نتیجه افزایش طیف رادیویی یکسان استفاده شده در سلول‌ها است. اما تخصیص کانال WMN از چند جنبه متفاوت است. اولین تفاوت در معماری این شبکه‌هاست که کاملاً متفاوت از شبکه‌های سلولی است. در WMN مسیرپای‌های تنیده، زیرساخت میان کاربران و شبکه سیمی را برقرار می‌کنند در حالیکه در شبکه سلولی، کاربران تنها با BS<sup>۳</sup> تماس می‌گیرند و اتصال BS به BS از طریق یک شبکه مجزا انجام می‌گیرد که ارتباطی به مسئله تخصیص کانال ندارد. دوم اینکه تخصیص کانال در WMN عمدتاً برای کاهش

می‌باشد. بنابراین مسئله کلیدی در شبکه‌های WMN چند کاناله مسئله تخصیص کانال می‌باشد. بطوریکه با انتساب هر کانال به اتصال رادیویی، بهره‌وری مؤثری از کانال‌های در دسترس بدست آید. هدف تخصیص کانال در شبکه‌های ارتباطی چندگانه به حداقل رساندن تداخل همزمان با حفظ اتصال شبکه می‌باشد.

یک گره در WMN که نیاز به اشتراک گذاشتن کانال مشترک با هر کدام از همسایگان در حوزه ارتباطی را دارد نیاز به برپایی یک اتصال مستقیم می‌باشد. بعلاوه برای کاهش تداخل یک گره بایستی تعداد همسایگانی که از یک کانال یکسان با وی استفاده می‌کنند را کاهش دهد. بنابراین بایستی یک توازن بین حداکثر کردن اتصال و کاهش تداخل به وجود آید. شکل شماره ۱ توازن ذکر شده را برای سه حالت نمایش می‌دهد [۱]. در شکل الف ارتباط شبکه را در حالتی که یک کانال استفاده می‌شود نشان می‌دهد. در این حالت اگر گره‌ای در فاصله انتقال قرار گیرد می‌تواند اقدام به ایجاد ارتباط نماید. این حالت حداکثر ارتباط در حالت استفاده از یک کانال را برقرار می‌نماید.

ب و ج چهار کانال مجزا برای اتصال در دسترس می‌باشد. همچنین هر گره‌ای مجهز به دو کارت شبکه می‌باشند که روی فرکانس رادیویی متفاوت عمل می‌کنند. در شکل ب تخصیص کانال به رادیو حداکثر ارتباط را به وجود می‌آورد. اما این حالت با انتخاب حداکثر ۳ کانال از ۴ کانال به دست می‌آید. برای نمونه اتصال مستقیم بین هر دو گره وجود دارد اما به دلیل تداخل روی کانال ۲ همه این اتصالات نمی‌توانند همزمان فعال باشند. اما شکل ج نشان می‌دهد که چگونه تداخل بین اتصالات می‌تواند حذف شود و همه اتصالات همزمان فعال باشند اما نمی‌تواند اتصال مستقیمی بین دو همسایه b و d به وجود آورد.



شکل ۱- توازن بین اتصالات و تداخل

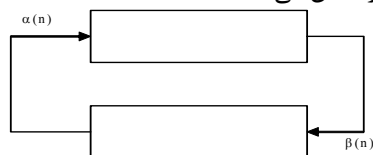
از طرف دیگر رنگ آمیزی یال‌ها محدودیت دوم را پوشش نمی‌دهد. زیرا تعداد رنگ‌های تخصیص یافته به هر رأس نمی‌تواند از تعداد کانال‌های رادیویی آن گره بیشتر باشد. هرچند روش رنگ آمیزی یال‌ها به صورت محدود شده بتواند محدودیت‌های ذکر شده را پاسخ دهد اما قابلیت پوشش محدودیت چهارم را نخواهد داشت که محدودیت ظرفیت کانال را تحمیل می‌کند.

بعلاوه مسئله اصلی در تخصیص کانال برای شبکه‌های WMN چندکاناله مسئله وابستگی کانال‌ها است بطوریکه اتصالات ایجاد شده بین گره‌ها بایستی حداقل در یک کانال مشترک باشند.

در روش پیشنهاد شده در [۲] اتصالات بصورت نزولی بر مبنای ترافیک مورد انتظار مرتب شده و بصورت حریصانه کانال‌ها به آنها تخصیص می‌یابد. این روش تخصیص کانال باعث می‌شود که در صورت تغییر یک اتصال، سایر اتصالات نیز بررسی گردد و اصطلاحاً این روش دارای مشکل انتشار موجدار تغییرات است و پیچیدگی زمانی را افزایش می‌دهد. همچنین با تجهیز یک مسیر یاب به چندین ارتباط رادیویی امکان تخصیص تنها یک کانال به اتصالات وجود دارد.

### ۳- اتوماتای یادگیر

شاخه‌ای از نظریه کنترل تطبیقی به اتوماتای یادگیر اختصاص دارد. اتوماتای یادگیر یک مدل انتزاعی است که تعداد معدودی عمل را می‌تواند انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی شده و پاسخی به اتوماتای یادگیر داده می‌شود. اتوماتای یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را برای مرحله بعد انتخاب می‌کند [۵]. شکل ۲ ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تایی  $E = \{\alpha, \beta, c\}$  نشان داد که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودیها،

تداخل در زیرساخت بی‌سیم که همان مسیر یاب‌ها هستند متمرکز می‌شود ولی در شبکه‌های بی‌سیم تخصیص کانال برای کاهش تداخل در آخرین گام ارتباطی یعنی BS به کاربر و یا برعکس متمرکز می‌شود. بعلاوه تکنیک FH<sup>۱</sup>، یک روش عمومی در شبکه‌های سلولی است که عمل سوئیچ سریع فرکانس را در طول ارتباط رادیویی BS به وجود می‌آورد. FH دارای مزایای زیادی از جمله کاهش تأثیرات نویز و تداخل است. این تکنیک شاید بتواند در WMN نیز استفاده گردد اما استاندارد سخت‌افزاری IEEE802.11 جاری تأخیر زمانی سوئیچ را بسیار بالا می‌برد [۳]. بنابراین سوئیچ کانال‌ها مشکل خواهد بود و این باعث می‌شود که مسئله تخصیص کانال در WMN بغرنج‌تر شود.

### ۲-۲ محدودیت‌ها و چالش‌های تخصیص کانال در WMN

مهمترین چالش تخصیص کانال در شبکه‌های WMN، تخصیص کانال به ارتباط رادیویی است به طوریکه حداقل تداخل و حداکثر ارتباط را به وجود آورد. محدودیت‌های اصلی که الگوریتم تخصیص کانال بایستی حل کند شامل موارد زیر است [۲]:

- ۱- تعداد کل کانال‌ها ثابت است.
- ۲- تعداد کانال‌های مجزا که برای هر مسیر یاب تخصیص می‌یابد محدود به تعداد کارت‌های رادیویی آن مسیر یاب است.
- ۳- دو گره‌ای که نیاز به تبادل داده‌ای دارند بایستی از یک کانال مشترک استفاده نمایند.
- ۴- مجموع بار ترافیک روی یک اتصال که از یک کانال مشترک عبور می‌کند نباید از ظرفیت اسمی کانال بالاتر برود.

### ۲-۳ کارهای انجام شده

ثابت شده است که تخصیص کانال در شبکه‌های WMN چندکاناله یک مسئله NP-hard می‌باشد [۲]. در نگاه اول به نظر می‌رسد مسئله تخصیص کانال یک مسئله مشابه رنگ آمیزی گراف است. اما مسئله رنگ آمیزی گراف استاندارد محدودیت‌های ذکر شده در ۲-۲ را پاسخ نمی‌دهد [۸]. روش چند رنگی رأس‌ها [۴] نیز محدودیت سوم را پاسخ نمی‌دهد.

جمع  $p_i(n)$  ها همواره ثابت و مساوی یک باقی بماند. الگوریتم (۱) نمونه ای از الگوریتمهای یادگیری خطی در اتوماتای با ساختار ثابت است [۵].

الف- پاسخ مطلوب برای عمل  $\hat{a}$ :

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \quad (1)$$

$$\forall j \quad j \neq i$$

$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n)$$

ب- پاسخ نامطلوب برای عمل  $\hat{a}$ :

$$P_i(n+1) = P_i(n) - (1-b)P_i(n)$$

$$p_j(n+1) = \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

در روابط فوق، پارامتر پاداش و  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می باشد. با توجه به مقادیر  $a$  و  $b$  سه حالت زیر را می توان در نظر گرفت. زمانی که  $a$  و  $b$  با هم برابر باشند، الگوریتم را  $LR-P$ <sup>۱۶</sup> می نامیم. زمانی که  $b$  از  $a$  خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را  $LR-EP$ <sup>۱۷</sup> می نامیم و زمانی که  $b$  مساوی صفر باشد، الگوریتم را  $LR-I$ <sup>۱۸</sup> می نامیم.

با در نظر گرفتن طبیعت پاسخ محیط، مدلهای  $P$ ،  $Q$  و  $S$  برای محیطی که اتوماتای یادگیر در آن عمل می کند، در نظر گرفته می شود. [۵] پاسخ در محیطهای مدل  $P$  دارای مقدار دودویی می باشد. در مدل  $Q$  متناظر با عمل  $\alpha_i$ ، خروجی محیط ممکن است تعداد متناهی از مقادیر اختیار کند. با نرمال سازی مقادیر خروجی، هر مدل  $Q$  با مقادیر متناهی از خروجیهای محیط در فاصله واحد  $[0,1]$  مشخص می گردد. تعداد این مقادیر خروجی از عملی به عمل دیگر متفاوت است و با  $m_i$  برای عمل  $\alpha_i$  ( $i=1,2,\dots,\gamma$ ) بیان می شود. در مدل  $S$ ، پاسخها می توانند مقادیری پیوسته در یک فاصله مشخص را اختیار کنند. با نرمال سازی پاسخها، می توان آنها را در فاصله  $[0,1]$  در نظر گرفت. اگر پاسخ محیط در مدل  $Q$  برای عمل  $\alpha_i$  با  $\beta_1^i, \beta_2^i, \dots, \beta_{m_i}^i$  مشخص شود که در آن  $\beta_1^i < \beta_2^i < \dots < \beta_{m_i}^i$ ، مجموعه نرمال شده پاسخها  $\{\beta_j^i\}$  به شکل  $\beta_j^i = \beta_j^i - a / b - a \quad j=1,2,\dots,m_i$  تعریف می گردد که در آن  $a = \min_i \{\beta_j^i\}$  و  $b = \max_i \{\beta_j^i\}$  است. نرمال سازی مشابهی را نیز می توان در مدل  $S$  انجام داد. نگارشهای مدل  $S$  و  $Q$  برای

$\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه خروجیهایی و  $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمالهایی جریمه می باشد. هر گاه  $\beta$  مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع  $P$  می باشد. در چنین محیطی  $\beta_1 = 1$  به عنوان جریمه و  $\beta_2 = 0$  به عنوان پاداش در نظر گرفته می شود. در محیط از نوع  $Q$ ،  $\beta(n)$  می تواند به طور گسسته یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله  $[0,1]$  و در محیط از نوع  $S$ ،  $\beta(n)$  متغیر تصادفی در فاصله  $[0,1]$  است.  $c_i$  احتمال اینکه عمل  $\alpha_i$  نتیجه نامطلوب<sup>۱۱</sup> داشته باشد، می باشد. در محیط ایستا<sup>۱۲</sup> مقادیر  $c_i$  بدون تغییر می مانند، حال آن که در محیط غیر ایستا<sup>۱۳</sup> این مقادیر در طی زمان تغییر می کنند. اتوماتای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم می گردد [۶]. اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت با احتمالات گذر وضعیت ثابت مشخص<sup>۱۴</sup> می شود. نظریه زنجیره های مارکوف ابزار اصلی تجزیه و تحلیل این کلاس از اتوماتا می باشد و در اغلب موارد، رفتار مقتضی با انتخاب احتمالات گذر وضعیت اتوماتون در پاسخ به خروجی محیط به دست می آید. رفتار کلی سیستم توسط ماتریس گذر وضعیت زنجیره مارکوف تعیین می شود. با توجه به این که در این مقاله از اتوماتای ساختار متغیر استفاده شده است، در ادامه توضیحاتی در رابطه با اتوماتای ساختار متغیر داده می شود. برای مطالعه بیشتر در رابطه با اتوماتاهای ساختار ثابت و متغیر می توان به [۵ و ۶] مراجعه نمود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر<sup>۱۵</sup> توسط ۴ تایی  $\{\alpha, \beta, p, T\}$  نشان داده می شود که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عملهای اتوماتا،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه ورودیهای اتوماتا و  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  بردار احتمال انتخاب هر یک از اعمال و  $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیری می باشد. در این نوع از اتوماتاها، اگر عمل  $\alpha_i$  در مرحله  $n$  ام انتخاب شود و این عمل، پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال  $p_i(n)$  افزایش یافته و سایر احتمالات کاهش می یابند. برای پاسخ نامطلوب احتمال  $p_i(n)$  کاهش یافته و سایر احتمالات افزایش می یابند. در هر حال، تغییرات به گونه ای صورت می گیرد تا حاصل

ورودی و اتصال شبکه بی سیم به شبکه سیمی در این نوع شبکه هاست، جریان ترافیکی یک ساختار درختی ایجاد می کند که ریشه آن، گره درگاه بوده و برگ ها همان تجهیزات انتهایی دریافت کننده و یا ارسال کننده داده ها خواهند بود.

در تخصیص کانال، بایستی اهداف زیر پوشش داده شوند.

- کاهش تداخل بین مسیرهای شبکه
- برای پوشش این هدف بایستی دو زیر هدف زیر پوشش داده شود. اول اینکه بایستی بین دو مسیر، یک کانال مشترک جهت ارتباط وجود داشته باشد. دوم اینکه اتصالات مستقیم بین دو مسیر، کمترین همپوشانی با سایر اتصالات را داشته باشد.
- تخصیص کانالهای مجزا به هر گره به تعداد ارتباطات رادیویی آن گره

### گراف اتصال

به منظور مدلسازی مسئله، یک شبکه تنیده بی سیم با تعدادی مسیر، در نظر گرفته می شود که هر کدام به تعدادی تجهیزات اتصال رادیویی مجهز شده اند. فرض می شود که همه اتصالات رادیویی یا یک شعاع انتقال  $R^{19}$  و همچنین شعاع تداخل  $R^{20}$  معین شوند. شعاع انتقال فاصله ایست که یک همسایه می تواند بسته ها را بطور صحیح دریافت نماید. در صورتیکه یک گیرنده در شعاع انتقال دو فرستنده همزمان واقع شود، بسته های ارسال شده با هم تداخل پیدا کرده و باعث بروز تصادم در گیرنده شده و هیچ کدام از بسته های ارسالی به درستی دریافت نخواهد شد. شعاع تداخل فاصله ایست که بسته های ارسالی نمی توانند به طور صحیح درگیرنده دریافت شوند اما هر انتقال جدید از یک مسیر، در شعاع تداخل با بسته های دریافتی گیرنده تداخل می کند. عموماً شعاع تداخل همیشه بزرگتر از شعاع انتقال می باشد ( $R < R^2$ ). با فرضیات بالا اتصال میان مسیرها به عنوان یک گراف بدون جهت مدل می شود که به آن گراف اتصال گرفته می شود که در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۰].

شمای  $L_{R-I}$  و  $L_{R-P}$  به صورت زیر می باشند. باید توجه داشت که مدل  $S$  بازنمایی عمومی تری از دو نگارش قبلی است. با داشتن مدل  $S$  می توان مدل های  $Q$  و  $P$  را نیز به دست آورد. بهنگام سازی احتمالات در شمای  $SL_{R-I}$  براساس معادله (۲) بیان می شود:

$$P_i(n+1) = P_i(n) - a(1 - \beta(n)) P_i(n) \quad \alpha(n) > \alpha_i \quad (2)$$

$$P_i(n+1) = P_i(n) + a(1 - \beta(n)) \sum_{j \neq i} P_j(n) \quad \alpha(n) = \alpha_i$$

شمای  $SL_{R-P}$  برای مدل های  $Q$  و  $S$  براساس معادله (۳) بیان می شود:

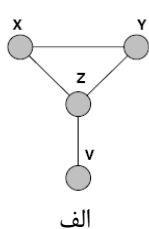
$$P_i(n+1) = P_i(n) + \beta(n) [(a/r-1) - a P_i(n)] - [1 - \beta(n)] a P_i(n) \quad \alpha(n) > \alpha_i \quad (3)$$

$$P_i(n+1) = P_i(n) + \beta(n) a P_i(n) + (1 - \beta(n)) a (1 - P_i(n)) \quad \alpha(n) = \alpha_i$$

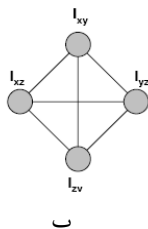
مدلهای اتوماتای یادگیر در تصمیم گیریهای تطبیقی که در آنها تصمیم گیر باید به منظور بهینه سازی کارایی کلی سیستم از بین چندین عمل، عمل مناسبی را به شکل برخط انتخاب کند، مانند تخصیص کانال به شکل پویا، پرهیز از تصادم در شبکه های ستاره ای، مسیریابی در شبکه تلفن، کاربرد دارد. بحث این مقاله نیز در این حوزه از کاربردهای اتوماتای یادگیر قرار می گیرد. همچنین مفید بودن مدل های اتوماتای یادگیر در مسائل بهینه سازی اتفاقی مانند یادگیری توابع تفکیک کننده در بازشناسی الگو به اثبات رسیده است. ازجمله دیگر کاربردهای مدل های اتوماتای یادگیر در کنترل تطبیقی، پردازش سیگنال پردازش تصویر، بخش بندی اشیاء می باشد [۶]. برای مطالعه بیشتر در باره اتوماتاهای یادگیر می توان به [۵و۶] مراجعه کرد.

### ۴- مدلسازی مسئله

عمده ترافیک در این شبکه ها از تجهیزات انتهایی به گره درگاه و برعکس می باشد که الگوی جریان ترافیک در شبکه های بی سیم می باشد. با توجه به اینکه درگاه، نقطه



الف



ب

شکل ۳ - مثالی از گراف تداخل : الف - گراف اتصال ب - گراف تداخل

## ۵- الگوریتم تخصیص کانال

تخصیص کانال برای شبکه‌های بی‌سیم تنیده مشابه مسئله رنگ‌آمیزی یال‌ها می‌باشد که محدودیت‌های دیگری نیز برای آن در نظر گرفته می‌شود. این مسئله را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود. گراف  $G = (V, E)$  داده شده است. برای هر  $v$  در  $V$  یک لیست  $L(v)$  از رنگ‌ها داریم که بایستی برای هر رأس از این مجموعه انتخاب شده بطوریکه دو رأس که یال مشترک دارند هم‌رنگ نباشند. علاوه بر آن محدودیت‌های دیگری نیز در این مسئله وجود دارد که آن را از مسئله رنگ‌آمیزی گراف کلاسیک مجزا می‌کند. مهمترین محدودیت اینست که تعداد رنگ‌هایی که هر گره برای یالهای خود انتخاب می‌کند نباید از تعداد کانالهای رادیویی گره متناظر در شبکه بیشتر گردد. این مسئله یک مسئله NP کامل است. الگوریتمی که در این مقاله برای حل این مسئله ارائه می‌شود مبتنی بر بکارگیری اتوماتای یادگیر به عنوان یک بهینه‌ساز چند هدفه می‌باشد که سعی می‌کند کانال‌هایی را برای گره‌ها تخصیص دهد که تداخلی برای سایر ارتباطات به وجود نیاورد و در عین حال تعداد کانالهای تخصیص یافته به گره‌ها از تعداد رادیوهای گره، تجاوز نکند. در این روش هر گره به طور مستقل یاد می‌گیرد که کانال مشترکی را با همسایه برقرار نماید که این روش یادگیری، مبتنی بر سازگاری احتمالاتی است که تضمین می‌کند ارتباط شبکه‌ای را همزمان با کاهش تداخل به وجود آورد. این روش مشکلات روش‌های پیشین را که وابسته به مدل فیزیکی و همچنین الگوی ترافیکی بودند را ندارد و می‌تواند بصورت محلی عمل تخصیص کانال را انجام دهد لذا کاملاً مقیاس پذیر بوده و محدودیتی نسبت به ابعاد توپولوژی شبکه ندارد.

همچنانکه در شکل ۳ نشان داده شده است دو گره در گراف اتصال به هم وصل می‌شوند اگر در شعاع انتقال هم واقع شوند. بایستی دقت نمود که توپولوژی شبکه ممکن است با گراف اتصال متفاوت باشد زیرا ممکن است یک یال که در گراف اتصال وجود دارد به دلیل عدم تخصیص کانال مشترک رادیویی در توپولوژی شبکه وجود نداشته باشد. همچنین ممکن است به دلیل استفاده از چندین کانال همزمان، یک یال در گراف اتصال به چندین یال در توپولوژی شبکه تبدیل گردد.

## گراف تداخل<sup>۲۱</sup>

با توجه به طبیعت همه پخش‌های بی‌سیم، موفقیت در ارسال پیام‌ها به طور مؤثری وابسته میزان دسترسی‌های همزمان می‌باشد. این تداخل می‌تواند توسط گراف تداخل مدل شود که بر پایه گراف اتصال ساخته می‌شود. مفهوم گراف تداخل در شکل ۳ تشریح شده است. در صورتیکه در گراف اتصال یک اتصال بین گره  $x, y$  وجود داشته باشد این اتصال با یک رأس  $I_{xy}$  در گراف تداخل شناخته می‌شود. در اینجا، عبارت گره و اتصال را در گراف اتصال و عبارت رأس و یال را در گره تداخل بکار می‌بریم. یک یال بین دو رأس ایجاد خواهد شد اگر اتصالات متناظر در گراف اتصال با هم تداخل داشته باشند. وجود تداخل بین اتصالات بر مبنای مدل تداخل مشخص می‌شود [۷]. دو نوع مدل تداخل وجود دارد. (۱) مدل پروتکل، (۲) مدل فیزیکی. مدل پروتکل ساده‌تر بوده و عموماً برای نمایش تداخل استفاده می‌شود. مدل فیزیکی پیچیده‌تر بوده ولی واقعی‌تر است. در صورتیکه فرض کنیم همه گره‌ها شعاع تداخل یکسانی دارند، انتقال از  $x$  به  $y$  موفقیت‌آمیز خواهد بود اگر هیچ گره دیگری همزمان با  $x$  در فاصله شعاعی  $R$  از  $y$  اقدام به ارسال ننماید. همچنین اگر از مدل RTS/CTS پروتکل IEEE802.11 استفاده گردد نباید هیچ گره دیگری در شعاع  $R$  از  $x$  اقدام به ارسال بسته نماید. بنابراین گراف تداخل در مدل پروتکل شامل یال‌هایی بین دو رأس (مثلاً  $I_{xz}, I_{xy}$ ) خواهد بود. اگر  $x$  یا  $y$  در فاصله  $R$  از  $z$  قرار گرفته باشند.



ترتیب نزولی ترافیک، انجام می گیرد، حتی با وجود تعداد کانال‌های در دسترس کافی، هنوز امکان تداخل وجود دارد. با کاهش تعداد کانال‌های در دسترس باز میزان تداخل در LA به مراتب بهتر می‌باشد.

**Step 1: Create conflict graph from connectivity graph**

$R$  = Interference Range

Suppose  $G_1 = (V_1, E_1)$  is connectivity graph of mesh routers

Create  $G_2 = (V_2, E_2) : V_2 = E_2 = \Phi$

For each  $(v_i, v_j) \in E_1$  add  $v_j$  to  $V_2$

For each  $v_i, v_j \in V_2$

If  $d(v_i, v_j) < R$  or  $d(v_i, v_j) < R$  or  $d(v_j, v_i) < R$  or  $d(v_j, v_i) < R$

Add  $(v_i, v_j)$  to  $E_2$

End for

**Step 2: Initialization of Internal parameters**

$\delta$  : Threshold of action probabilities

$\epsilon$  : Error band

$w_1$  : Weight for objective function 1 that denote number of interfering channels

$w_2$  : Weight for objective function 2 that denote number of channel exceed from available radio's

**Step 3: Initialization of Learning Automata's**

Suppose each node from  $G_2$  is equipped with a learning automata

Channel list is a set of channels denoted by  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$

Each LA is supposed as an action by  $a_i, a_j \in C$

$P_i(n)$  : Action probability of  $a_i$  at nth LA with initial value of  $\frac{1}{\text{size}(C)}$

**Step 4: Search Loop**

Repeat

Pick an action  $a(n) = a_i(n)$  according to  $P(n)$

$\beta_i(n) = 0$  // evaluate environment response

// Calculate 1<sup>st</sup> objective function

$f_1(C) = \sum_k L_k : L_k = \begin{cases} 1 & \text{if } E_k \in G_2 \text{ and } a_i(n) = a_j(n) \text{ if } E_k = (v_i, v_j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

// Calculate 2<sup>nd</sup> objective function

$C_i$  = number of distinct channels assigned to edges of node,

$R_i$  = number of available radio for each node,

$f_2(C) = \sum_i (C_i - R_i)$

// Calculate pareto optimality

$F_n(C) = [f_1(C), f_2(C)] = \sum w_i \cdot f_i(C)$

If  $F_n(C) < F_{n-1}(C)$  then

For each  $LA_j$

$\beta_j(n) = 1$

End for

End if

If  $\beta_i(n) = 0$  then // LA  $i$  has gotten reward

$P_i(n) = P_i(n) + \alpha[1 - P_i(n)]$

$P_j(n) = (1 - \alpha)P_j(n) \quad j \neq i$

End if

If  $\beta_i(n) = 1$  then // LA  $i$  has gotten penalty

$P_i(n) = (1 - b)P_i(n)$

$P_j(n) = \frac{b}{\text{size}(C) - 1} + (1 - b)P_j(n) \quad j \neq i$

End if

// check termination

For all LA  $i$

If  $P_i(n) > \delta$  then

Goto step 5

End Repeat

**Step 5: Assigning channels to nodes**

Set  $C_n = a_i(n)$

Set Channel  $C1$  for  $v_k, v_l$  if  $v_{kl}$  is  $i_{th}$  node in  $V_2$

End

شکل ۴ - الگوریتم تخصیص کانال مبتنی بر اتوماتای یادگیر

الگوریتم تخصیص کانال که در این مقاله ارائه می‌شود برای شبکه‌های بی‌سیم تنیده بکار می‌رود. مسیریاب‌ها در این شبکه‌ها ثابت بود. اما تجهیزات انتهایی همانند کامپیوترهای کیفی در PDA می‌توانند متحرک

باشند. در این شبکه‌ها مسیریاب‌های شبکه می‌چندین کارت شبکه مجهز باشند. حداقل مسیریاب‌ها به عنوان درگاه اتصال به شبکه سی می‌نماید. برای سادگی در مسئله فرض می‌شود اتصال به شبکه سیمی وجود داشته باشد الگوریتم تخصیص کانال مبتنی بر اتوماتای یادگیر می‌دهد.

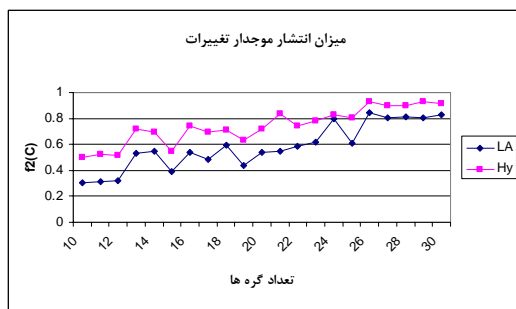
## ۶- نتایج آزمایشات

در این بخش نتایج آزمایشات الگوریتم کانال که براساس اتوماتای یادگیر و مدل h. پیاده‌سازی شده است، نشان داده است. در آزمایش گرفته دو نوع توپولوژی در نظر گرفته شده است اول تمامی مسیریاب‌ها بر روی یک فضای مشبک و هشت با ۶۴ گره قرار گرفته‌اند. تمامی مسیر شعاع انتشار ۴ متر می‌باشند. یکی از گره توپولوژی به عنوان درگاه ارتباطی با اینترنت در شده است. فرض می‌شود که همه مسیریاب‌ها ارسال دارند و ترافیک تجمعی به سمت گره در دارد. شکل ۵-الف ساختار توپولوژی آزمایشات نمایش می‌دهد. شکل ۵-ب گراف تداخل را توپولوژی نمایش می‌دهد. نتایج به دست آمده آزمایشات نشان می‌دهد در حالتی که تعداد تخصیص یافته محدودیتی نداشته باشد هر عملکرد نزدیک به هم دارند. اما در صورتیکه تعداد محدود باشد روش تخصیص بر مبنای A کارآمدتر از روش معماری Hyacinth عمل شکل ۶ تابع هدف را براساس تعداد کانال‌های د نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود در تعداد کانال‌ها به اندازه کافی باشد روش مبتنی میزان تداخل را به صفر می‌رساند. اما Hyacinth با توجه به اینکه تخصیص کانال بر مبنای

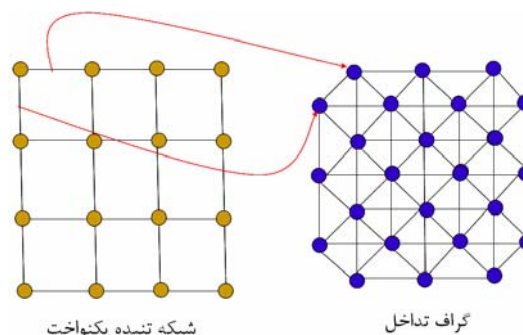
### بررسی اثر انتشار موجدار تغییرات

عمده الگوریتم های تخصیص کانال، هدف اصلی را در تخصیص کانالهای غیر متداخل پیاده می کنند. همانطور که اشاره گردید در صورتیکه تعداد ارتباطات یک گره به همسایگان زیاد باشد ممکن است یک گره تعداد کانالهای بیشتر از تعداد ارتباطات رادیویی داشته باشد. واضح است که هر مسیریاب در لحظه به تعداد ارتباطات رادیویی می تواند ارتباط همزمان با همسایگان برقرار نماید. لذا اگر یالها کانالهای متنوعی داشته باشند مسیریاب نیاز به تغییر کانال خواهد بود. تغییر یک کانال در یک گره مستلزم تغییر کانالهای همسایگانی است که از با این گره در کانال مزبور مشترکند. این پدیده باعث انتشار موجدار تغییرات کانال خواهد گردید.



شکل ۷ - اثر انتشار موجدار تغییرات کانال بر مبنای تعداد کانالهای در دسترس

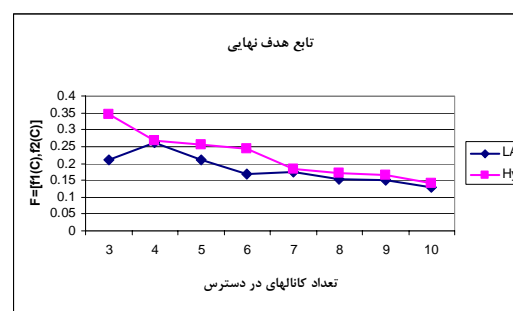
در ادامه آزمایشات توپولوژی شبکه بصورت تصادفی در یک فضای ۱۲ در ۱۲ و با شعاع انتشار ۴ در نظر گرفته شده است. تعداد گره ها در هر مرحله از ۱۰ گره تا ۳۰ گره تغییر یافته اند. شکل ۷ پدیده انتشار موجدار تغییرات کانال را بر اساس تعداد مسیریابها نشان می دهد. همانطور که در شکل مشخص است، معماری Hyacinth صرفاً بر اساس ترافیک یالها بصورت نزولی اقدام به تخصیص کانال می نماید. لذا احتمال اینکه تعداد کانالهای بیشتر از ارتباطات رادیویی به یک گره تخصیص یابد بسیار زیاد خواهد بود. در مقابل مدل LA، اتوماتای متناظر با هر گره را وقتی تشویق می کند که تعداد کانالها از تعداد رادیوها تجاوز نکند.



الف

ب

شکل ۵ - الف - توپولوژی شبکه ب - گراف تداخل

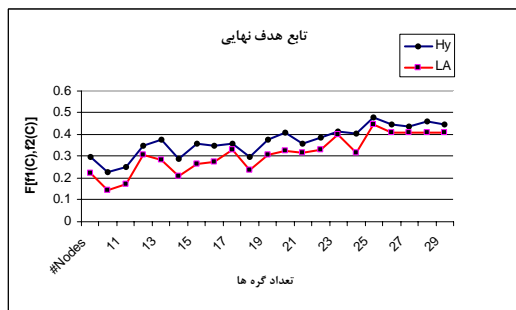


شکل ۶ میزان تداخلات بر مبنای تعداد کانالهای در دسترس

البته در این نوع پیکربندی که محدودیتی برای تخصیص کانال برای هر گره وجود ندارد پدیده انتشار موجدار کانال وجود دارد زیرا هر گره در هر لحظه تنها به تعداد کارت های رادیویی در دسترس مجاز به انتخاب همزمان کانال می باشد و در صورتی که یک گره دارای ارتباطات بیشتری با همسایگان باشد، با تخصیص کانالهای متفاوت برای هر ارتباط عملاً امکان ارتباط همزمان تنها به تعداد کانالهای رادیویی مجاز خواهد بود. لذا مسیریاب نیاز به تفسیر کانال بصورت زمان بندی شده داشته و این تغییر کانال به طور موجدار در کل شبکه منتشر می شود. در آزمایشات بعدی مکانیسم عمل اتوماتا طوری تغییر می دهیم که عملاً به هر گره حتی الامکان به تعداد کارت های رادیویی، کانال تخصیص یابد. این کار از طریق تنظیم LA به عنوان یک بهینه سازی چندهدفه میسر می گردد. که در الگوریتم تخصیص کانال به آن اشاره گردید.



روش مبتنی بر LA و روش Hyacinth بر مبنای تعدادگره‌ها نمایش می‌دهد.



شکل ۹ - میزان تابع بهینه F برای دو روش LA و Hyacinth

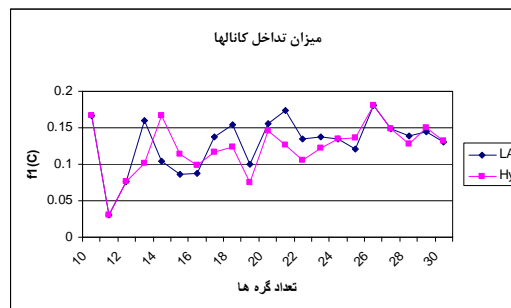
همانطور که در شکل ۹ دیده می‌شود، روش LA تابع F را بصورت مؤثرتری کمینه کرده است به عبارت دیگر تخصیص کانال‌های غیر متداخل و میزان تجاوز از تعداد کانال‌های رادیویی در دسترس در LA بهتر از Hyacinth انجام شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود در صورتی که تعداد گره‌ها کم باشد، دو روش عملکرد نسبتاً یکسانی دارند اما با افزایش تعداد گره‌ها عملاً گراف ارتباط و گراف تداخل و پیچیده‌تر شده و تعداد یال‌ها در گراف تداخل به شدت بالا خواهد رفت. این حالت میزان تداخل در Hyacinth به شدت بالا رفته و همچنین پدیده انتشار موجدار تغییر کانال نیز به مراتب افزایش خواهد یافت. اما روش مبتنی بر LA با کاهش توام تعداد تداخلات ارتباطات و تخصیص تعداد کانال‌های کمتر نسبت به روش Hyacinth بهتر عمل کرده و همزمان با کاهش تداخل، پدیده انتشار موجدار را نیز تقلیل دهد.

## ۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

مسیریاب‌های مجهز بر چند کانال رادیویی به طور مؤثری کارایی شبکه‌های بی‌سیم تنیده را افزایش داده‌اند اما تخصیص کانال به طور ایستا نمی‌تواند به طور مؤثری کارایی این نوع شبکه‌ها را بالا ببرد. از مهمترین مشکلات در این نوع روش تخصیص کانال وجود تداخل زیاد بین ارتباطات بین گره‌ها و همچنین پدیده انتشار موجدار کانال‌ها است در این مقاله روش را بر مبنای اتوماتای

## بررسی اثر تداخل کانالها

ارتباطات متعدد با کانالهای یکسان در یک شعاع انتشار باعث بروز تداخل کانالها می‌شود. ارسال همزمان دو اتصال با کانالهای یکسان باعث شکست ارسال در هر دو ارتباط گردیده و باعث کاهش خروجی شبکه می‌گردد. شکل ۸ اثر تداخل کانالها را برای دومدل ذکر شده نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است تداخل کانالها در هر دو مدل میزان نسبتاً یکسانی داشته است. هرچند در برخی موارد مدل Hyacinth کمی بهتر عمل کرده است. عملکرد بهتر این مدل به دلیل استفاده از تمام ظرفیت کانالها بدون توجه به محدودیت تعداد رادیوهای هر گره می‌باشد. اما باز در برخی مواقع بدلیل چینش ارتباطات بر اساس میزان ترافیک ارتباطات همجوار کانالهای یکسانی دریافت کرده اند که باعث بروز تداخل شده است



شکل ۸- میزان تداخل کانالهای ارتباطی بر مبنای تعداد گره های شبکه

## عملکرد کلی تخصیص کانال

در این شبیه‌سازی وزن‌های تابع بهینه طوری تنظیم می‌شود که تعداد کانال‌های تخصیص یافته به ارتباطات یک گره حتی‌الامکان از تعداد ارتباطات رادیویی تجاوز نکند و در مرحله بعدی، عدم تداخل کانال‌های ارتباطی مدنظر قرار می‌گیرد. در این آزمایشات شبکه به طور تصادفی با تعدادی گره در یک فضای  $12 \times 12$  متر تشکیل می‌گردد. شکل ۹ میزان تابع بهینه شده F را برای دو

## زیر نویس‌ها

1. Ripple Effect Problem
2. Wireless Mesh Networks
3. Mesh Routers
4. Mesh Clients
5. Internet Gateway
6. Wireless Ad-hoc Network
7. Channel Assignment
8. Carrier-to-Interference Ratio
9. Base Station
10. Frequency Hopping
1. Unfavorable
2. Stationary
3. Non-Stationary
4. fixed state transition probabilities
15. Variable Structure Learning Automata
1. Linear Reward Penalty
2. Linear Reward Epsilon Penalty
3. Linear Reward Inaction
19. Transmission Range
20. Interference Range
21. Conflict Graph
22. Grid

یادگیر ارائه گردید که سعی می‌کند به طور همزمان با تخصیص بهینه کانال، همزمان با کاهش تداخلات، پدیده انتشار موجدار تغییر کانال را نیز به حداقل برساند. روش ارائه شده عملاً وابستگی به توپولوژی نداشته و براحتی قابل پیاده سازی و استقرار می‌باشد. شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد این روش در مقایسه با روش ارائه شده در معماری Hyacinth به طور موثری هم در کاهش تداخل و هم در کاهش انتشار موجدار تغییر کانال بهتر عمل می‌نماید.

## مراجع

- [1] E.Hossain, Kin L., "Wireless Mesh Networks, Architecture and protocols", Springer (2008).
- [2] A.Raniwala, K. Gopalan, and T. Chiuueh, "Centralized channel assignment and routing algorithms for multi-channel wireless mesh networks," ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R), 2004.
- [3] Raniwala and T. Chiuueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network" in Proc. IEEE Infocom, pp. 2223-2234, 2007.
- [4] T. R. Jensen and B. Toft, "Graph Coloring Problems", Wiley Interscience, New York, 1995.
- [5] Narenrdra, K., S., M. A. L. Thathachar, "Learning Automata: An Introduction", Prentice Hall (1989)
- [6] Thathachar M. A. L., Sastry P.S., Varieties of Learning Automata: An Overview, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, (2002)
- [7] K. Jain, J. Padhye, V. N. Padmanabhan, and L. Qui, "Impact of interference on multi-hop wireless network performance" in Proc. ACM MobiCom'03, pp. 66-80, 2003.
- [8] N. Bouhmala, O. Granmo, "Solving Graph Coloring Problems Using Learning Automata", Springer, 2008, pp. 277-288
- [9] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless mesh networks: a survey", Computer Networks and ISDN Systems, v.47 n.4, p.445-487, 15 March 2005
- [10] K. N. Ramachandran, E. M. Belding, K. C. Almeroth, M. M. Buddhikot, "Interference-Aware Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks", INFOCOM 2006, pp. 1-12<sup>۲۲</sup>