



تخصیص کanal هوشمند برپایه اتوماتای یادگیر در شبکه های بی سیم تبیه دی حامل ترافیک اینترنت



آرش سلیم پور^۱، ضیا الدین بهشتی فر^۲، محمدرضا میبدی^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
- ۲- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
- ۳- پروفسور دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

salimpur@gmail.com
beheshti@qiau.ac.ir
mmeybodi@aut.ac.ir

نام ارائه دهنده: آرش سلیم پور
کد مقاله: com-0894

خلاصه

شبکه های بی سیم تبیه یک تکنولوژی جدید و نوید بخش جهت فراهم آوردن اینترنت برای کاربران است. استفاده از مدل چند رادیو چند کanal فر کانسی منجر به بهبود کارایی این نوع شبکه ها گردید اما این مدل چالش چگونگی تخصیص بهینه کanal را بوجود آورد. در این مقاله یک روش تخصیص کanal جهت کاهش تداخل در شبکه های بی سیم تبیه با استفاده از اتوماتای یادگیر، ارائه گردیده است. که با استفاده از خصوصیات ترافیک اینترنت و بهره گیری از یک ساختار سلسله مراتبی سعی در تخصیص بهینه کanal و کاهش تداخل و افزایش گزندگی شبکه دارد. شیوه ای ارائه شده در این مقاله توسط شبیه ساز NS3 مدل سازی شده و عملکردش با برخی از الگوریتم های تخصیص کanal مقایسه شده است. مطابق نتایج بدست آمده روش ارائه شده عمکرد مناسبی را از خود نشان داده است.

کلمات کلیدی: شبکه های بی سیم تبیه، تخصیص کanal، اتوماتای یادگیر

۱. مقدمه

با افزایش تکنولوژی ارتباطات و نیاز افراد به اتصال دائم و پرسرعت به شبکه های جهانی و تبادل اطلاعات با آن در هر زمان و مکان، نیاز به توسعه شبکه های بی سیم که امکان اتصال کاربران به شبکه اینترنت را به راحتی در هر مکانی فراهم آورند روز به روز مشهود تر می نماید. در این میان شبکه های بی سیم تبیه به

دلیل قابلیت‌ها و ویژگی‌های خاص خود به عنوان یک تکنولوژی جدید رویه رشد و امید بخش برای توسعه‌ی شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده مطرح گردیده‌اند. شبکه‌های بی‌سیم تبیه از دو نوع گره تشکیل شده‌اند: مسیریاب‌های تبیه^۱ و گره‌های کاربر^۲. مسیریاب‌های تبیه یک زیرساخت بی‌سیم چندگامی، جهت فراهم آوردن دسترسی به اینترنت برای کاربران فراهم می‌آورند.

مجهز کردن هر گره با رادیوهای متعدد، به عنوان روشی برای بهبود ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم تبیه معرفی شده است، که با تخصیص کانال‌های غیرهمپوشان به رادیوهای مختلف می‌توان بهره‌وری طیفی شبکه را افزایش داد^[۱].

روش تخصیص کانال باید به نوعی بین جوانب ناسازگاری مانند سادگی، کیفیت و ظرفیت، توازن برقرار نماید. که همین امر، مسئله‌ی تخصیص کانال را در زمرة‌ی مسائل NP-hard قرار داده است^[۲]. حل این گونه مسائل با روش‌های معمول ریاضی بسیار دشوار و زمانبر است به همین علت استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند راهکاری مناسب برای تخصیص کانال به شیوه‌ای مطلوب تر باشد. در مقالاتی مانند^[۳] [۶..۳] از روش‌های هوشمند برای حل مسئله‌ی تخصیص کانال استفاده شده است. برخی از مقالات مانند^[۷..۸] [۸..۹] نیز خصوصاً از آتماتای یادگیر برای این منظور استفاده می‌کنند. استفاده از ساختار سلسه مراتبی به خصوص در شبکه‌های حامل ترافیک می‌تواند به حل مسئله تخصیص کانال کمک شایانی نماید، استفاده از ساختار سلسه مراتبی در^[۹] [۹] مطرح شده است. الگوریتم ارائه شده در این مقاله با استفاده از یک ساختار سلسه مراتبی و اولویت دهی با استفاده از آتماتای یادگیر، با توجه به ویژگی ترافیک اینترنت عمل تخصیص کانال به گونه‌ای انجام می‌شود که مشکل ازدحام در لینک‌های منتهی به گره‌های درگاه را کاهش و کارایی شبکه را افزایش دهد.

۲. جایگاه تخصیص کانال و هدف آن در شبکه‌های بی‌سیم تبیه

شبکه‌های بی‌سیم تبیه که از محصولات کارت‌های شبکه ۸۰۲.۱۱ استفاده می‌کنند، اساساً برای کار بر روی یک کانال مجزا (بخشی از طیف فرکانسی با پهنای باند ویژه) که در حال استفاده از یک رادیویی مجزا هستند، پیکربندی می‌شوند. این پیکربندی، روی ظرفیت شبکه‌ی تبیه به علت تداخل گره‌های همسایه در شبکه، اثر منفی می‌گذارد (چراکه، همه‌ی گره‌های همسایه روی کانال یکسان رقابت می‌کنند).

مجهز کردن هر گره با رادیوهای متعدد، به عنوان یک روش نوید بخش برای بهبود ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم تبیه پدیدار شده است. با تنظیم کانال‌های غیرهمپوشان به رادیوهای مختلف، مسیریاب‌های تبیه می‌توانند به صورت همزمان به ارسال و دریافت داخل یک همسایگی پردازنند. بنابراین استفاده از چند رادیو و چند کانال، منجر به بهره‌وری طیفی کارا و افزایش پهنای باند واقعی موجود روی شبکه می‌شود^[۱۰].

در یک شبکه‌ی بی‌سیم تبیه واقعی، تعداد کل رادیوها نسبت به کانال‌های موجود خیلی بیشتر است. بنابراین، بسیاری از لینک‌ها بین مسیریاب‌های تبیه روی مجموعه یکسانی از کانال‌ها عمل می‌کنند. در نتیجه، تداخل میان ارسال‌ها روی این کانال‌ها می‌تواند بطور چشمگیری بهره‌وری شبکه را کاهش دهد. بنابراین، مانند شبکه‌های سلولی^۳، فاکتور کلیدی برای مینیم کردن اثر تداخل، استفاده‌ی مجدد کارآمد از طیف رادیویی کمیاب است. بنابراین، یک جنبه‌ی کلیدی در معماری شبکه‌های بی‌سیم تبیه چند کانالی و چند رادیویی، مسئله‌ی تخصیص کانال که شامل تخصیص هر رادیو به یک کانال به طرقی که بهره‌وری مؤثر کانال‌های موجود بتواند حاصل شود، می‌باشد. بویژه هدف در مسئله تخصیص کانال در ارتباطات چندگامی، مینیم کردن تداخل روی هر کانال معین می‌باشد^[۱۱]. در مجموع، هدف اساسی دیگر تخصیص کانال در شبکه‌های بی‌سیم تبیه، تضمین سطح مناسب اتصال میان گره‌های تبیه است. به عبارت دیگر، تخصیص کانال‌ها به رادیوها باید اطمینان دهد که مسیرهای متعدد میان مسیریاب‌های تبیه موجود می‌باشد. این یک مشخصه و نیازمندی اساسی برای مقاوم بودن و قابلیت اعتماد لایه backhaul در این گونه شبکه‌ها می‌باشد.

۳. آتماتای یادگیر

^۱ Mesh Router

^۲ Mesh Client

^۳ cellular

آتماتای یادگیر را می‌توان یک شی مجرد در نظر گرفت که دارای تعداد محدودی عمل می‌باشد. عملکرد این شیء به این صورت است که در هر زمان یک عمل از بین مجموعه اعمال انتخاب می‌گردد و سپس در یک محیط تصادفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جوابی که از محیط دریافت می‌شود توسط آتماتا برای انتخاب عمل بعدی بکار گرفته می‌شود و به این ترتیب آتماتا به آرامی عمل بهینه را شناسایی می‌نماید. روشی که آتماتا با استفاده از آن پاسخ محیط را برای انتخاب عمل بعدی به کار می‌برد توسط الگوریتم یادگیری به کار رفته، تعیین می‌شود. هر آتماتای یادگیر تصادفی از دو جزء عمدۀ تشکیل شده است.

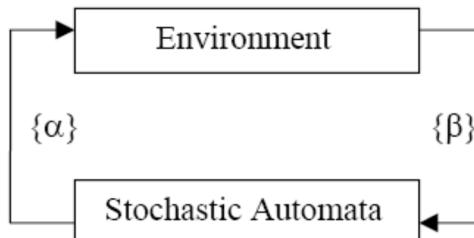
- یک آتماتای تصادفی که دارای تعداد محدودی عمل می‌باشد و با یک محیط تصادفی در حال محاوره می‌باشد.
- الگوریتم یادگیری که با استفاده از آن آتماتا عمل بهینه را شناسایی می‌کند.

هر آتماتا را می‌توان یک ماشین حالت متناهی در نظر گرفت که بوسیله پنج تابی $SA = \{\alpha, \beta, F, G, \varphi\}$ قابل نمایش است. که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های آتماتا، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$ مجموعه ورودی‌های آتماتا، $F \rightarrow \varphi \times \beta$ تابعی که ورودی و حالت جاری را به حالت بعدی نگاشت می‌کند، G تابع خروجی که حالت فعلی را به خروجی بعدی نگاشت می‌کند و $\varphi(n) = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$ مجموعه حالت‌های داخلی آتماتا در لحظه‌ی n است.

حال اگر نگاشتهای G قطعی باشند، آتماتا نیز آتماتای قطعی خوانده می‌شود. در چنین حالتی با در دست داشتن حالت اولیه، ورودی و خروجی، حالت بعدی بصورت منحصر به فردی بدست می‌آید. حال اگر نگاشتهای F تصادفی باشند، آتماتا نیز آتماتای تصادفی خوانده می‌شود. در چنین حالتی فقط می‌توان احتمالات مربوط به حالت بعدی و نیز خروجی‌های مربوطه را مشخص نمود. آتماتای تصادفی خود به دو دسته‌ی آتماتا با ساختار ثابت و آتماتا با ساختار متغیر تقسیم می‌شود. در نوع اول احتمالات مربوط به عمل‌های مختلف ثابت هستند اما در نوع دوم احتمالات در هر بار تکرار بهنگام می‌شوند.

محیط احتمالی را می‌توان بصورت ریاضی با سه تابی $E = \{\alpha, \beta, c\}$ بیان نمود. که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌های محیط، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$ مجموعه خروجی‌های محیط و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ نیز مجموعه احتمال جریمه شدن عمل‌های خروجی آتماتای احتمالی است.

مدل‌های مختلفی برای محیط‌های احتمالی تعریف شده است. در P-Model محیط مقادیر صفر و یک را بعنوان خروجی اختیار می‌کند. صفر به معنی پاداش و یک به معنی جریمه می‌باشد. در Q-Model مقادیر خروجی بصورت اعداد گستره بین صفر و یک هستند و در S-Model خروجی محیط مقدار پیوسته‌ای بین صفر و یک می‌باشد.^[۱۲] رابطه بین محیط احتمالی و یک آتماتای احتمالی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- رابطه‌ی بین آتماتا و محیط احتمالی

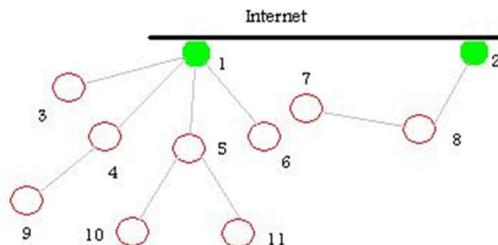
بنابراین در نهایت SLA را می‌توان توسط پنج تابی $SLA = \{\alpha, \beta, P, T, C\}$ نمایش داد. که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه خروجی‌های آتماتا یا ورودی‌های محیط، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$ مجموعه ورودی‌های آتماتا یا خروجی‌های محیط، $P = \{P_1, P_2, \dots, P_s\}$ بردار احتمالات، $T = P(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیر و $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ مجموعه احتمالات جریمه‌ی تعریف شده برای محیط است. جهت سادگی ریاضی، هر یک از حالت‌های داخلی آتماتا را بر یک عمل منحصر به فرد از آتماتا منطبق می‌نمایند.

مقاله بیشترین کاربرد شبکه‌های بی‌سیم تبیه فراهم نمودن دسترسی به اینترنت برای کاربران است. در این مقاله ترافیک شبکه از نوع ترافیک اینترنت فرض شده است. ویژگی چنین ترافیکی جریان داشتن آن بین گره‌های شبکه و گره‌های در گاه است، بدین معنی که هر جریان داده‌ای که از گره‌های شبکه منشاء می‌گیرد به سمت گره‌های در گاه هدایت می‌شود. در چنین شبکه‌ای بیشترین ترافیک در لینک‌های خواهد بود که به گره‌های در گاه نزدیکتر هستند. از طرفی نیازی به ایجاد لینک‌های درون شبکه و کوتاه کردن مسیر جریان داده‌ای میان آنها نخواهد بود.

شبکه‌های مورد بحث در این مقاله بر یک بستر چند کاناله و چند رادیویی ستون فقراتی برای دسترسی کاربران به شبکه اینترنت فراهم می‌آورند. در این گونه شبکه‌ها یک یا چند گره در شبکه به عنوان گرهی در گاه شبکه بی‌سیم تبیه را به اینترنت متصل می‌کنند و سایر گره‌ها به عنوان مسیریاب‌های تبیه عمل سرویس دهی به کاربران را انجام می‌دهند و در عین حال ترافیک را از گره‌های همسایه به سمت مقصد هدایت می‌کنند.

۵. معماری الگوریتم

به دلیل اینکه در این شبکه‌ها مسیریاب‌های در گاه ترافیک بیشتری دارند و بنابراین باید تخصیص کانال پایدارتری داشته باشند تا از افزایش میزان تأخیر انتها به انها جلوگیری شود. مسیریاب‌ها بر اساس میزان نزدیکی آنها تا گره‌های در گاه اولویت بندی می‌شوند. یعنی گره‌های در گاه بیشترین اولویت را دارند و پس از آنها همسایه‌های تک گامی گره‌های در گاه و سپس همسایه‌های دو گامی آنها و به همین ترتیب، اولویت از بالا به پایین می‌گیرند. بنابراین یک ساختار سلسه مراتبی را می‌توان برای مسیریاب‌ها متصور بود. که در این ساختار والد هر مسیریاب، مسیریابی است که از طریق آن می‌تواند ترافیک را به سمت گره‌های در گاه هدایت کند.



شکل ۲- نمونه‌ای از ساختار سلسه مراتبی شبکه‌ی بی‌سیم تبیه با ترافیک اینترنت

در این راهکار روی هر واسط در هر مسیریاب یک اتماتای یادگیر در نظر گرفته می‌شود که برای انتخاب کانال مناسب برای این واسط در این مسیریاب تصمیم گیری می‌کند. در هر دو همسایه باید حداقل یک واسط بر روی یک کانال مشترک تنظیم شوند تا یک اتصال را به وجود بیاورند. هر لینک در گراف اتصال بر روی کانالی تنظیم می‌شود که مسیریاب با اولویت بالاتر تعیین می‌کند. بنابراین اولویت دهی به مسیریاب‌ها از انتشار موجی تغییرات در شبکه جلوگیری خواهد کرد.

هر مسیریاب موظف است یک کانال را به منظور اطمینان از حفظ اتصال شبکه به ارتباط با گره والد تخصیص دهد. این تخصیص موجب تضمین حفظ اتصال شبکه است. اولویت دهی به گره‌ها نیز به واسطه‌ی آن است که اگر دوند مجاور کانالی را برای اتصال دو لینک مختلف انتخاب کرده باشند کسی می‌تواند این کانال را نسبت دهد که اولویت بیشتری دارد.

در ابتدای کار هر اتماتا، احتمال انتخاب همه کانال‌ها (به جز کانالی که برای ارتباط با والد تنظیم شده است) توسط اتماتا یکسان است. هر اتماتا یک کانال را به طور تصادفی برای تخصیص به واسط مربوط به آن انتخاب می‌کند.

پس از تخصیص کانال در هر دور از الگوریتم در یک دوره زمانی نرخ ارسال مجدد بر روی هر لینک بین هر مسیریاب و همسایه‌هایش محاسبه می‌شود. در اولین دور الگوریتم یادگیری این مقدار با یک مقدار آستانه اولیه مقایسه می‌شود و اگر از مقدار آستانه کمتر بود به عنوان پاسخ نامطلوب محیط و اگر بیشتر بود به عنوان پاسخ نامطلوب محیط ارزیابی می‌شود. پس از اولین دور در دورهای بعدی یادگیری مقدار نرخ ارسال مجدد با مقدار قبلی آن مقایسه می‌شود و اگر بیشتر بود نامطلوب و اگر کمتر بود مطلوب در نظر گرفته می‌شود. این مسئله را می‌توان برای کانال A در دور $n+1$ ام الگوریتم با رابطه‌ی ۱ بیان کرد:

$$\text{If } \text{RetransmissionRate}_{n+1}(i) < \text{RetransmissionRate}_n \text{ then} \\ B_{n+1} = 1 \text{ else } B_{n+1} = 0 \quad (1)$$

بنابراین محیط مورد نظر هر اتوماتا در این راهکار یک محیط P است. در این راهکار از مدل پاداش و جریمه خطی استفاده می شود یعنی پس از هر دور تخصیص کانال اگر این تخصیص مطلوب ارزیابی شود احتمال انتخاب این کانال مطابق رابطه ۲ افزایش می یابد و احتمال انتخاب سایر کانال ها نیز مطابق رابطه ۳ کاهش می یابد و به همین صورت اگر پاسخ محیط نامطلوب باشد احتمال انتخاب این کانال برای این واسط کاهش می یابد و احتمال انتخاب سایر کانال ها افزایش می یابد.

$$P_i(n) = P_i(n) + a \times (1 - P_i(n)) \quad (2)$$

$$P_j(n) = (1 - a)P_j(n) \quad (3)$$

شبه کد الگوریتم معرفی شده در شکل ۳ مشخص شده است.

```

Method 1

//suppose P is the set of probability of each action of LA
//suppose r is the number of available channels
//suppose T is the time period between each phase of learning
//suppose RT(n) is the retransmission rate of n'th phase of learning
//suppose PDF(n) is the packet delivery factor of n'th phase of learning
//suppose each node has a priority that decrease when the number of hop to gateway is increase
//suppose each node has a parent that send data to gateway via this parent
//initialize the probability of each action (channel selection) in LA(Learning Automata)

P={P1..Pr} = 1/r

Repeat
{
    i= Select an action from 1..r according to P
    Switch interface of LA to selected channel (action)
    // network works with this channel assignment in a time period (T)
    Wait for T

    //calculate learning function
    RT(n)=calculate Retransmission Rate of this interface
    f(n)=RT(n)-RT(n-1)

    if(f(n)<f(n-1))
        B(n)=1
    else
        B(n)=0

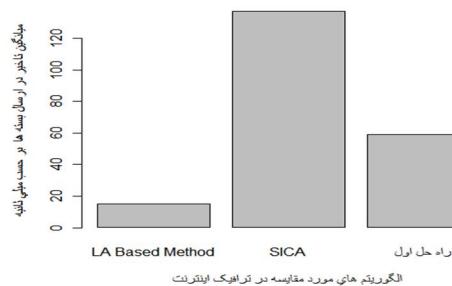
    if(B(n)==0)
    {
        Pi(n)= Pi(n) + a * (1-Pi(n))
        for other channel j=1..r and j!=i
            Pj(n)= (1-a)Pj(n)
    }
    else
    {
        Pi(n)= (1-b)Pi(n)
        for other channel j=1..r and j!=i
            Pj(n)= (b/(r-1))+(1-b)Pj(n)
    }

    Calculate PDF(n)
}
until(1-PDF(n)>Epsilon)

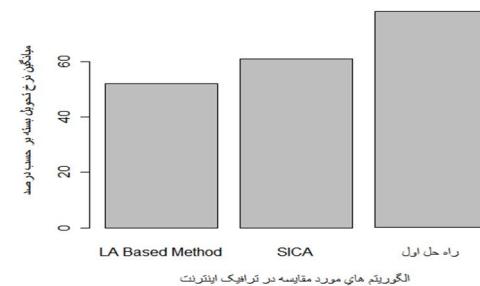
```

شکل ۳- شبکه کد الگوریتم

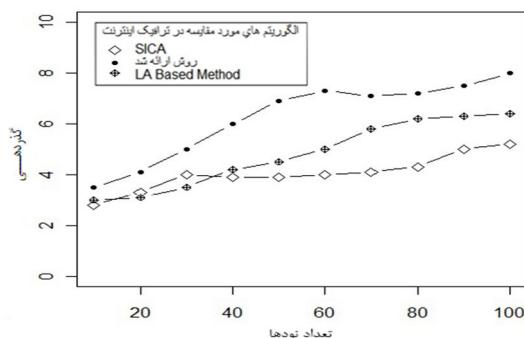
الگوریتم ارائه شده به همراه دو الگوریتم دیگر در شبیه ساز NS3 شبیه سازی شدند. در این بخش نتایج شبیه سازی ها به صورت نمودارهای ارائه شده است. این نمودارها با کمک نرم افزار تحلیل آماری R که یک نرم افزار متن باز و بسیار قدر تمند در این زمینه است رسم شده است. در ادامه، معیارهایی جهت مقایسه و ارزیابی راه کار ارائه شده، در نظر گرفته شده است. این معیارها شامل نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر انتها به انتها برای بسته ها و نرخ تداخل می باشد. در مدل پیاده سازی شده ۱۰۰ گره در مربعی به طول ۱۵۰۰ متر در یک توپولوژی گردید با فاصله های ۱۵۰ متر از یکدیگر چیده شده اند. پروتکل استفاده شده در شبیه سازی استاندارد IEEE802.11s است که در لایه شبکه آن از پروتکل HWMP استفاده شده است. هر مسیر یاب تنیده مجهز به ۳ رادیو با برد ۲۰۰ متر می باشد. جهت شبیه سازی لینک ها از مدل تأخیر ConstantSpeedPropagationDelayModel که یکی از مدل های استاندارد در NS3 است، استفاده شده است. روش معرفی شده در این مقاله با روش های ارائه شده در [۱۳] و [۹] مورد مقایسه قرار گرفته اند.



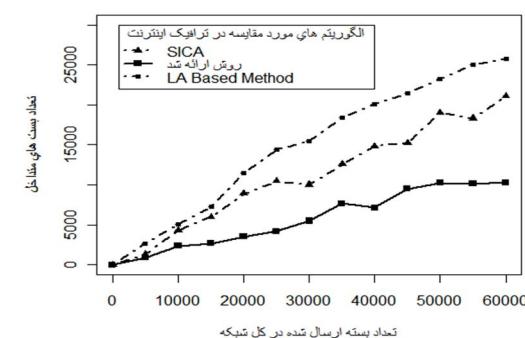
شکل ۵- مقایسه میانگین تأخیر انتها به انتها



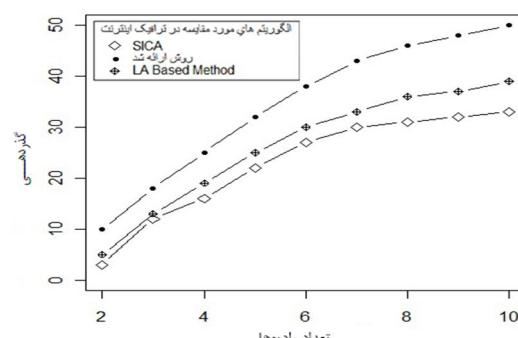
شکل ۶- مقایسه میانگین نرخ تحویل



شکل ۷- مقایسه گذردگی بر حسب تعداد نود های مختلف



شکل ۸- مقایسه نسبت بسته های متداول به تعداد بسته های مختلف



شکل ۹- مقایسه گذردگی با تعداد رادیوهای مختلف

۷. بحث و نتیجه گیری

مطابق خروجی های بدست آمده از شبیه سازی الگوریتم ارائه شده در شیوه ای ارائه شده، به نسبت روش های مقایسه شده عملکرد خوبی را از خود نشان داده است. دلیل این امر توجه به ویژگی خاص ترافیک اینترنت و اولویت دهی به گره های شبکه بر اساس همین ویژگی است. با توجه به اینکه محیط شبکه های

بی سیم یک محیط با پارامترهای ناشناخته است، استفاده از آتماتای یادگیری که با توجه به بازخوردهای بدست آمده از محیط شبکه تصمیم گیری را انجام می دهد باعث ساده تر شدن الگوریتم و نیز پاسخگویی بهتر الگوریتم نسبت به شبکه و تغییرات محیط اطراف عامل می شود.

در این پایان نامه از میزن ارسال مجدد به عنوان بازخورده از شبکه در آتماتای یادگیر مورد استفاده قرار گرفته اند. در ادامه ای این کار می توان پارامترهای دیگری را به عنوان بازخورد شبکه مطرح کرد.

در ایده های مطرح شده از آتماتای یادگیر در محیط P با سیستم پاداش و جریمه خطی استفاده شده است. اما آتماتای یادگیر دارای ویژگی ها و انواع مختلفی است. بررسی بیشتر ویژگی های انواع مختلف آتماتاهای و استفاده بیشتر از ویژگی های به عنوان موضوعی برای کارهای آینده به جهت افزایش کارایی الگوریتم می تواند مطرح باشد.

استفاده ای از سایر ویژگی های خاص در شبکه های با کاربردهای خاص نیز شاید بتواند در بالا بردن کارایی شبکه در شبکه های با کاربرد خاص مفید باشد. اما استفاده از شیوه ای جامع که در شرایط مختلف و برای کاربردهای مختلف بتواند عملکردی مناسب داشته باشد، می تواند در شبکه های همه منظوره مؤثر واقع شود.

۸. قدردانی

از تمامی کسانی که در تهیه این مقاله باری رسانده اند و تمام مراحل تحقیق از هیچ کمک و راهنمایی دریغ نکردن کمال تشکر و قدردانی را دارم.

۹. مراجع

- [1] Krishnamurthy. L, Conner. S, Yarvis. M, Chhabra. J, Ellison. C, Brabenac. C, Tsui. E, Meeting the demands of the digital home with high-speed multi-hop wireless networks , Journal Of Intel Technology,vol. 4, no. 6 , 57–68, 2002.
- [2] Jun. J, Sichitiu. M.L, The nominal capacity of wireless mesh networks, IEEE Wireless Communications, vol. 5, no.10, 8–14, 2003.
- [3] Duarte. P. B. F, Fadlullah. Z. Md, Vasilakos. A. V and Kato. N, On the Partially Overlapped Channel Assignment on Wireless Mesh Network Backbone, A Game Theoretic Approach, Journal of IEEE Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 1, 119-127, 2012.
- [4] Nezhad. M. A, Alabern. L. C, Zapata. M. G, Utility based channel assignment: A centralized channel assignment mechanism for multi radio multi channel wireless mesh networks, Scientific Research and Essays, vol. 7, no.35, 3077-3098, 2012.
- [5] Chen. J, Jia. J, Wen. Y, Zhao. D. and Liu. J, Optimization of resource allocation in multi-radio multi-channel wireless mesh networks, 9Int. Conf. Hybrid Intelligent Systems HIS, vol. 2, 2009.
- [6] Cheng. H, Yang. S, A genetic-inspired joint multicast routing and channel assignment algorithm in wireless mesh networks, The 8th Annual Workshop on Computational Intelligence, Leicester, UK, 2008.
- [7] Pediaditaki. S, Arrieta. P and Marina. M.K, A learning-based approach for distributed multi-radio channel allocation in wireless mesh networks, 17th IEEE International Conference on Network Protocols, 31-41, 2009.
- [8] Eslamnour. B, Zawodniok. M and Jagannathan. S, Dynamic channel allocation in wireless networks using adaptive learning automata, IEEE conference on Wireless Communications & Networking Conference, Budapest, Hungary, 1836-1841 , 2009.
- [۹] بهشتی فرد. ضیاء ، میبدی. محمد رضا ، "بکار گیری آتماتای یادگیر برای تخصیص کانال در شبکه های بی سیم تبیهه" در سومین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران ، صفحه ۴۷۱-۴۸۰، ۱۳۸۸.

- [10] Zhang. Y, Luo. J, Hu. H , Wireless mesh networking architectures protocols and standards, Auerbach Publications is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2007.
- [11] Akyildiz. I, Wang. X, and Wang. W, Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks, vol. 47, no. 5, 445-487.
- [12] Najim. K and Poznyak. A.S, Learning Automata: Theory and Application, Elsevier Science Publishing Ltd, 1994.
- [13] Nezhad. M. A, Alabern. L. C, Zapata. M. G, Channel Assignment protocols for Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks, PhD dissertation, UPC, 2013.