

ارائه یک پروتکل تطبیقی کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه و کارا از نظر انرژی براساس اتوماتای یادگیر در شبکه های حسگر بی سیم

شکوفه شفیعی^۱، محمدرضا میبیدی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اراک، sh.shafeie@gmail.com

^۲ دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده - از جمله ویژگیهای شبکه حسگر که آنرا از سایر شبکه ها متمایز می کند می توان به تعداد بسیار زیاد گره ها و تغییرات توپولوژیکی پویا و احیاناً متناوب و نیز محدودیتهایی در اندازه فیزیکی گره ها، منبع انرژی و قدرت پردازش، اشاره کرد. از جمله روشها برای غلبه بر این محدودیتهای کنترل توپولوژی است که با هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت شبکه بیشترین تاثیر را بر روی کارایی شبکه خصوصا از لحاظ مصرف انرژی و طول عمر دارد. باتوجه به تواناییهای اتوماتای یادگیر از قبیل بار محاسباتی کم و تطبیق با تغییرات از طریق بازخوردهای محیطی ناچیز، در این مقاله یک پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه براساس اتوماتای یادگیر ارائه شده است که در آن گره ها که مجهز به اتوماتا شده اند سعی می کنند با تطبیق دادن اعمال انتخابی خود با شرایط مورد نیاز برای ایجاد یک شبکه متصل و کارا از نظر انرژی، مناسبترین برد رادیویی برای هر گره را انتخاب کرده و در نهایت توپولوژی مناسبی را شکل دهند و از این طریق موجب کاهش مصرف انرژی شبکه در طول حیات آن شوند. ویژگی منحصر به فرد این روش، تعداد بسیار محدوده های انتقالی است که هر گره می تواند به عنوان برد انتخاب نماید. نتایج شبیه سازیها عملکرد مطلوب پروتکل پیشنهادی در مقایسه با سایرین از دیدگاه فوق نشان می دهد.

کلید واژه - اتوماتای یادگیر، پروتکل تطبیقی، شبکه های حسگر بی سیم، کنترل توپولوژی

۱- مقدمه

انرژی در گره های حسگر و افزایش طول عمر شبکه می باشد. از میان روشهای متعددی که می توان برای کاهش دادن انرژی مصرف شده در شبکه حسگر بکار برد، انتخاب توپولوژی مناسب بیشترین تاثیر را بر روی کارایی شبکه از لحاظ مصرف انرژی و طول عمر دارد.

کنترل توپولوژی در شبکه های حسگر هنر هماهنگی گره ها با تصمیم گیری در مورد محدوده انتقالشان به منظور ایجاد یک شبکه با خصوصیات مورد نظر (اتصال و ...) است در حالیکه افزایش ظرفیت شبکه و یا کم مصرف کردن انرژی را تامین می کند [3]. پروتکل های کنترل توپولوژی مختلفی تا کنون به منظور اجازه انتخاب به گره ها برای تنظیم محدوده انتقال خود ارائه شده اند [4] که این انتخابها بر اساس الویت ها و شرایط متفاوت تغییر می کنند. از جمله مواردی که در چگونگی انتخابها تاثیر می گذارد می توان به مصرف

شبکه های حسگر مجموعه ای از تعداد زیادی گره های حسگر می باشد که به هم نزدیک هستند و در محیط پراکنده شده اند و هر کدام بطور خودمختار و با همکاری سایر گره ها هدف خاصی را دنبال می کنند. هر گره در این مجموعه می تواند با گره دیگر ارتباط برقرار کند و اطلاعات خود را در اختیار گره دیگری قرار دهد تا در نهایت وضعیت محیط تحت نظر، به یک نقطه مرکزی گزارش شود. هدف اصلی در شبکه های حسگر بی سیم نظارت و کنترل شرایط و تغییرات جوی، فیزیکی و یا شیمیایی در محیطی با محدوده معین، می باشد [1,2]. اما چون گره ها به طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می کنند و از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک بوده و دارای محدودیت هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه و منبع تغذیه، ... می باشند؛ یکی از اهداف در این شبکه ها به حداقل رساندن مصرف

انرژی کمتر، تنک بودن، کم بودن درجه گره، تحمل پذیری خطا و کاهش تداخل اشاره کرد [4].

با توجه به همین محدودیتهای ذکر شده برای حسگرها هدف بسیاری از تحقیقات به ارائه راهکارهایی معطوف گشته است که با شیوههای کنترلی ساده، آسان و با هزینه پائین علاوه بر پاسخگویی به نیازمندیهای موردنظر بتواند در مقابل محدودیتهایی چون پهنای باند، انرژی محدود، دخالتهای محیطی و ... ایستادگی کنند و شرایط کلی را طبق خواستهها و تمایلات موجود مانند: انتقال حجم زیاد اطلاعات پر محتوا، بقاءپذیری و طول عمر بالا، هزینه پائین و ... منطبق سازند.

بررسی های صورت گرفته بر روی اتوماتای یادگیر و خصوصیات شبکههای حسگر نشان داده است که اتوماتای یادگیر با توجه به ویژگیهایی چون سربار محاسباتی پایین، قابلیت استفاده در محیطهای توزیع شده و دارای اطلاعات نادقیق، توانائی تطبیق با تغییرات محیط مدل بسیار مناسبی برای استفاده در شبکههای حسگر است. به خصوص آنکه با توجه به محدودیت انرژی در گرههای حسگر و نیاز به کاهش انتقال اطلاعات اضافی به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی، تمایل شبکههای حسگر به استفاده از الگوریتمهایی که بتوانند به صورت توزیع شده و با استفاده از اطلاعات محلی به فعالیت بپردازند اهمیت بالایی دارد.

به همین دلیل در این مقاله به ارائه یک پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه بر اساس اتوماتای یادگیر^۱ (LMNALA) می پردازیم. در این پروتکل، به هر گره حسگر در شبکه یک اتوماتای یادگیر تخصیص داده می شود که با استفاده از آن و به مرور زمان مناسبترین محدوده انتقال را برای خود با توجه به شرایط انتخاب خواهد کرد. در روشهای قبلی ارائه شده تعداد محدوده های انتقالی که هر گره می توانسته است انتخاب نماید محدود و اندک شمار بوده است، اما در این روش سعی گردیده تا تعداد بیشتری گزینه انتخابی به هم نزدیک به عنوان محدودههای انتقال پیش روی قرار گیرد.

سازماندهی ادامه مقاله به این صورت است که در بخش ۲ به معرفی کنترل توپولوژی و کارهای مرتبط با آن می پردازیم. در بخش ۳ اتوماتای یادگیر شرح داده می شود. در بخش ۴ مسئله مطرح در این مقاله تعریف می شود. در بخش ۵ پروتکل پیشنهادی توضیح داده می شود. نتایج

شبیه سازی ها در بخش ۶ آورده شده است. بخش ۷ نتیجه گیری می باشد.

۲- کنترل توپولوژی

هدف مکانیسمهای کنترل توپولوژی تغییر محدوده انتقالی گره به صورت پویاست و بدین منظور سطح انرژی رادیویی گره ها را کنترل می کنند تا به یک توپولوژی متصل و درعین حال بهینه برسند که برخی از خصوصیات گراف ارتباطی؛ در زمانی که انرژی مصرفی توسط فرستنده و گیرنده گره کاهش می یابد را پشتیبانی نموده و هم مصرف انرژی را کنترل نماید، زیرا که رادیوی گره ها یکی از منابع اولیه مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم هستند. این مکانیسمها خود با توجه به ماهیت شبکه و اطلاعاتی که هر گره می تواند به دست آورد به دو طبقه کنترل توپولوژی همگن و کنترل توپولوژی ناهمگن تقسیم می شوند [3,4]. در کنترل توپولوژی همگن تمامی گره های شبکه از یک محدوده انتقال یکسان استفاده می کنند و مسئله کنترل توپولوژی به پیدا کردن کمترین مقدار برای محدوده انتقال منجر می شود به گونه ای که خصوصیات شبکه مانند اتصال و... حفظ شود، اما از نقطه نظر کارائی، طول عمر و استحکام کاری چندان مناسب نمی باشند. در کنترل توپولوژی ناهمگن، گره های شبکه می توانند محدوده انتقال غیر یکسانی داشته باشند و مستقلاً محدوده انتقال خود را انتخاب کنند تا در عین حفظ اتصال محلی، تداخل کمتری نیز داشته باشند با توجه به اطلاعاتی که برای ساخت توپولوژی استفاده می کنند به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول روش های مبتنی بر موقعیت است. در این دسته گره ها از موقعیت خود مطلع هستند و با استفاده از این اطلاعات، سعی در ایجاد یک توپولوژی مناسب برای شبکه می نمایند. دسته دوم روش های مبتنی بر جهت می باشند. در این روش ها گره ها اطلاع دقیقی از موقعیت خود ندارند، اما توانایی تشخیص جهت همسایه های خود را دارند. دسته سوم روش های مبتنی بر همسایه هستند که در آنها گره ها اطلاعات محدودی از همسایه های خود دارند. این اطلاعات ممکن است شماره شناسایی، فاصله و یا کیفیت لینک همسایه های گره باشد.

۲-۱- کارهای انجام شده در زمینه کنترل توپولوژی

مبتنی بر همسایه

پروتکل های Kneigh^۲ و XTC^۳ پروتکل کنترل توپولوژی

هدف نهایی آن است که اتوماتا یاد بگیرد که از بین عمل‌های خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل (۱) ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌ها، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشد. c_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب داشته باشد می‌باشد. در محیط ایستا مقادیر c_i بدون تغییر می‌مانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طی زمان تغییر می‌کنند. اتوماتاهای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم‌بندی می‌گردند. در ادامه اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر معرفی می‌شود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی است. فرض کنید عمل α_i در مرحله n ام انتخاب شود.

پاسخ مطلوب

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad (1)$$

پاسخ نامطلوب

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (b/r-1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲)، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می‌توان

توزیع شده از نوع پروتکل‌های کنترل توپولوژی ناهمگن مبتنی بر همسایه هستند [15,16]. هدف از پروتکل Kneigh نگه داری حداقل k همسایه نزدیکتر به هر گره است. هر گره انرژی انتقال خود را تا مقداری افزایش می‌دهد که بتواند بدون واسطه با k همسایه خود ارتباط داشته باشد. در پروتکل XTC هر گره همسایه‌های خود را بر اساس فاصله و کیفیت لینک مرتب می‌کند. گره با همسایه‌هایی از خود ارتباط برقرار می‌کند که با واسطه گره‌های دیگر نتواند با آنها ارتباط برقرار کند و هزینه ارتباط مستقیم کمتر از هزینه ارتباط غیر مستقیم باشد.

از دیگر پروتکل‌های کنترل توپولوژی می‌توان به RAA_2L اشاره کرد که در آن هر گره یکی از دو محدوده انتقال R_s یا R_w ($R_w < R_s$) را انتخاب می‌کند [6]. اگر گره با محدوده انتقال R_w خود توانست با همسایه‌های با محدوده انتقال R_s ارتباط برقرار کند (با واسطه یا بی واسطه) گره محدوده انتقال R_w را انتخاب می‌کند و در غیر این صورت محدوده انتقال R_s را انتخاب می‌کند. در پروتکل RAA_3L هر گره یکی از سه محدوده انتقال R_t, R_s یا R_w ($R_w < R_t < R_s$) را انتخاب می‌کند. مکانیزم به کار رفته در پروتکل RAA_2L برای دو محدوده انتقال R_s و R_t انجام می‌شود. اگر گره محدوده انتقال R_t را انتخاب کرد دوباره مکانیزم به کار رفته در پروتکل RAA_2L برای دو محدوده R_s و R_t انجام می‌شود.

در [5] نیز یک پروتکل کنترل توپولوژی بر اساس اتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (CLATC^۴) پیشنهاد شده است که در آن یک اتوماتای یادگیر سلولی نامنظم بر روی شبکه نگاشت می‌شود. در این اتوماتای یادگیر سلولی نامنظم، هر گره دارای یک اتوماتای یادگیر است و با استفاده از آن می‌تواند از سه محدوده انتقال خود یکی را با توجه به شرایط شبکه و محدوده انتقال دیگر گره‌ها انتخاب کند به گونه ای که پوشش شبکه به نحو کامل برقرار شود.

۳- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر (LA^۵) [7,8] ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تأثیر می‌گیرد.

۵- پروتکل پیشنهادی (LMNALA^{۱۲})

این پروتکل کنترل توپولوژی پیشنهاد شده که مبتنی بر همسایه و بر اساس اتوماتای یادگیر می باشد دارای دو فاز "یادگیری" و "انتخاب مناسبترین برد رادیویی" به شرح زیر است.

۵-۱- یادگیری:

در ابتدای این مرحله به هر گره حسگر در شبکه یک اتوماتای یادگیر تخصیص داده می شود. برد رادیویی تمامی گره ها در ابتدای کار با هم مساوی و برابر با R_t یعنی متناسب با چگالی شبکه می باشد. اتوماتای یادگیر به گره ها کمک می کند تا در نهایت مناسبترین برد را انتخاب کنند. هر اتوماتای یادگیر دارای سه عمل می باشد یعنی: $\alpha 1$ و $\alpha 2$ و $\alpha 3$ که به ترتیب عبارتند از: افزایش برد رادیویی گره به اندازه یک مقدار ثابت (Ainc)، کاهش برد رادیویی گره به اندازه یک مقدار ثابت (Adec)، ثابت نگه داشتن و بی تغییر ماندن برد رادیویی. احتمال انتخاب هر یک از این اعمال را در ابتدای کار با هم برابر در نظر می گیریم یعنی مطابق رابطه زیر که در آن m تعداد عمل های اتوماتا است:

(۳)

$$\forall i \quad i \leq m \quad P_i = \frac{1}{m}$$

$$\alpha 1: (\text{New isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} + \text{Ainc})$$

$$\alpha 2: (\text{New isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} - \text{Adec})$$

$$\alpha 3: (\text{last isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} + 0.0)$$

در ابتدای کار تمامی گره ها به صورت تصادفی و به طور همزمان یکی از اعمال اتوماتا را انتخاب می کنند و سپس با تاثیر دادن آن عمل انتخابی و به روزرسانی برد رادیویی گره، شروع به ارسال پیغام راهنما که حاوی شماره شناسایی حسگر است به اطرافیان خود و به صورت پخش همگانی می کنند. سپس در مرحله بعدی بر اساس تعداد پاسخها به سیگنالهای ارسال شده توسط هر گره (N_{ack}) که در واقع نشانگر تعداد همسایگان هر گره یا همان درجه هر گره می باشد به عمل انتخاب شده جریمه یا پاداش تعلق می گیرد و سیگنال تقویتی را به صورت زیر شکل می دهد. بدین منظور تاییدیه های رسیده به هر گره فرستنده پیغام راهنما با حدود حداقل (T_l) و حداکثر آستانه ای (T_h) که از [11] بدست آمده اند و برای تضمین اتصالات بهینه در شبکه لازمند مقایسه می شود. در صورتیکه تعداد

در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} می نامند، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را L_{RP} می نامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI} می نامند [9].

۴- تعریف مسئله

در این مقاله فرض می شود که هر گره می تواند از محدوده انتقالی بین $[R_w, R_s]$ مقدار معین و مناسبی را که بین محدوده انتقال با توان کم تحت عنوان محدوده انتقال نجوا کننده R_w و محدوده انتقال با توان بالا تحت عنوان محدوده انتقال فریاد زننده R_s است انتخاب نماید و یک محدوده انتقال با توان میانی تحت عنوان محدوده انتقال صحبت کننده R_t ، هم مابین آنها وجود دارد که مقدار آن متناسب با چگالی شبکه مشخص می شود [10]. همچنانکه مشخص است، محدوده انتقال R_w کمتر از دو محدوده انتقال دیگر و محدوده انتقال R_s از دو محدوده انتقال دیگر بزرگتر است ($R_w < R_t < R_s$). مقدار محدوده انتقال R_w برابر $0.8R_t$ محدوده انتقال R_t برابر $1/25$ محدوده انتقال R_s برابر $1.25R_t$ است. در این مدل محدوده انتقال را به n مقدار متفاوت تبدیل می نماییم به طوریکه تفاوت هر مقدار با مقدار قبل از خود برابر با تفاوت هر مقدار با مقدار بعد از خود و برابر با Ainc یا Adec می باشد که در واقع برابر است با:

$$\text{Ainc} = \text{Adec} = (R_s - R_w) / n = C R_t$$

بطوریکه ضریب ثابت C در فرمول فوق برابر است با: $C = 0.45/n$.

مسئله مد نظر در این مقاله انتخاب مناسبترین محدوده انتقال از بازه انتقالی $[R_w, R_s]$ برای هر گره می باشد به نحوی که شرایط لازم برای اتصال شبکه حفظ شود.

k بسته در فاصله d از رابطه زیر بدست می‌آید که در آن E_{Tx_elec} انرژی الکتریکی فرستنده و E_{Rx_elec} انرژی الکتریکی گیرنده و E_{elec} اتلاف انرژی الکترو مغناطیسی و E_{amp} اتلاف انرژی تقویت کننده ارسال می باشد.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx_elec}(k) + E_{Tx_amp}(k, d) \quad (4)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2$$

انرژی لازم برای دریافت بسته نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx_elec}(k) \quad (5)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

انرژی لازم برای انتقال یک بسته از گره A به گره B هم با انرژی لازم برای انتقال از B به A یکسان در نظر گرفته شده است.

این فاز یادگیری که شامل انتخاب یکی از اعمال اتوماتا و به روزرسانی برد رادیویی مطابق با انتخاب صورت گرفته می باشد تا زمانی تکرار می شود که احتمال یکی از اعمال اتوماتا از حد آستانه بیشتر شود یا اینکه مرحله یادگیری k بار تکرار شود.

۵-۲- انتخاب مناسبترین برد رادیویی

هر گره مرحله یادگیری و به روزرسانی برد رادیویی مطابق با انتخاب صورت گرفته (با استفاده از اتوماتای یادگیر) را تا برقراری یکی از شروط زیر ادامه می‌دهد:

- احتمال یکی از عمل‌ها از یک مقدار حدآستانه بیشتر شود.
- تعداد دوره‌های یادگیری و به روزرسانی برد رادیویی به یک حد آستانه برسد.

در هر یک از شرایط پیش آمده فوق گره عملی که احتمال متناظر با آن از سایر اعمال بیشتر شده باشد را انتخاب می کند و برد رادیویی را متناسب با آن عمل انتخاب شده تنظیم می نماید.

۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی، پروتکل‌های CLATC, RAA_2L, RAA_3L [6] و حالت همگن (HOM) [10] در نرم-افزار شبیه‌ساز NS2 شبیه‌سازی و نتایج به دست آمده بایکدیگر و با نتایج حاصله از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی (LMNALA) در شبیه‌ساز ارائه شده [13]

همسایگانی که به پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می دهند مابین حدود آستانه حداقل و حداکثر باشد در این صورت احتمال عملی که منجر به چنین تاثیری شده است افزایش و احتمال سایر اعمال اتوماتا طبق رابطه (1) کاهش می یابد. اما در صورتیکه تعداد همسایگانی که به پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می دهند بیش از حد آستانه حداکثر و یا کمتر از حد آستانه حداقل باشد در این صورت احتمال عملی که منجر به چنین تاثیری شده است و نیز سایر اعمال طبق رابطه (۲) تغییر می یابد.

بنابراین پاسخ محیط به اعمال انتخاب شده توسط اتوماتا به صورت زیر محاسبه می شود :

$$B_i = \begin{cases} 0 : & \text{if } 0 < |N_{ack} - T_1| \leq 3 \\ & \text{مطلوب} \\ 1 : & \text{if } (N_{ack} - T_1) < 0 \text{ or } |N_{ack} - T_1| > 3 \\ & \text{پاسخ نامطلوب} \end{cases}$$

ضریب پاداش (a) را به صورت ثابت در نظر می گیریم اما پارامتر (ضریب) جریمه به صورت متغیر با زمان (t) و متناسب با اختلاف تعداد همسایگان بدست آمده از برد رادیویی انتخاب شده با حدود آستانه به شکل زیر محاسبه می شود :

$$b_i(t) = \begin{cases} (b/10.0) * |N_{ack} - T_1| & \text{if } |N_{ack} - T_1| > 3 \\ & \text{and } |N_{ack} - T_1| \leq (n/5) \\ (b/10.0) * (n/5) & \text{if } |N_{ack} - T_1| > 3 \\ & \text{and } |N_{ack} - T_1| > (n/5) \\ (b/10.0) * |N_{ack} - T_1| & \text{if } (N_{ack} - T_1) < 0 \end{cases}$$

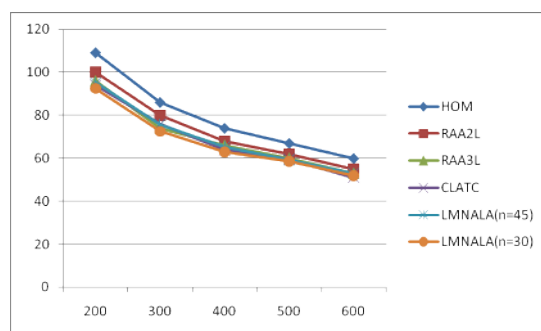
مقدار اولیه b باید به گونه ای انتخاب شود که پارامتر جریمه از حد مشخصی بزرگتر نشود. با در نظرگیری محدودیت در هر دوره برای ضریب تاثیرگذار اختلاف تعداد همسایگان بدست آمده از برد رادیویی انتخاب شده با حدود آستانه، در محاسبه پارامتر جریمه فوق می توان ثابت کرد که رابطه به صورت روبرو همیشه برقرار است: $0 < b_i(t) < 1$

برای محاسبه انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت بسته‌ها به گره‌های همسایه از روش ارائه شده در [12] استفاده شده است. بدین صورت که انرژی لازم برای ارسال

شکل ۲: شکل سمت چپ گراف حداکثر توان با ۳۰۰ نود، شکل سمت راست گراف حاصل از اعمال پروتکل پیشنهادی

آزمایش اول:

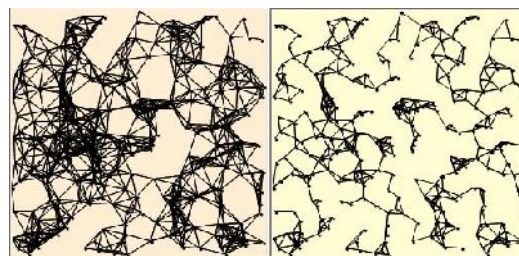
هدف از این آزمایش بررسی متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و HOM و پروتکل پیشنهادی (LMNALA) است. در هر گره هر چه محدوده انتقال انتخاب شده (در عین حفظ متصل بودن شبکه) کمتر باشد، انرژی مصرفی کمتر و با توجه به کاهش تعداد همسایه‌ها، احتمال بروز تداخل نیز کمتر خواهد بود. در نمودار زیر متوسط محدوده انتقال حسگرها برای پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L، HOM و پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه دیده می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود، پروتکل پیشنهادی دارای عملکرد نسبتاً بهینه‌ای از نظر متوسط محدوده انتقال نسبت به دیگر پروتکل‌ها است. حالت HOM دارای بیشترین میانگین محدوده انتقال است که به این علت است که تمامی حسگرها در آن دارای محدوده انتقال R_t می‌باشند. پروتکل RAA_3L دارای متوسط محدوده انتقال کمتری نسبت به پروتکل RAA_2L است. علت این امر این است که در پروتکل RAA_3L هر گره می‌تواند از بین سه محدوده انتقال، برد انتقالی خود را انتخاب کند، در حالی که در پروتکل RAA_2L هر گره از بین دو محدوده انتقال، برد انتقالی خود را انتخاب می‌کند.

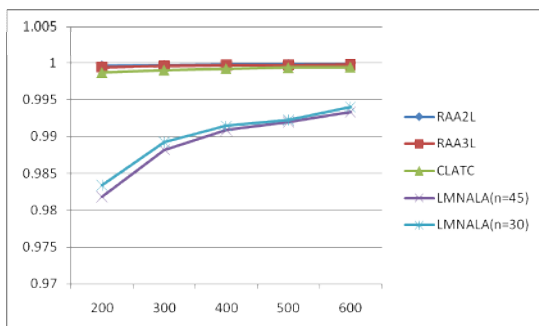


شکل ۳: متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L، HOM و پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

آزمایش دوم:

مقایسه شده‌اند. در شبیه‌سازی، گره‌ها در منطقه‌ای به مساحت $۱۲۵۰ * ۱۲۵۰$ متر مربع توزیع شده‌اند. تعداد گره‌های حسگر برابر با ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ گره در نظر گرفته شده است و همچنین فرض شده که گره‌ها دارای انرژی اولیه یکسانی هستند. هر گره دارای بازه محدوده انتقالی مابین $[R_w, R_s]$ است. محدوده انتقال میانی R_t (متناسب با چگالی شبکه) برابر با ۱۰۹m (برای ۲۰۰ گره)، ۸۶m (برای ۳۰۰ گره)، ۷۴m (برای ۴۰۰ گره)، ۶۷m (برای ۵۰۰ گره) و ۶۰m (برای ۶۰۰ گره) در نظر گرفته شده است [10]. محدوده‌های انتقال R_w و R_s با توجه به محدوده انتقال R_t مشخص می‌شوند. مدل انرژی به کاررفته در این شبیه‌سازی‌ها مدل انرژی است که در مرجع [12] بیان شده است. دفعات یادگیری برای اتوماتا به حداکثر ۵۰ مرتبه محدود شده است. برای این تعداد دفعه از یادگیری که برای مقایسه با سایر پروتکل‌ها لازم بوده متناسب‌ترین مقادیر n بین محدوده‌های ۱۵ تا ۴۵ رخ می‌دهد که با توجه به در نظرگیری معیار دقیق تر بودن برد ارسالی انتخابی برای گره‌ها، در آزمایشات n برابر با ۳۰ و ۴۵ در نظر گرفته شده است. همانطور که آزمایشات نیز نشان می‌دهند هزینه و انرژی مصرفی برای محاسبات اتوماتای یادگیر در مقابل خروجی که ارائه می‌کند بسیار ناچیز است. با توجه به محیط شبیه‌سازی و اندازه شبکه، پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و حالت همگن (HOM) و پروتکل پیشنهادی (LMNALA) از سه منظر متوسط محدوده انتقال، متوسط تعداد همسایه‌های هر گره (وضعیت اتصال شبکه) و متوسط انرژی باقیمانده به ازای n برابر با ۳۰ و ۴۵ و مقدار پارامتر a برابر با ۰٫۱ و مقدار اولیه پارامتر b برابر با ۰٫۰۱ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله، میانگین اجرای پروتکل‌های مورد بررسی برای ۱۰۰ پیکربندی تصادفی مختلف از گره‌هاست. شکل زیر به طور نمونه توپولوژی حاصل از اجرای پروتکل پیشنهادی برای ۳۰۰ گره را در یک آزمایش در مقایسه با حالتی که تمام گره‌ها به طور همگن حداکثر برد ارسالی را دارند نشان می‌دهد.

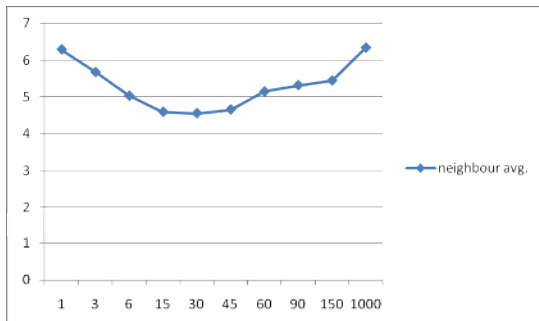




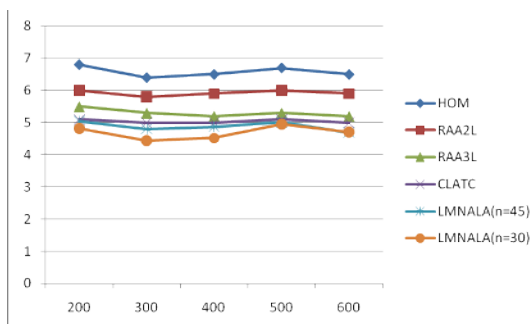
شکل ۵: متوسط انرژی باقی مانده در حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

آزمایش چهارم:

هدف از انجام این آزمایش تعیین نمودن تعداد زیربازه‌های مناسب یعنی مقداری که n بهتر است داشته باشد به ازای تعداد دفعات تکرار الگوریتم یادگیر، برای شبکه می باشد. هرچه که مقدار n بزرگتر انتخاب شود بازه مورد نظر به زیربازه‌های بیشتری تقسیم شده و باعث می شود که انتخابات بیشتری به عنوان برد رادیویی پیش روی هر گره قرار گرفته و میزان دقت هر گره در انتخاب بالاتر رود. ضمن آنکه ($R_s - R_w/n$) به عنوان ضریب یعنی همان (c) بر اعمال انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر (افزایش و کاهش) تاثیر مستقیم دارد. در این آزمایش به بررسی پروتکل پیشنهادی (LMNALA) برای مقادیر مختلف n برابر با ۱، ۳، ۶، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰ و ۱۰۰۰ از سه منظر متوسط محدوده انتقال، متوسط تعداد همسایه‌های هر گره (وضعیت اتصال شبکه) و متوسط انرژی باقیمانده و برای تعداد گره‌های شبکه برابر با ۳۰ و به ازای حداکثر تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه پرداخته شد. نتایج نشان می دهد که به ازای تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در یک محدوده میانی برابر با ۳۰ و ۴۵ بهترین نتایج را داریم؛ هر چند مقدار n برابر با ۱۵ هم مناسب بوده اما بدلیل نیاز به دقت بالاتر آنرا کنار گذاشتیم.



در این آزمایش متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و HOM مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط تعداد همسایه‌های حسگرهای شبکه برای ۵ پروتکل مورد بررسی در اندازه‌های مختلف شبکه در شکل زیر دیده می‌شود. از آنجا که تعداد همسایه‌ها تاثیر مستقیم بر روی تداخل بین حسگرها دارد، کم بودن این پارامتر اهمیت بسیار بالایی دارد. همانگونه که مشاهده می‌شود، پروتکل پیشنهادی کمترین میزان متوسط تعداد همسایه‌ها را نسبت به پروتکل‌های دیگر دارد.

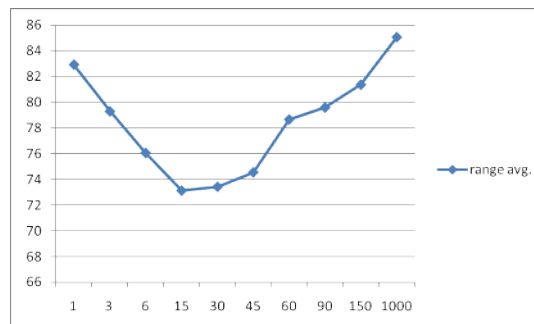


شکل ۴: متوسط تعداد همسایه‌های حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

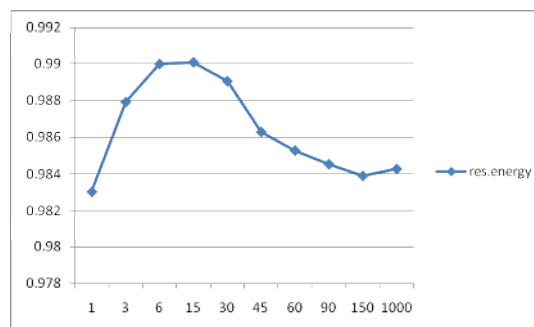
آزمایش سوم:

در این آزمایش متوسط انرژی باقیمانده هر گره برای پروتکل‌های [14] CLATC، RAA_2L و RAA_3L و پروتکل پیشنهادی (LMNALA) مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط انرژی باقیمانده حسگرهای شبکه برای پروتکل‌های مورد بررسی در اندازه‌های مختلف شبکه در شکل زیر دیده می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود متوسط انرژی باقیمانده حسگرهای شبکه بسیار زیاد می‌باشد و نزدیک به انرژی اولیه حسگرها (یک ژول) است. هر چند انرژی مصرفی پروتکل پیشنهادی تقریباً چند برابر پروتکل‌های RAA_2L و RAA_3L است (به علت انجام مرحله یادگیری در پروتکل پیشنهادی)، اما این انرژی مصرفی نسبت به کل انرژی هر گره (یک ژول) بسیار ناچیز است. افزایش انرژی باقیمانده با افزایش تعداد حسگرهای شبکه به علت کاهش محدوده انتقال در شبکه‌های با چگالی بیشتر است. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که پروتکل‌های مورد بررسی بدون مصرف زیاد انرژی توپولوژی مناسبی را ارائه می‌کنند.

شکل ۶: متوسط تعداد همسایه های حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۳۰۰ گره و حداکثر تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در اندازه های مختلف به عنوان n



شکل ۷: متوسط محدوده انتقالی حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۳۰۰ گره و حداکثر تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در اندازه های مختلف به عنوان n



شکل ۸: متوسط انرژی باقیمانده حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۳۰۰ گره و حداکثر تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در اندازه های مختلف به عنوان n

با افزایش تعداد زیربازه های انتخابی یعنی n ، تعداد دفعات یادگیری را هم باید بالا ببریم تا به نتیجه مطلوب برسیم، که این امر با صرف انرژی بیشتر گره ها همراه می شود.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه ای بر اساس اتوماتای یادگیر پیشنهاد گردید که گره ها گرچه با استفاده از اتوماتای یادگیر و با صرف انرژی ناچیز، محدوده انتقال مناسب با شرایط لازم برای حفظ اتصال را برای خود انتخاب می کنند اما در برابر توپولوژی مناسبی بدست می آورند که تا حد امکان کمترین مصرف انرژی برای ارتباطات بین گره ها در طول حیات شبکه را به همراه خواهد داشت به شرط آنکه موازنه ای بین دقت مورد نیاز برای مقادیری که می خواهیم برای محدوده های انتقالی در نظر بگیریم با میزان یادگیری که همراه با صرف انرژی است؛

در نظر گرفته شود. همچنین پروتکل پیشنهادی LMNALA به ازای دو تعداد متفاوت از زیربازه ها شبیه سازی و با دیگر پروتکل ها مقایسه گردیده است. نتایج مقایسه ها نشان دهنده عملکرد مطلوب پروتکل پیشنهادی نسبت به دیگر پروتکل ها است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مشاوره های آقای مهدی اثنی عشری (دانشجوی دکتری کامپیوتر) در آزمایشگاه محاسبات نرم دانشکده کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر کمال تشکر را دارم.

مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramanian Y. and Cayirci E., "A survey on sensor networks", in: Proceedings of the IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [2] Ilyas M. and Mahgoub I., "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", in: Proceedings of the CRC Press, London, Washington, D.C., 2005.
- [3] Santi P., "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks", Wiley, 2005.
- [4] Santi P., "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks", ACM Computer Survey, Vol. 37, No. 2, pp. 164-194, 2005.
- [5] Abolhassani, S., Esnaashari, M. and Meybodi, M. R., "A Cellular Learning Automata based Topology Control Protocol for Sensor Networks", Proceedings of 14th Annual CSI Computer Conference of Iran, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, March 10-11, 2009.
- [6] Venuturumilli A. and Minai A. A., "Obtaining Robust Wireless Sensor Networks Through Self-Organization of Heterogeneous connectivity", in: Proceedings of the 2006 International Conference on Complex Systems (ICCS'06), Boston, MA, June 2006.
- [7] Narendra K. S. and Thathachar M. A. L., "Learning Automata: An Introduction", Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.
- [8] Beigy H. and Meybodi M. R., "A Mathematical Framework for Cellular Learning Automata", Advances on Complex Systems, Vol. 7, No. 3, pp. 1-25, 2004.
- [9] Thathachar M. A. L. and Sastry P. S., "Varieties of Learning Automata: An Overview", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, PP. 711-722, 2002.
- [10] Stauffer D. and Aharony A., "Introduction to Percolation Theory", London: Taylor & Francis, 1994.

- [11] L. Kleinrock and J. A. Silvester, "Optimum transmission radii in packet radio networks or why six is a magic number," in *National Telecommunications Conference*. Birmingham, Alabama: IEEE, Dec. 1978, pp. 4.3.1–4.3.5.
- [12] Heinzelman, W., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H., "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *HICSS 2000*.
- [13] <http://www.djstein.com/projects/index.html>.
- [14] M. Meybodi and S. M. Abolhasani "Usage of Learning Automata for Routing, Fault Tolerance and Topology Control in Wireless Sensor Network." Vol . Master of Science Tehran Amirkabir University of Technology (Polytechnic), 2008.
- [15] Wattenhofer R. and Zollinger A., "***XTC: a practical topology control algorithm for ad-hoc networks***". in: Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2-16, 26-30 April 2004.
- [16] Blough D., Leoncini M., Resta G. and Santi P., "***The k-neighbors protocol for symmetric topology control in ad hoc networks***", in: Proceedings of the ACM MobiHoc 03, pp. 141–152, 2003.

زیر نویس ها

¹Local Mean Neighbor Algorithm based on Learning Automata(LMNALA)

²k-neighbors

³ Extreme Topology Control

⁴ Cellular Learning Automata Topology Control

⁵Learning Automata

⁶ Linear Reward Penalty

⁷ Linear Reward Epsilon Penalty

⁸ Linear Reward Inaction

⁹ whisperer

¹⁰ shouter

¹¹ speaker

¹² Local Mean Neighbor Algorithm based on Learning Automata