

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 میدی^۲

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

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

چکیده - از جمله ویژگیهای شبکه حسگرکه 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 محدودیتها کنترل توپولوژی است که با هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت شبکه بیشترین تاثیر را بر روی کارائی شبکه خصوصاً از لحاظ مصرف انرژی و طول عمر دارد. با توجه به توانائی های اتوماتای یادگیر از قبیل بار محاسباتی کم و تطبیق با تغییرات از طریق بازخورد های محیطی ناجیز، 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 درنهایت 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

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 کارائی 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 تأمین 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 الیت ها و شرایط متفاوت تغییر می کنند. از جمله مواردی که در چگونگی انتخابها تاثیر می گذارد می توان به مصرف

۱- مقدمه

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 شیمیائی در محیطی با محدوده معین، می باشد [1,2]. اما چون گره ها به طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می کند 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

شیوه‌سازی‌ها در بخش ۶ آورده شده است. بخش ۷ نتیجه-گیری می‌باشد.

۲- کنترل توپولوژی

هدف مکانیسمهای کنترل توپولوژی تغییر محدوده انتقالی گره به صورت پویاست و بدین منظور سطح انرژی رادیویی گره‌ها را کنترل می‌کنند تا به یک توپولوژی متصل و در عین حال بهینه برسند که برخی از خصوصیات گراف ارتباطی، در زمانی که انرژی مصرفی توسط فرستنده و گیرنده گره کاهش می‌یابد را پشتیبانی نموده و هم مصرف انرژی را کنترل نماید، زیرا که رادیویی گره‌ها یکی از منابع اولیه مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم هستند. این مکانیسمها خود با توجه به ماهیت شبکه و اطلاعاتی که هر گره می‌تواند به دست آورد به دو طبقه کنترل توپولوژی همگن و کنترل توپولوژی ناهمگن تقسیم می‌شوند [3,4]. در کنترل توپولوژی همگن تمامی گره‌های شبکه از یک محدوده انتقال یکسان استفاده می‌کنند و مسئله کنترل توپولوژی به پیدا کردن کمترین مقدار برای محدوده انتقال منجر می‌شود به گونه‌ای که خصوصیات شبکه مانند اتصال و... حفظ شود، اما از نقطه نظر کارائی، طول عمر و استحکام کاری چندان مناسب نمی‌باشند. در کنترل توپولوژی ناهمگن، گره‌های شبکه می‌توانند محدوده انتقال غیر یکسانی داشته باشند و مستقلًا محدوده انتقال خود را انتخاب کنند تا در عین حفظ اتصال محلی، تداخل کمتری نیز داشته باشند و با توجه به اطلاعاتی که برای ساخت توپولوژی استفاده می‌کنند به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول روش‌های مبتنی بر موقعیت است. در این دسته گره‌ها از موقعیت خود مطلع هستند و با استفاده از این اطلاعات، سعی در ایجاد یک توپولوژی مناسب برای شبکه می‌نمایند. دسته دوم روش‌های مبتنی بر جهت می‌باشند. در این روش‌ها گره‌ها اطلاع دقیقی از موقعیت خود ندارند، اما توانایی تشخیص جهت همسایه‌های خود را دارند. دسته سوم روش‌های مبتنی بر همسایه‌های خود را دارند. دسته اطلاعات محدودی از همسایه‌های خود دارند. این اطلاعات ممکن است شماره شناسایی، فاصله و یا کیفیت لینک همسایه‌های گره باشد.

۱-۱- کارهای انجام شده در زمینه کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه پروتکل‌های Kneigh^۱ و XTC^۲ پروتکل کنترل توپولوژی

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

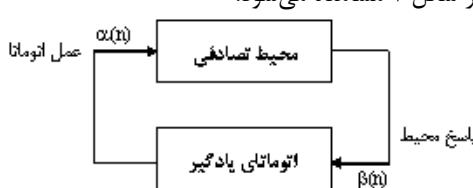
با توجه به همین محدودیتهای ذکر شده برای حسگرها هدف بسیاری از تحقیقات به ارائه راهکارهایی معطوف گشته است که با شیوه‌های کنترلی ساده، آسان و با هزینه پائین علاوه بر پاسخگویی به نیازمندی‌های موردنظر بتواند در مقابل محدودیت‌هایی کنند و شرایط کلی را دخالت‌های محیطی و ... ایستادگی کنند و شرایط کلی را طبق خواسته‌ها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

بررسی‌های 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 نادقيق، 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 پردازند اهمیت بالایی دارد.

به همین دلیل در این مقاله به ارائه یک پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه بر اساس اتوماتای یادگیر^۱ (LMNALA) می‌پردازیم. در این پروتکل، به هر گره حسگر در شبکه یک اتوماتای یادگیر تخصیص داده می‌شود 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 محدوده‌های انتقالی که هر گره می‌توانسته 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 می‌پردازیم. در بخش ۳ اتوماتای یادگیر شرح داده می‌شود. در بخش ۴ مسئله مطرح در این مقاله تعریف می‌شود. در بخش ۵ پروتکل پیشنهادی توضیح داده می‌شود. نتایج

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 حداقل 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 تابی $E = \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌ها، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشد. α احتمال اینکه عمل 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 چهارتایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ 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 هر یک از عمل‌ها و $T[\alpha(n), \beta(n), p(n)] = p(n+1)$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی است. فرض کنید عمل i در مرحله n 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 توبولوژی ناهمگن مبتنی بر همسایه هستند [۱۵, ۱۶]. هدف از پروتکل Kneigh نگه داری حداقل k همسایه‌های خود را بر اساس فاصله و کیفیت لینک مرتبت می‌کند. گره با همسایه‌های 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 توبولوژی می‌توان به RAA_2L اشاره کرد که در آن هر گره یکی از دو محدوده انتقال $R_w < R_s$ یا $R_w > R_s$ را انتخاب می‌کند [۶]. اگر گره با محدوده انتقال R_w خود توانست با همسایه‌هایی 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 $R_w < R_t < R_s$ 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 و دوباره مکانیزم به کار رفته در پروتکل RAA_2L برای دو محدوده R_t و R_s انجام می‌شود.

در [۵] نیز یک پروتکل کنترل توبولوژی بر اساس اتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (CLATC[®]) 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 گونه‌ای که پوشش شبکه به نحو کامل برقرار شود.

۳- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر (LA^{δ}) [۷, ۸] 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 پیشنهادشده که مبتنی بر همسایه و بر اساس اتماتای یادگیر می‌باشد دارای دو فاز "یادگیری" و "انتخاب مناسبترین برد رادیویی" به شرح زیر است.

۱-۵- یادگیری:

در ابتدای این مرحله به هر گره حسگر در شبکه یک اتماتای یادگیر تخصیص داده می‌شود. برد رادیویی تمامی گره‌ها در ابتدای کار با هم مساوی و برابر با R_t یعنی متناسب با چگالی شبکه می‌باشد. اتماتای یادگیر به گره‌ها کمک می‌کند تا در نهایت مناسبترین برد را انتخاب کنند. هر اتماتای یادگیر دارای سه عمل می‌باشد یعنی:
 α_1 :
 α_2 :
 α_3 :

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

α_1 : (New isensorRadius) = (isensorRadius + Ainc)

α_2 : (New isensorRadius) = (isensorRadius - Adec)

α_3 : (last isensorRadius) = (isensorRadius + 0.0)

در ابتدای کار تمامی گره‌ها به صورت تصادفی و به طور همزمان یکی از اعمال اتماتا را انتخاب می‌کنند و سپس با تاثیر دادن آن عمل انتخابی و به روزرسانی برد رادیویی گره، شروع به ارسال پیغام راهنمایی که حاوی شماره شناسایی حسگر است به اطرافیان خود و به صورت پخش همگانی می‌کنند. 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 می‌باشد به عمل انتخاب شده جریمه یا پاداش تعلق می‌گیرد و سیگنال تقویتی را به صورت زیر شکل می‌دهد. بدین منظور تاییدیه‌های رسیده به هر گره فرستنده پیغام راهنمای 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 می‌شود. در صورتیکه تعداد

در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم L_{RP} ^۶ می‌نامند، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم L_{RP} ^۷ می‌نامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم L_{RI} ^۸ می‌نامند [9].

۴- تعریف مسئله

در این مقاله فرض می‌شود که هر گره می‌تواند 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^۹ (R_w) و محدوده انتقال با توان بالا تحت عنوان محدوده انتقال فریاد زننده^{۱۰} (R_s) است انتخاب نماید و یک محدوده انتقال با توان میانی تحت عنوان محدوده انتقال صحبت کننده^{۱۱} (R_t), هم مابین آنها وجود دارد که مقدار آن متناسب با چگالی شبکه مشخص می‌شود [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 $0.8 R_t$ محدوده انتقال R_t و $R_w = 0.8 R_t$ مقدار محدوده انتقال R_s برابر $1/25 R_t$ محدوده انتقال R_t است. در این مدل محدوده انتقال را به n مقدار متفاوت تبدیل می‌نماییم به طوریکه تفاوت هر مقدار با مقدار قبل از خود برابر با تفاوت هر مقدار با مقدار بعد از خود و برابر با $Adec$ یا $Ainc$ می‌باشد که در واقع برابر است با :

$$Ainc = Adec = (R_s - R_w) / n = C R_t$$

بطوریکه ضریب ثابت C در فرمول فوق برابراست 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 می‌باشد به نحوی که شرایط لازم برای اتصال شبکه حفظ شود.

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

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

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

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 درنظر گرفته شده است.

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

۲-۵ - 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 حد آستانه 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 می‌کند و برد رادیویی را متناسب با آن عمل انتخاب شده تنظیم می‌نماید.

۶ - نتایج شبیه‌سازی‌ها

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

همسایگانی که به پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می‌دهند مابین حدود آستانه حداقل و حدکثر باشد در این صورت احتمال عملی که منجر به چنین تاثیری شده است افزایش و احتمال سایر اعمال اتوماتا طبق رابطه (1) کاهش می‌یابد. اما در صورتیکه تعداد همسایگانی که به پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می‌دهند بیش از حد آستانه حدکثر 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 (2) تغییر می‌یابد.

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

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

ضریب پاداش (a) را به صورت ثابت در نظر می‌گیریم 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 می‌شود :

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

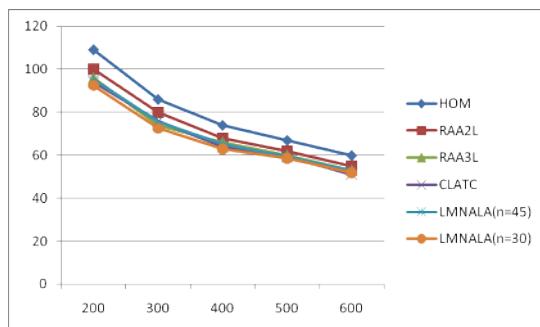
مقدار اولیه b باید به گونه ای انتخاب شود که پارامتر جریمه از حد مشخصی بزرگتر نشود. با درنظر گیری محدودیت در هر دوره برای ضریب تاثیرگذار اختلاف تعداد همسایگان بدست آمده از برد رادیویی انتخاب شده با حدود آستانه، در محاسبه پارامتر جریمه فوق می‌توان ثابت کرد که رابطه به صورت روی رو همیشه برقرار است: $b_i(t)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

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:

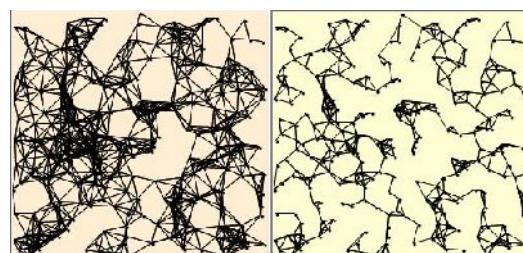
هدف از این آزمایش بررسی متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکلهای CLATC، RAA_3L، RAA_2L و HOM و پروتکل پیشنهادی (LMNALA) است. در هر گره هر چه محدوده انتقال انتخاب شده (در عین حفظ متصل بودن شبکه) کمتر باشد، انرژی مصرفی کمتر و با توجه به کاهش تعداد همسایه‌ها، احتمال بروز تداخل نیز کمتر خواهد بود. در نمودار زیر متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکلهای CLATC، RAA_3L، RAA_2L، 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 پروتکلهای است. حالت HOM دارای بیشترین میانگین محدوده انتقال است که به این علت است که تمامی حسگرهای 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.

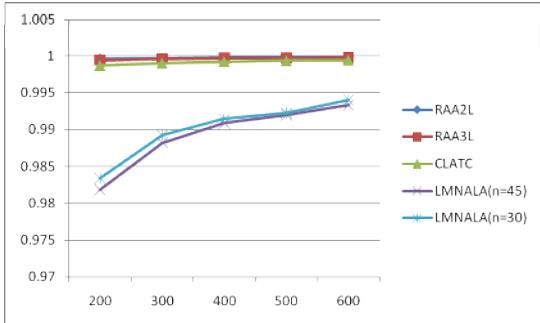


شکل ۳: متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکلهای HOM، RAA_3L، RAA_2L، CLATC و پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

آزمایش دوم:

مقایسه شده‌اند. در شبیه‌سازی، گره‌ها در منطقه‌ای به مساحت $1250 * 1250$ 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 $10.9m$ (برای ۲۰۰ گره)، $8.6m$ (برای ۳۰۰ گره)، $7.4m$ (برای ۴۰۰ گره)، $6.7m$ (برای ۵۰۰ گره) و $6.0m$ (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 اتماتاً به حداکثر ۵۰ مرتبه محدود شده است. برای این تعداد دفعه از یادگیری که برای مقایسه با سایر پروتکلهای لازم بوده متناسب‌ترین مقادیر n بین محدوده‌های ۱۵ تا ۴۵ رخ می‌دهد که با توجه به در نظر گیری معیار دقیق تر بودن برد ارسالی انتخابی برای گره‌ها، در آزمایشات $n=30$ برابر با $45m$ در نظر گرفته شده است. همانطور که آزمایشات نیز نشان می‌دهند هزینه و انرژی مصرفی برای محاسبات اتوماتی یادگیری در مقابل خروجی که ارائه می‌کند بسیار ناچیز است. با توجه به محیط شبیه‌سازی و اندازه شبکه، پروتکلهای RAA_3L، RAA_2L، CLATC 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 $45m$ و مقدار پارامتر a برابر با 0.1 و مقدار اولیه پارامتر b برابر با 0.01 مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله، میانگین اجرای پروتکلهای مورد بررسی برای ۱۰۰ پیکربندی تصادفی مختلف از گره‌های است. شکل زیر به طور نمونه توبیلوژی 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.



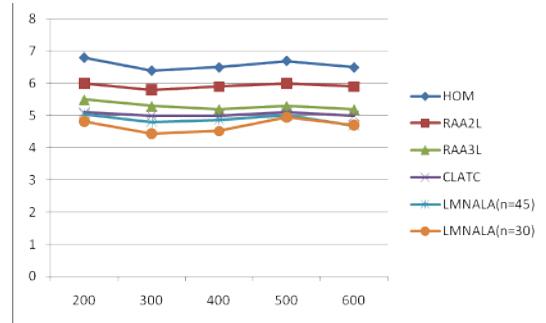


شکل ۵: متوسط انرژی باقی مانده در حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

در این آزمایش متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکلهای HOM، RAA_3L، RAA_2L، CLATC و RAA_3L، RAA_2L، CLATC 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 حسگرهای دارد، کم بودن این پارامتر اهمیت بسیار بالاتی دارد. همانگونه که مشاهده می‌شود، پروتکل پیشنهادی کمترین میزان متوسط تعداد همسایه‌ها را نسبت به پروتکلهای دیگر دارد.

آزمایش چهارم:

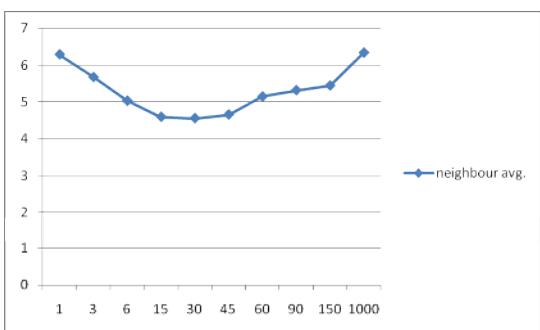
هدف از انجام این آزمایش تعیین نمودن تعداد زیربازه‌های مناسب یعنی مقداری که n بهتر است داشته باشد به ازای تعداد دفعات تکرار الگوریتم یادگیری، برای شبکه می‌باشد. هرچه که مقدار n بزرگ‌تر انتخاب شود بازه مورد نظر به زیر بازه‌های بیشتری تقسیم شده و باعث می‌شود که انتخابات بیشتری به عنوان برد رادیویی پیش روی هر گره قرار گرفته و میزان دقیق هر گره در انتخاب بالاتر رود. ضمن آنکه (c) بر اعمال $R_s - R_w/n$ به عنوان ضریب یعنی همان (c) تاثیر انتخاب شده توسط اتونماتیک یادگیر (افزایش و کاهش) تاثیر مستقیم دارد. در این آزمایش به بررسی پروتکل پیشنهادی (LMNALA) برای مقادیر مختلف n برابر با ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۵، ۴۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ محدوده انتقال، متوسط تعداد همسایه‌های هر گره (وضعیت اتصال شبکه) و متوسط انرژی باقیمانده و برای تعداد گره‌های شبکه برابر با ۳۰۰ و به ازای حداقل تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که به ازای تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در یک محدوده میانی برابر با ۴۵ و ۳۰ بهترین نتایج را داریم؛ هر چند مقدار n برابر با ۱۵ هم مناسب بوده اما بدلیل نیاز به دقیق بالاتر آنرا کنار گذاشتیم.



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 و RAA_3L، RAA_2L، CLATC و RAA_3L، RAA_2L، CLATC 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_3L و RAA_2L 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 توبولوژی مناسبی را ارائه می‌کنند.



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 هاست.

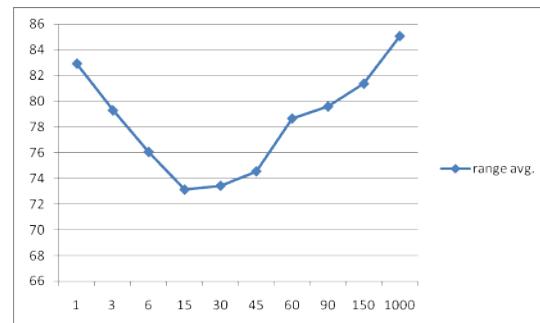
سپاسگزاری

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

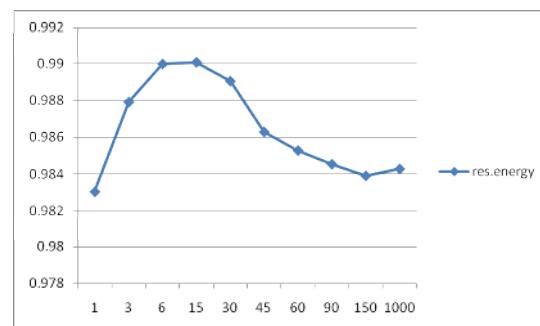
مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam 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.

شکل ۶: متوسط تعداد همسایه های حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۳۰۰ گره و حداقل 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 حداقل 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 حداقل 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 توبولوژی مبتنی بر همسایه ای بر اساس اتماتای یادگیر پیشنهاد گردید که گره ها گرچه با استفاده از اتماتای یادگیر و با صرف انرژی ناچیز، محدوده انتقال مناسب با شرایط لازم برای حفظ اتصال را برای خود انتخاب می کنند اما در برابر توبولوژی 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؛

- [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)
- ² k -neighbors
- ³ Extreme Topology Control
- ⁴ Cellular Learning Automata Topology Control
- ⁵ Learning 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