

LMNALAQ، 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؛ مهدی اثنی عشری^۳

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 محدودیتها 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 توانائیهای 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 محدوددهای انتقالی است که هر گره می تواند به عنوان برد انتخاب نماید. نتایج شبیه سازها عملکرد مطلوب پروتکل پیشنهادی در مقایسه با سایرین از دیدگاه فوق نشان می دهد.

کلمات کلیدی

اتوماتای یادگیر، پروتکل تطبیقی، شبکههای حسگر، کنترل توپولوژی، مبتنی بر همسایه

LMNALAQ, An Adaptive Neighbor based and Energy Efficient Topology Control Protocol with Learning Automata in W.S.N

Sh. Shafeie*; M. R. Meybodi**; M. Esnaashari**

* Islamic Azad University- Arak Branch

** Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

From one of sensor network characteristics which make it different from other networks can refer to very high number of nodes and dynamic and probably periodic topological changes and also some constraints in physical size of nodes, energy resource and power of processing. One of methods to overcome these constraints is topology control that with the aim of reducing energy consumption and increasing network's capacity has the most influence on efficiency of network, especially from points of energy consumption and lifetime. In consideration of learning automata's abilities such as; low computational load, and adaptability to changes via low environmental feedbacks, in this paper a neighbor based topology control protocol which is based on learning automata has been proposed that nodes; which have been equipped with automata and try to adapting their selected actions to required conditions for creating a connected and energy efficient network, select the best radio range for each node and finally, form a proper topology and through this way cause to lower network's energy consumption in its lifetime. The exclusive characteristic of this method is; the high number of transmission ranges that each node can select as transmission radius. Simulation's Results show favourite functionality of proposed protocol in comparison with some others from above point of view.

KEYWORDS

Adaptive protocol, Learning Automata, Neighbor based, Topology control, Wireless Sensor Networks.

۱. مقدمه

شبکه های حسگر مجموعه ای از تعداد زیادی گرهمای حسگر میباشد که به هم نزدیک هستند و در محیط پراکنده شده اند و هر کدام بطور خودمختار و با همکاری سایر گرهمای هدف خاصی را دنبال میکنند. هر گرهمه در این مجموعه میتواند با گرهمه دیگر ارتباط برقرار کند و اطلاعات خود را در اختیار گرهمه دیگری قرار دهد تا در نهایت وضعیت محیط تحت نظر، به یک نقطه مرکزی گزارش شود. هدف اصلی در شبکه های حسگر بیسیم نظارت و کنترل شرایط و تغییرات جوی، فیزیکی و یا شیمیایی در محیطی با محدوده معین، میباشد [۱،۲]. اما چون گرهمه 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 در گرهمه 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 گرهمه ها با تصمیمگیری 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 میکند [۳]. پروتکل های کنترل توپولوژی مختلفی تا کنون به منظور اجازه انتخاب به گرهمه ها برای تنظیم محدوده انتقال خود ارائه شده اند [۴] که این انتخابها بر اساس الویت ها و شرایط متفاوت تغییر می کنند. از جمله مواردی که در چگونگی انتخابها تاثیر میگذارد میتوان به مصرف انرژی کمتر، تنگ بودن، کم بودن درجه گرهمه، تحمل پذیری خطا و کاهش تداخل اشاره کرد [۴].

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

بررسی های صورت گرفته بر روی اتوماتای یادگیر و خصوصیات شبکه های حسگر نشان داده است که اتوماتای یادگیر با توجه به ویژگیهایی چون سربار محاسباتی پایین، قابلیت استفاده در محیط های توزیع شده و دارای اطلاعات نادقیق، توانایی تطبیق با تغییرات محیط تمایل مدلی بسیار مناسبی برای استفاده در شبکه های حسگر است. به خصوص آنکه با توجه به محدودیت انرژی در گرهمه های حسگر و نیاز به کاهش انتقال اطلاعات اضافی به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی، تمایل شبکه های حسگر به استفاده از الگوریتم هایی 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 (LMNALAQ) می پردازیم. در این پروتکل، به هر گرهمه 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 گرهمه 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 محدوده های انتقال پیش روی قرار گیرد.

سازماندهی 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 میشود. در بخش ۴ مسئله مطرح در این مقاله تعریف میشود. در بخش ۵ پروتکل پیشنهادی توضیح داده می شود. نتایج شبیه سازی ها در بخش ۶ آورده شده است. بخش ۷ نتیجه گیری میباشد.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اراک، sh.shafeie@gmail.com.

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

۳. آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، esnaashari@aut.ac.ir

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 [۱۸] 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 میتواند به دست آورد به دو طبقه کنترل توپولوژی همگن و کنترل توپولوژی ناهمگن تقسیم میشوند [۳،۴]. در کنترل توپولوژی همگن تمامی گرهها ی 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 بهیاباشند. در کنترل توپولوژی ناهمگن، گرههای شبکه میتوانند 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 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 می نمایند. دسته دوم روشهای مبتنی بر جهت می باشند. در این روشها گرهها اطلاع دقیقی از موقعیت خود ندارند، اما توانایی تشخیص جهت همسایههای خود را دارند. دسته سوم روشهای مبتنی بر همسایه هستند که در آنها گرهها اطلاعات محدودی از همسایه های خود دارند. این اطلاعات ممکن است شماره شناسایی، فاصله و یا کیفیت لینک همسایههای گره باشد.

۱.۲. برخی از کارهای انجام شده در زمینه کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه

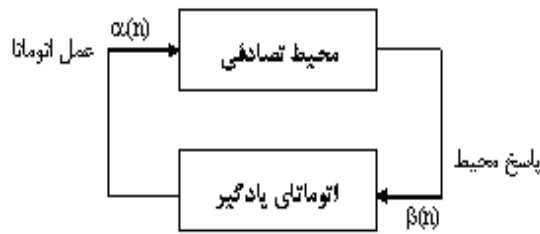
پروتکلهای Kneigh^۲ و XTC^۳ پروتکل کنترل توپولوژی توزیع شده از نوع پروتکلهای کنترل توپولوژی ناهمگن مبتنی بر همسایه هستند [۱۵،۱۶]. هدف از پروتکل Kneigh نگه داری حداقل k همسایه نزدیکیتر به هر گره است. هر گره انرژی انتقال خود را تا مقداری افزایش میدهد که بتواند بدون واسطه با k همسایه خود ارتباط داشته باشد. در پروتکل XTC هر گره همسایههای خود را بر اساس فاصله و کیفیت لینک مرتب می کند. 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 پروتکل های کنترل توپولوژی می توان به RAA_{۲L} اشاره کرد که در آن هر گره یکی از دو محدوده انتقال R_s یا R_w ($R_w < R_s$) را انتخاب میکند [۶]. 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_{۲L} هر گره یکی از سه محدوده انتقال R_s ، R_t یا R_w ($R_w < R_t < R_s$) را انتخاب میکند. مکانیزم به کار رفته در پروتکل RAA_{۲L} 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_{۲L} برای دو محدوده R_s و R_t انجام میشود.

در [۵] 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^5) [۷،۸،۱۷] 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. هدف نهایی آن است که اتوماتا یاد بگیرد که از بین عمل های 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 احتمالات جرمیه 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 می کنند. ورودی محیط یکی از r عمل انتخاب شده اتوماتا است. خروجی (پاسخ) محیط به هر عمل i توسط β_i مشخص می شود. اگر β_i یک پاسخ دودویی باشد، محیط مدل P^e نامیده می شود. در چنین محیطی $\beta_i(n) = 1$ بعنوان پاسخ نامطلوب^۷ یا شکست^۸ و $\beta_i(n) = 0$ بعنوان پاسخ مطلوب^۹ یا موفقیت در نظر گرفته می شوند. در محیط مدل Q^{10} ، $\beta_i(n)$ شامل تعداد محدودی از مقادیر قرار گرفته در بازه $[0, 1]$ می باشد. درحالیکه در محیط مدل S^{11} مقادیر $\beta_i(n)$ یک متغیر تصادفی در بازه $[0, 1]$ می باشد. اتوماتاهای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم بندی می گردند. اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج تایی $\{\alpha, \beta, F, G, \Phi\}$ نشان داده میشود که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ مجموعه عملهای اتوماتا و $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ مجموعه ورودیهای اتوماتا و $\phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$ وضعیتهای داخلی اتوماتا، تابع $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$ تابع تولید وضعیت جدید اتوماتا و $G = \phi \rightarrow \alpha$ خروجی می باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می نگارد. 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 می باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را میتوان در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP}^{12} مینامند، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را L_{Rep}^{13} مینامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI}^{14} مینامند [۹].

۴. تعریف مسئله

در این مقاله فرض می شود 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^{۱۵} (R_w) و محدوده انتقال با توان بالا تحت عنوان محدوده انتقال فریاد زنده^{۱۶} (R_s) است انتخاب نماید و یک محدوده انتقال با توان میانی تحت عنوان محدوده انتقال صحبت کننده^{۱۷} (R_t) ، هم مابین آنها وجود دارد که مقدار آن متناسب با چگالی شبکه مشخص میشود [۱۰]. 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 $0.8 R_t$ و مقدار محدوده انتقال R_s برابر 1.25 محدوده انتقال

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 A_{inc} یا A_{dec} می باشد که در واقع برابر است با :

$$A_{inc} = A_{dec} = (R_s - R_w) / n = C R_t$$

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

مسأله 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 و با این کار از اتلاف انرژی هم جلوگیری به عمل آورد.

۵. پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ^{۱۸})

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.

۱.۵. 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: α_1 و α_2 و α_3 که به ترتیب عبارتند از: افزایش برد رادیویی گره به اندازه یک مقدار ثابت (A_{inc})، کاهش برد رادیویی گره به اندازه یک مقدار ثابت (A_{dec})، 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 با رابطه زیر که در آن m تعداد عمل های اتوماتا است :

$$\forall i \quad i \leq m \quad P_i = \frac{1}{m} \quad (3)$$

$$\alpha_1: (\text{New isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} + A_{inc})$$

$$\alpha_2: (\text{New isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} - A_{dec})$$

$$\alpha_3: (\text{last isensorRadius}) = (\text{isensorRadius} + 0.0)$$

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. پس از گذشت فاصله زمانی کوتاهی، هر گره 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 را به دست آورده و بر اساس آن عمل خود را مورد ارزیابی قرار داده و به عمل انتخاب شده جریمه یا پاداش می دهد. عکس العمل محیط به اعمال اتوماتا را بدین صورت اعمال می نماییم که یک رابطه جهت پاداش و دو رابطه جهت جریمه تعریف می کنیم. مقادیر b_{low} و b_{high} ، در روابط (۴) و (۵) پارامترهای جریمه می باشند و b_{high} از b_{low} بزرگتر در نظر گرفته می شود (یعنی: $b_{high} = b_{low} * 2$) بنابراین رابطه (۴) نسبت به رابطه (۵) عمل اتوماتا را به میزان بیشتری جریمه می کند. سیگنال تقویتی که تولید می گردد یکی از مقادیر مجموعه سه مقداری $\{0.5, 0.0, 0.5\}$ را دارا می باشد و بنابراین محیط از نوع Q است. مقدار تولیدی β_i برابر با ۰ باعث پاداش دادن به عمل انجام گرفته می شود و مقادیر تولیدی β_i برابر با ۰.۵ و ۱ باعث اعطای جریمه به عمل انجام گرفته می شود که ۱ بیانگر جریمه بیشتر (رابطه ۴) و ۰.۵ بیانگر جریمه کمتر (رابطه ۵) می باشد. سیگنال تقویتی بدین صورت محاسبه می شود که تاییدیه های رسیده به هر گره فرستنده پیغام راهنما با حدود حداقل (T_1) و حداکثر آستانه ای (T_h) که از [۱۱] بدست آمده اند و برای تضمین اتصالات بهینه در شبکه لازمند مقایسه می شود. در صورتیکه تعداد همسایگانی که به پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می دهند مابین حدود آستانه حداقل و حداکثر و به شرح زیر باشد؛ در این صورت احتمال عملی که منجر به چنین تاثیری شده است طبق رابطه (۱) افزایش و احتمال سایر اعمال اتوماتا طبق همین رابطه کاهش می یابد، اما در غیر این صورت بسته به تعداد همسایگانی که به

پیغام راهنمای ارسالی از طرف یک گره پاسخ می دهند، احتمالات هم طبق رابطه (۴) یا (۵) و متناسب با آن پاسخها و مطابق با ضرایب مربوطه تغییر می یابند. بنابراین پاسخ محیط به اعمال انتخاب شده توسط اتوماتا به صورت زیر محاسبه می شود :

$$B_i = \begin{cases} 0 : & \text{if } 0 \leq |N_{ack} - T_i| \leq 3 & \text{پاسخ مطلوب :} \\ 0.5 : & \text{if } -2 \leq (N_{ack} - T_i) < 0 \text{ or } 3 < (N_{ack} - T_i) \leq 5 & \text{پاسخ نامطلوب (جریمه کمتر):} \\ 1 : & \text{if } (N_{ack} - T_i) < -2 \text{ or } (N_{ack} - T_i) \geq 5 & \text{پاسخ نامطلوب (جریمه بیشتر):} \end{cases}$$

$$p_i(n+1) = (1 - b_{high}) p_i(n) \quad (۴)$$

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

$$p_i(n+1) = (1 - b_{low}) p_i(n) \quad (۵)$$

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

این مرحله 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. برای محاسبه انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت بسته ها به گره های همسایه از روش ارائه شده در [۱۲] استفاده شده است.

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 دوره های یادگیری و به روزرسانی برد رادیویی به یک حد آستانه نرسد.
- 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 می نماید.

۶. نتایج شبیه سازیها

به منظور ارزیابی، پروتکل های RAA_3L, RAA_2L, CLATC [۶] و حالت همگن (HOM) [۱۰] در نرم افزار شبیه ساز NS2 شبیه سازی و نتایج به دست آمده بایکدیگر و با نتایج حاصله از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) در شبیه ساز ارائه شده [۱۳] مقایسه شده اند. در شبیه سازی، گره ها در مناطقی به مساحت $1250 * 1250$ متر مربع توزیع شده اند. تعداد گره های حسگر برابر با ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ گره در نظر گرفته شده است و همچنین فرض شده که گره ها 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 [۱۰]. محدوده ای انتقال R_w و R_s با توجه به محدوده انتقال R_t مشخص میشود. مدل انرژی به کاررفته در این شبیه سازیها مدل انرژی است که در مرجع [۱۲] بیان شده و بدین صورت است که انرژی لازم برای ارسال k بسته در فاصله d از رابطه (۶) در زیر و انرژی لازم برای دریافت بسته نیز از رابطه (۷) در زیر بدست می آیند:

$$E_{Tx}(k,d) = E_{Tx_elec}(k) + E_{Tx_amp}(k,d) \quad (6)$$

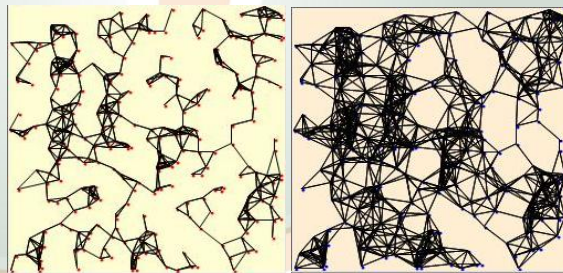
$$E_{Tx}(k,d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx_elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (7)$$

لازم به ذکر است که انرژی لازم برای انتقال یک بسته از گره A به گره B با انرژی لازم برای انتقال از B به A یکسان در نظر گرفته می شود. 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 محدوده های ۱۵ تا ۴۵ رخ می دهد که باتوجه به در نظرگیری معیار دقیق تر بودن برد ارسالی انتخابی برای گره ها، در آزمایشات n برابر با ۳۰ و ۴۵ در نظر گرفته شده است. همانطور که آزمایشات نیز نشان می دهند هزینه و انرژی مصرفی برای محاسبات اتوماتای یادگیر در مقابل خروجی که ارائه می کند بسیار ناچیز است.

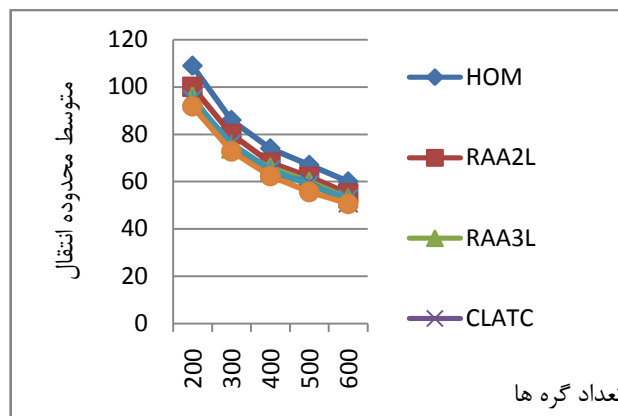
با توجه به محیط شبیه سازی و اندازه شبکه، پروتکل های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و حالت همگن (HOM) و پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) از سه منظر متوسط محدوده انتقال، متوسط تعداد همسایه های هر گره (وضعیت اتصال شبکه) و متوسط انرژی باقیمانده به ازای n برابر با ۳۰ و ۴۵ مقدار پارامتر a برابر با ۰.۱ و مقدار اولیه پارامتر b یعنی (b_{low}) برابر با ۰.۰۱ مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج حاصله، میانگین اجرای پروتکل های مورد بررسی برای ۱۰۰ پیکربندی تصادفی مختلف از گره ها است. شکل زیر به طور نمونه توپولوژی حاصل از اجرای پروتکل پیشنهادی برای ۳۰۰ گره را در یک آزمایش در مقیاسه با حالتی که تمام گره ها به طور همگن حداکثر برد ارسالی را دارند نشان می دهد.



شکل ۲) شکل سمت راست گراف حداکثر توان با ۳۰۰ گره، شکل سمت چپ گراف حاصل از اعمال پروتکل پیشنهادی است.

آزمایش اول:

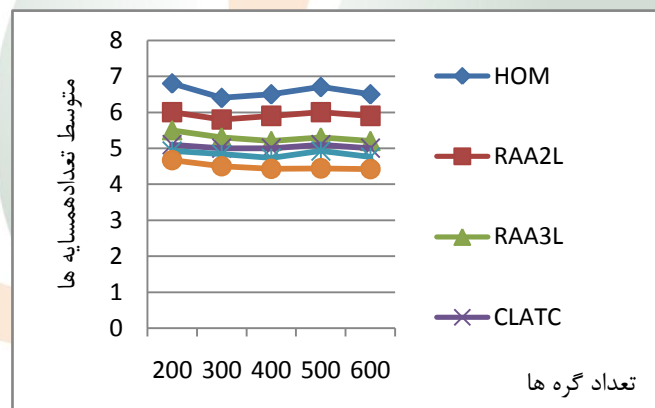
هدف از این آزمایش بررسی متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکل های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و HOM و پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) است. در هر گره هر چه محدوده انتقال انتخاب شده (در عین حفظ متصل بودن شبکه) کمتر باشد، انرژی مصرفی کمتر و با توجه به کاهش تعداد همسایه ها، احتمال بروز تداخل نیز کمتر خواهد بود. در نمودار زیر متوسط محدوده انتقال حسگرها برای پروتکل های CLATC، RAA_2L، RAA_3L، HOM و پروتکل پیشنهادی در اندازه های مختلف شبکه دیده میشود. همانگونه که دیده میشود، پروتکل پیشنهادی دارای عملکرد نسبتاً بهینه ای 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، محدوده انتقال خود را انتخاب کند، در حالی که در پروتکل RAA_2L هر گره از بین دو محدوده انتقال، محدوده انتقال خود را انتخاب میکند.



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

آزمایش دوم :

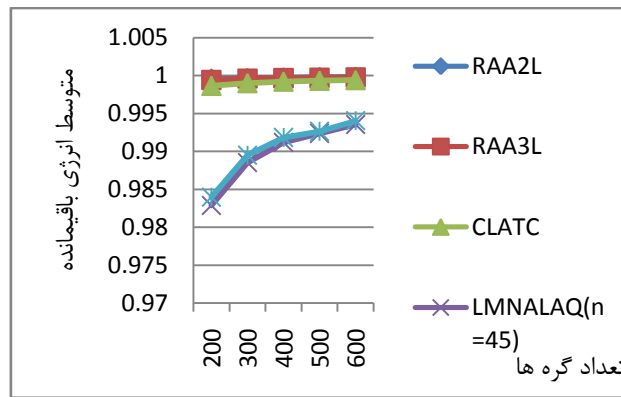
در این آزمایش متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکل‌های CLATC، RAA_2L، RAA_3L و HOM مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط تعداد همسایه‌های حسگرهای شبکه برای ۵ پروتکل مورد بررسی در اندازه‌های مختلف شبکه در شکل زیر دیده می‌شود. از آنجا که تعداد همسایه‌ها تأثیر مستقیم بر روی تداخل بین حسگرها دارد، 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 :

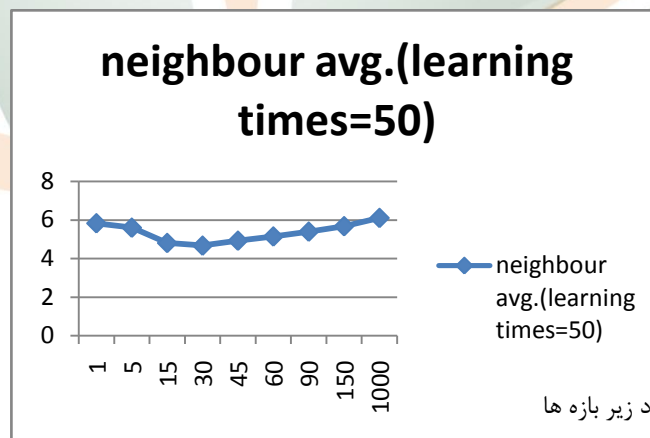
در این آزمایش متوسط انرژی باقیمانده هر گره برای پروتکل‌های [۱۴] CLATC، RAA_2L و RAA_3L و پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط انرژی باقیمانده حسگرهای شبکه برای پروتکل‌های مورد بررسی در اندازه‌های مختلف شبکه در شکل زیر دیده می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود متوسط انرژی باقیمانده حسگرهای 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.



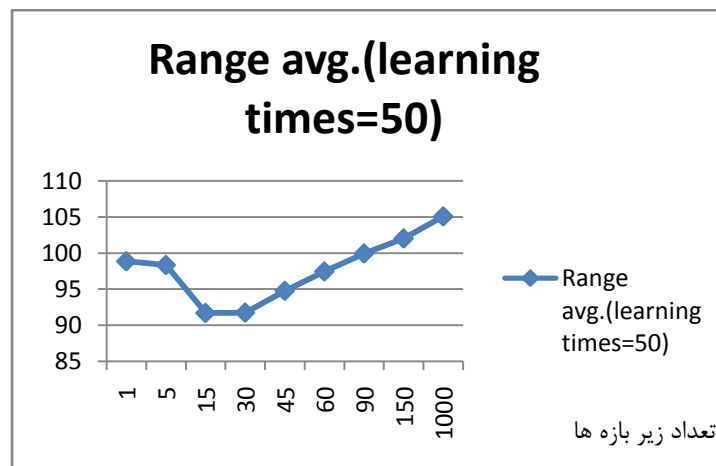
شکل ۵) متوسط انرژی باقی مانده در حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی در اندازه‌های مختلف شبکه

آزمایش چهارم :

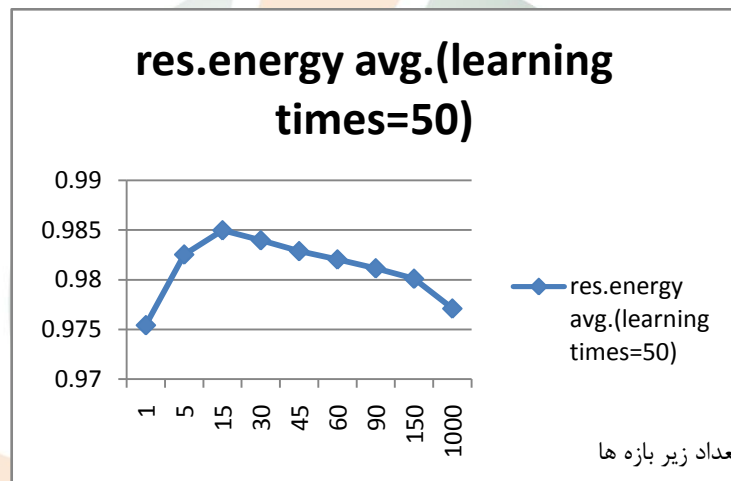
هدف از انجام این آزمایش تعیین نمودن تعداد زیربازه‌های مناسب یعنی مقداری که n بهتر است داشته باشد به ازای تعداد دفعات تکرار الگوریتم یادگیر، برای شبکه می باشد. هرچه که مقدار n بزرگتر انتخاب شود بازه مورد نظر به زیر بازه‌های بیشتری تقسیم شده و باعث می شود که انتخابات بیشتری به عنوان برد رادیویی پیش روی 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) در اعمال انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر (افزایش و کاهش) تاثیر مستقیم دارد. در این آزمایش به بررسی پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) برای مقادیر مختلف n برابر با ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و 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 ۲۰۰ 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.



شکل ۶) متوسط تعداد همسایه‌های حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۲۰۰ گره و حداکثر تعداد دفعات یادگیری برابر با ۵۰ مرتبه در اندازه‌های مختلف به عنوان n



شکل ۷) متوسط محدوده انتقالی حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی به ازای ۲۰۰ 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 ۲۰۰ 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 که منجر به کوچکتر شدن ضریب ثابت C می شود، لازمست تعداد دفعات یادگیری را هم باید بالا ببریم تا به نتیجه مطلوب برسیم، البته این امر با صرف انرژی بیشتر گره ها همراه می شود به طوریکه و شرایط دلخواه و نتیجه حاصله باید ارزش صرف انرژی را داشته باشد.

۷. نتیجه گیری

در این مقاله پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر همسایه ای بر اساس اتوماتای یادگیر پیشنهاد گردید که گرهها گرچه با استفاده از اتوماتای یادگیر و با صرف انرژی ناچیز، محدوده انتقال مناسب با شرایط لازم برای حفظ اتصال را برای خود انتخاب میکنند 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 مقداری که می خواهیم برای محدوده های انتقالی در نظر بگیریم با میزان یادگیری و مصرف انرژی در نظر گرفته شود. همچنین پروتکل پیشنهادی (LMNALAQ) به ازای دو تعداد متفاوت از زیربازه ها شبیه سازی و با دیگر پروتکلها مقایسه گردیده است. نتایج مقایسه ها نشان دهنده عملکرد مطلوب پروتکل پیشنهادی نسبت به دیگر پروتکلهاست.

- [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", 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.
- [17] K. Najim and A. S. Poznyak, "Learning Automata: Theory and Application", Tarrytown, NY: Elsevier Science Ltd., 1994.
- [18] Mo Li, Baijian Yang "A Survey on Topology issues in Wireless Sensor Network", In Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Networks (ICWN), Las Vegas, Nevada, USA, June 2006.

^۱Local Mean Neighbor Algorithm based on Learning Automata in Q-Model environment(LMNALAQ)

^۲ k-neighbors

^۳ Extreme Topology Control

^۴ Cellular Learning Automata Topology Control

^۵earning Automata

^۶ P-model

^۷ Unfavorable

^۸ Failure

^۹ Favorable

^{۱۰} Q-Model

^{۱۱} S-Model

^{۱۲} Linear Reward Penalty

^{۱۳} Linear Reward Epsilon Penalty

^{۱۴} Linear Reward Inaction

^{۱۵} whisperer

^{۱۶} shouter

^{۱۷} speaker

^{۱۸} Local Mean Neighbor Algorithm based on Learning Automata in Q -Model environment