

# LBLATC: پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر محل با استفاده از اتوماتای

## یادگیر برای شبکه‌های حسگر بیسیم

محمود جوادى

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه آزاد اسلامی اراک

ایران

Javadi.mahmood@gmail.com

محمد رضا میبدی

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

mmeibodi@aut.ac.ir

مهدی اثنی‌عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

esnaashari@aut.ac.ir

**چکیده:** پروتکل‌های کنترل توپولوژی مختلفی، با هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت شبکه ارائه شده است که برخی از این پروتکلها بر اساس روشن و خاموش کردن سنسورها و برخی دیگر بر اساس انتخاب محدوده انتقال می باشند. در این میان عوامل مختلفی مانند کاهش میانگین محدوده انتقال سنسورها و میانگین تعداد همسایه های هر سنسور و میزان انرژی مصرفی موثر می باشند. در این مقاله، یک پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر اتوماتای یادگیر به نام LBLATC پیشنهاد شده است که در آن اتوماتای یادگیر هر سنسور، با استفاده از نتایج اتوماتاهای سنسورهای همسایه، محدوده انتقال مناسب را انتخاب می- نماید. نتایج شبیه سازی عملکرد مطلوب پروتکل پیشنهادی را از دید کاهش تعداد همسایه ها را نشان می دهد.

### ۱- مقدمه

در سال های اخیر شبکه های حسگر بیسیم، مورد توجه قرار گرفته اند. این نوع از شبکه ها با توجه به کارمحدوده‌ی که در زمینه های مختلف همانند امداد رسانی در حوادث غیرمترقبه، دیده بانی محیط و امور نظامی و غیره به کار گرفته می شوند [1,2,3] این نوع از شبکه ها با توجه به جدید بودنشان نیاز مند الگوریتمهای جدید می باشند. با در نظر گرفتن این مطلب، که در این نوع از شبکه ها منبع ذخیره سازی انرژی محدود می باشد بنابر این ذخیره سازی انرژی، یکی از نکات مهم در این نوع شبکه ها می باشد. یکی از روشهای صرفه جویی در مصرف انرژی ارسال داده ها از مسیرهایی کم هزینه می باشد. در حقیقت ما لینکهایی را که دارای مصرف انرژی زیادی هستند را از توپولوژی ارتباطی حذف میکنیم این عمل به عنوان کنترل توپولوژی شناخته

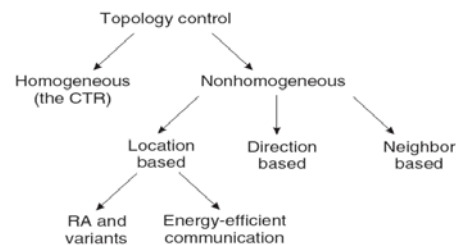
می شود. به عبارتی کنترل توپولوژی هنر هماهنگی سنسورهای شبکه، به وسیله انتخاب محدوده انتقالشان به منظور ایجاد یک شبکه با خصوصیات مورد نظر (اتصال و ...) است به نحوی که مصرف کم انرژی و افزایش ظرفیت شبکه را تامین کند. زیرا توپولوژی مناسب تاثیر زیادی بر روی کارایی شبکه دارد. پروتکلهای مختلفی به منظور تنظیم محدوده انتقال در شبکه های حسگر ارائه شده، که چگونگی این انتخاب بر اساس اولویتهای مختلف و شرایط متفاوتی تغییر می کند و هر کدام در شرایط خاصی عملکرد متفاوتی دارند از عوامل تاثیر گذار در این زمینه می توان به خلوت بودن توپولوژی حاصل و کم بودن درجه گرهای در توپولوژی بدست آمده و کاهش تداخل اشاره کرد. [4,5,6,11]

در شبکه هایی که همگن هستند تمام گره ها دارای محدوده انتقال یکسانی هستند اما اینگونه شبکه ها از نقطه نظر کارایی، طول عمر و استحکام کاری چندان مناسب نمی باشند. در شبکه های ناهمگن نیز تمام سنسورها از محدوده انتقال یکسانی استفاده می کنند و هر سنسور بدون توجه به تراکم سنسورهای همسایه خود، محدوده انتقالش را انتخاب می کند، تا در عین حفظ اتصال شبکه، تداخل کمتری را نیز داشته باشند. در نتیجه، چنین شبکه هایی تنومندتر<sup>۱</sup> و کاراتر از شبکه های همگن هستند. [5,6] روش ارائه شده قبلی

<sup>1</sup> Robustness

توسط اتوماتای سلولی به نام CLATC<sup>۲</sup> به تراکم گره ها توجهی نداشته است. [12]

در این مقاله یک پروتکل کنترل توپولوژی مبتنی بر محل، بر اساس اتوماتای یادگیر به نام LBLATC ارائه می شود، که با توجه به تراکم همسایه های هر گره، محدوده های مجاز برای هر گره را تعیین می کند. باید متذکر شد که محدوده های مجاز برای تمام گره ها یکسان نیست و این به دلیل تصمیم گیری برای تعیین محدوده های مجاز، بر اساس تراکم گره ها می باشد. در مرحله بعدی اتوماتای هر گره، یکی از دو محدوده انتقال انتخاب می کند.



دسته بندی انواع پروتکل های کنترل توپولوژی

حالت هر گره با کمک Gps موقعیت دقیق خود را می داند و با استفاده از این اطلاعات یک توپولوژی مناسب برای شبکه را ایجاد می نمایند. دسته دوم پروتکل های مبتنی بر جهت<sup>۸</sup> می باشند. در این روش ها گره ها اطلاع دقیقی از موقعیت خود ندارند، اما توانایی تشخیص جهت همسایه های خود را دارند. پروتکل های [9,11] DistRNG<sup>۹</sup> و [11] CBTC<sup>۱۰</sup> نمونه ای از این روش ها می باشد. دسته سوم روش های مبتنی بر همسایه<sup>۱۱</sup> 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. پروتکل های [10,11] Kneigh<sup>۱۲</sup> و [13,11] XTC<sup>۱۳</sup> در این دسته جای می گیرند.

از دیگر پروتکل های کنترل توپولوژی می توان به RAA\_2L اشاره کرد [14] که در آن هر گره یکی از دو محدوده انتقال  $R_s$  یا  $R_w$  ( $R_w < R_s$ ) را انتخاب می کند اگر گره با محدوده انتقال  $R_w$  خود بتواند با همسایه های با محدوده انتقال  $R_s$  ارتباط برقرار کند (با واسطه یا بی واسطه) گره محدوده انتقال  $R_w$  را انتخاب می کند و در غیر این صورت محدوده انتقال  $R_s$  را انتخاب می کند. 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 می کند.

### ۳- اتوماتای یادگیر<sup>۱۴</sup>

اتوماتای یادگیر را می توان یک شی مجرد در نظر گرفت که دارای تعداد محدودی عمل<sup>۱۵</sup> می باشد. عملکرد این شیء به این صورت است که در هر زمان یک عمل از بین مجموعه اعمال انتخاب می گردد و سپس در یک محیط تصادفی مورد ارزیابی قرار می گیرد. جوابی که از محیط دریافت می شود توسط اتوماتا برای انتخاب عمل بعدی بکار گرفته می شود طی این فرآیند اتوماتا یاد می گیرد که عمل بهینه را انتخاب نماید [15]. نحوه استفاده از پاسخ محیط به عمل انتخابی

### ۲- کارهای انجام شده

در کتاب پروتکل های کنترل توپولوژی [12]، آقای سانتی<sup>۳</sup> پروتکل های موجود را با توجه به ماهیت شبکه و اطلاعاتی که هر گره می تواند به دست آورد، به صورت زیر دسته بندی کرده است.

در دسته اول پروتکل های کنترل توپولوژی همگن قرار دارند. که در آن تمام گره های شبکه از محدوده انتقال یکسان استفاده می کنند. هدف دسته از پروتکل های کنترل توپولوژی، پیدا کردن کمترین محدوده انتقال می باشد بطوری که مشخصات یک شبکه خوب را داشته باشد. در دسته دیگر پروتکل های کنترل توپولوژی ناهمگن قرار داده میشوند. پروتکل های موجود در این گروه خود به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول پروتکل های مبتنی بر محل<sup>۴</sup> نامیده میشوند، پروتکل های نظیر [7,11] R&M و [8,11] LMST<sup>۶</sup> و [11] FLSSk قرار دارند که در این

<sup>7</sup> Fault-tolerant Local Spanning Subgraph

<sup>8</sup> Direction Base

<sup>9</sup> Distributed Relative Neighborhood Graph

<sup>10</sup> Cone-Based Topology Control

<sup>11</sup> Neighbor Base

<sup>12</sup> K Neighbors

<sup>13</sup> eXtreme Topology Control

<sup>14</sup> Learning Automaton

<sup>15</sup> Action

<sup>2</sup> Cellular Learning Automata based Topology Control

<sup>3</sup> Santi

<sup>4</sup> Location Base

<sup>5</sup> Rodoplu and Meng

<sup>6</sup> Local Minimum Spanning Tree

تعریف شده است. رابطه بین محیط احتمالی و یک اتوماتون احتمالی در شکل زیر نشان داده شده است.



اتوماتای یادگیر تصادفی

### الگوریتمهای یادگیری:

همانند آنچه که در شکل بالا نمایش داده شد یک الگوریتم یادگیری را می توان بصورت زیر بیان نمود:

$$P(n+1) = T[P(n), \alpha(n), \beta(n)]$$

اگر عملگر  $T$  خطی باشد، الگوریتم یادگیری خطی و در غیر این صورت غیرخطی خوانده می شود. می توان گفت که ایده اصلی تمام الگوریتم های یادگیر بصورت زیر است: اگر اتوماتا در تکرار  $n$  ام عمل  $\alpha_i$  را انتخاب نماید و پاسخ مطلوبی برای آن از محیط دریافت نماید در آن صورت احتمال  $P_i(n)$  مربوط به عمل افزایش می یابد و احتمالات مربوط به سایر اعمال نیز کاهش می یابد. در صورت دریافت جواب غیر مطلوب  $P_i(n)$  کاهش می یابد و احتمالات مربوط به سایر اعمال نیز افزایش می یابد بنابراین برای پاسخ مطلوب داریم:

$$P_j(n+1) = P_j(n) - f_j[P_j(n)]; \forall j; j \neq i$$

$$P_i(n+1) = P_i(n) + \sum_{j=1}^r f_j[P_j(n)]$$

برای پاسخ نامطلوب

$$P_j(n+1) = P_j(n) - g_j[P_j(n)]; \forall j; j \neq i$$

اتوماتا که در جهت انتخاب عمل بعدی اتوماتا استفاده می شود، توسط الگوریتم یادگیری اتوماتا مشخص می گردد و به این ترتیب اتوماتا به آرامی عمل بهینه را شناسایی می نماید. روشی که اتوماتا با استفاده از آن پاسخ محیط را برای انتخاب عمل بعدی به کار می محدودده توسط الگوریتم یادگیری به کار رفته تعیین می شود. هر اتوماتای یادگیر از دو جز عمده تشکیل شده است.

(۱) یک اتوماتای تصادفی دارای تعداد محدودی عمل میباشد و با یک محیط تصادفی در حال محاوره می باشد.

(۲) الگوریتم یادگیری که با استفاده از آن اتوماتا عمل بهینه را شناسایی می کند هر اتوماتا را می توان یک ماشین حالت متناهی در نظر گرفت که بوسیله پنج تایی زیر قابل نمایش است:

$$SA = \{\alpha, \beta, F, G, \phi\}$$

که در آن داریم:

مجموعه  $\alpha$  شامل اعمال اتوماتا می باشد که اتوماتا در هر بار تکرار یکی از آنها را انتخاب می کند. مجموعه ورودی  $\beta$ ، ورودی های اتوماتا را تعریف می کند. نگاشت های  $F, G$  حالت جاری و ورودی فعلی را به خروجی (عمل) بعدی که توسط اتوماتا انتخاب شده است تبدیل می کند.

### محیط:

محیط احتمالی را می توان بصورت ریاضی با سه تایی  $E$  بیان نمود:

$$E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$$

$$\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$$

$$\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$$

$$c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$$

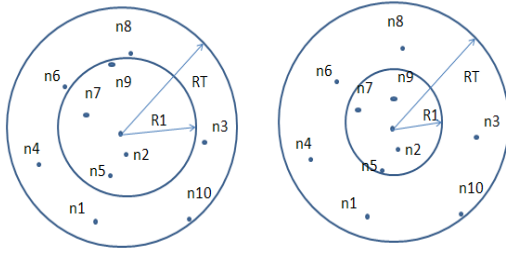
$\alpha$  مجموعه ورودی های محیط و  $\beta$  مجموعه خروجی های محیط می باشد. مدل های مختلفی برای محیط های احتمالی

$$AT=\{n1,n2,n3,n4,n5,n6,n7,n8,n9,n10\}$$

$$AT=\{n1,n2,n3,n4,n5,n6,n7,n8,n9,n10\}$$

$$A1=\{n2,n5,n7,n9\}$$

$$A1=\{n2,n5,n7,n9\}$$



در شکل بالا دو گره نمونه  $n$  با محدوده‌های انتقال مختلف و مجموعه‌های یکسان. با مقایسه شکل راست و چپ نحوه تعیین محدوده‌ها در گره‌های مختلف مشاهده می‌شود که حتی اگر تعداد گره‌ها برابر باشد نحوه پراکندگی گره‌ها در تعیین محدوده هر گره مؤثر است

#### ۵- پروتکل پیشنهادی (LBLATC)

پروتکل پیشنهادی کنترل توپولوژی که مبتنی بر محل با استفاده از اتوماتای یادگیر می‌باشد از سه مرحله "راه اندازی" و "تعیین محدوده" و "انتخاب محدوده انتقال" تشکیل شده است.

##### مرحله راه اندازی

در این مرحله هر گره با محدوده انتقال  $R_T$ ، اطلاعات خود شامل شماره شناسایی و موقعیت را می‌فرستد. به این طریق گره‌ها اطلاعات همسایه‌های خود را به دست می‌آورند. هر گره با توجه به اطلاعات دریافتی از همسایه‌هایش فاصله آنها را نسبت به خود محاسبه می‌کند. با توجه به فاصله محاسبه شده، هر گره تعداد همسایه‌های خود را به دست می‌آورد. در این مرحله گره‌ها با توجه به تعداد همسایه‌هایی که در محدوده هر گره قرار دارد اقدام به تعیین محدوده  $R_1$  می‌نمایند. و با توجه به محدوده‌های مجاز در هر گره، گره‌ها همسایه‌های خود را با توجه فاصله‌هایشان در مجموعه  $A_1$  و یا  $A_T$  قرار داده می‌دهد.

##### مرحله تعیین محدوده‌های مجاز برای هر

###### سنسور

در این مرحله هر سنسور بر اساس اطلاعات بدست آمده دوبر مجاز خود را بدست می‌آورد. یکی از محدوده‌ها همان محدوده حداکثر و دیگری محدوده‌ای است که در آن هر سنسور ۰.۶ همسایه‌هایش را پوشش دهد (تمام روشهای قبلی به تراکم سنسورها در یک محدوده توجه نداشتند)

$$P_i(n+1) = P_i(n) + \sum_{j=1}^r g_j [P_j(n)]$$

توابع  $f_i$  و  $g_j$  توابعی غیر منفی می‌باشند و از آنها با عنوان تابع پاداش و جریمه نام برده می‌شود

#### ۴- تعریف مسئله

در این مقاله فرض می‌شود که هر گره دارای دو محدوده انتقال مختلف است که اتوماتای موجود در هر سنسور بطور دلخواه می‌تواند یکی از آنها را به عنوان محدوده انتقال انتخاب کند. این محدوده‌های انتقال برای تمام گره‌ها ثابت و یکسان نیست و بر اساس چگالی گره‌ها موجود در محدوده انتقال هر گره تعیین می‌شود. محدوده انتقال با توان کم تحت عنوان محدوده  $(R_1)$ ، محدوده انتقال با توان بالا تحت عنوان محدوده انتقال  $(R_T)$  دو محدوده انتقالی موجود در هر سنسور می‌باشند  $(R_1 < R_T)$ ، مقدار محدوده انتقال  $R_1$  متناسب با تعداد همسایه‌های هر گره می‌باشد. مقدار محدوده انتقال  $R_1$  برابر فاصله‌ای است که در آن شش دهم کل همسایه‌هایی که در حداکثر محدوده آن گره قرار دارند را پوشش دهد. و مقدار محدوده انتقال  $R_T$  برابر حداکثر محدوده‌گره می‌باشد. هرگاه فاصله دو گره کمتر از مقدار  $R_1$  باشد آن دو گره همسایه یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. هر گره همسایه‌های خود را در دو مجموعه مختلف قرار می‌دهد. مجموعه‌های  $A_T$  و  $A_1$  توسط رابطه زیر بدست می‌آیند. در این رابطه،  $n_i$  شماره گره همسایه و  $D_{ni}$  فاصله گره همسایه  $n_i$  با گره مورد نظر است.

$$\begin{cases} n_i \in A_1 & \text{if } D_{ni} \leq R_1 \\ n_i \in A_T & \text{if } D_{ni} \leq R_T \end{cases}$$

مسئله مد نظر در این مقاله انتخاب کمترین محدوده انتقال ممکن از بین دو محدوده انتقال  $R_1$  و  $R_T$  برای هر گره می‌باشد به نحوی که حداقل تعداد همسایه‌ها را داشته باشد.

## مرحله انتخاب محدوده انتقال

در این مرحله گره‌ها با توجه به شرایط مجموعه‌های خود و محدوده انتقال گره‌های دیگر، محدوده انتقال خود را انتخاب می‌کنند. این مرحله از دو زیر مرحله "یادگیری" و "مرحله انتخاب بهترین عمل" تشکیل شده است. این عمل انتخاب محدوده تا زمانی تکرار می‌شود که احتمال یک محدوده انتقال از حد آستانه بیشتر شود یا اینکه  $k$  بار تکرار میشود

### ۵-۳-۱- مرحله یادگیری

در ابتدای این مرحله، هر سنسور به یک اتوماتای یادگیر با تعداد اعمال برابر با تعداد محدوده‌های انتقال انتخابی گره نسبت داده می‌شود. هر عمل متناظر با انتخاب یک محدوده انتقال است و انتخاب آن عمل به معنی انتخاب محدوده انتقال متناظر با آن عمل است. احتمالات اولیه عمل‌های اتوماتای یادگیر بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود. در رابطه زیر می‌باشد که در آن  $n$  تعداد عمل‌های اتوماتاست.

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

اتوماتاها به صورت همزمان در هر گره ابتدا یک عمل را به طور تصادفی انتخاب می‌کنند سپس اقدام به ارسال یک پیام راهنما با محدوده انتخابی میکنند. هرپیام راهنما شامل مشخصات گره و مختصات گره میباشد در مرحله بعد گره‌ها با توجه به پیامهای راهنمای دریافتی اقدام به پاسخگویی به پیام راهنما می‌نمایند. پاسخ پیام راهنما، حاوی محدوده انتخابی گره دریافت کننده و شماره شناسایی همسایه های واقع در محدوده انتخابی آن گره دریافت کننده پیام راهنما می‌باشند. در مرحله آخر هر گره بررسی میکند که آیا مجموع همسایه های واقع در محدوده انتخابی گره، و همسایه های واقع در محدوده انتخابی همسایه هایش، تمام همسایه های واقع در محدوده حداکثر آن گره را پوشش میدهند یا خیر. در صورتی که با محدوده انتخابی همسایه های واقع در محدوده حداکثر پوشش داده شود آن گره به محدوده انتخابی خود پاداش میدهد در غیر این صورت هر گره محدوده انتخابی خود جریمه میکند. این عمل تا زمانی که احتمال یک محدوده انتقال از حد آستانه بیشتر شود یا اینکه  $k$  بار تکرار میشود. در نهایت هر گره با یردی که بیشترین احتمال را در عمل یادگیری به دست آورده اقدام به ارسال داده میکند.

### ۵-۳-۲- مرحله انتخاب بهترین عمل

عمل یادگیری تا زمانی که احتمال یک محدوده انتقال از حد آستانه بیشتر شود یا اینکه  $k$  بار تکرار میشود. در نهایت

هر گره محدوده‌ای را که بیشترین احتمال را در عمل یادگیری به دست آورده را به عنوان محدوده نهایی خود انتخاب می‌کند

## ۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی، پروتکل‌های RAA\_3L, RAA\_2L, LBLATC, CLATC [12] و حالت همگن [16] (HOM) شبیه‌سازی و نتایج به دست آمده با LBLATC مقایسه شده‌اند. در شبیه‌سازی، گره‌ها در منطقه‌ای به مساحت  $1000 * 1000$  متر مربع توزیع شده‌اند. تعداد گره‌ها برابر با ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ گره در نظر گرفته شده است. هر گره دارای دو محدوده انتقال  $R_1$  و  $R_2$  است. محدوده انتقال  $R_1$  (متناسب با چگالی شبکه) برابر با  $109m$  (برای ۲۰۰ گره)،  $86m$  (برای ۳۰۰ گره)،  $74m$  (برای ۴۰۰ گره)،  $67m$  (برای ۵۰۰ گره) و  $60m$  (برای ۶۰۰ گره) در نظر گرفته شده است. محدوده‌های انتقال  $R_1$  با توجه به تعداد همسایه های موجود در محدوده انتقال  $R_1$  مشخص می‌شوند. پارامترهای  $A$  و  $B$  به ترتیب برابر  $0.25$ ،  $0.2$  در نظر گرفته شده‌اند مدل انرژی به کاررفته در این شبیه‌سازی‌ها مدل انرژی ارائه شده در مرجع می‌باشد. با توجه به اندازه شبکه (تعداد گره‌ها)، پروتکل‌های RAA\_3L, RAA\_2L, CLATC و حالت همگن (HOM) بر اساس سه معیار متوسط محدوده انتقال، متوسط تعداد همسایه‌های هر گره و متوسط انرژی باقیمانده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله، میانگین اجرای پروتکل‌های مورد بررسی برای ۱۰۰ پیکربندی تصادفی مختلف از گره‌هاست.

### تنظیمات اعمال شده در شبیه سازی

نتایج از ۱۰۰ بار اجرای پروتکل LBLATC بدست آمده است

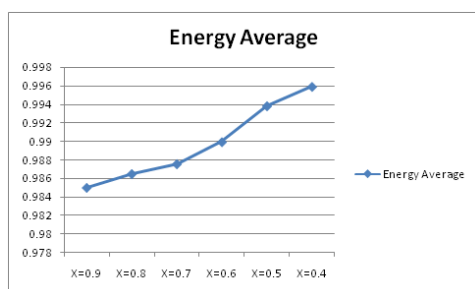
#### پارامترهای به صورت زیر می باشند

تعداد حداکثر عمل یادگیری برابر ۱۰۰ می باشد. ضریب پاداش برابر 0.15 و ضریب جریمه کردن 0.3 می باشد. ضریب انتخاب محدوده برابر 0.6 محدوده حداکثر است

### آزمایش اول:

هدف از این آزمایش بدست آوردن پارامتر  $\chi$  (ضریب انتخاب محدوده انتقال) برای پروتکل ارائه شده است پارامتر  $\chi$  را بنحوی انتخاب می کنیم بطوریکه کمترین میانگین محدوده انتقال

در شبیه سازی های صورت گرفته برای بدست آوردن بهترین ضریب انتخاب محدوده انتقال در حالتی که شبکه دارای ۲۰۰ حسگر با چگالی (۱۰۹ m) ضرایب پاداش برابر ۰.۱۵ و جریمه برابر ۰.۳ مشاهده می شود که نمودار میانگین انرژی باقی مانده در حسگرهای شبکه ، مشاهده می شود که هر چه ضریب انتخاب محدوده انتقال، کم باشد به نتایج بهتری می رسیم

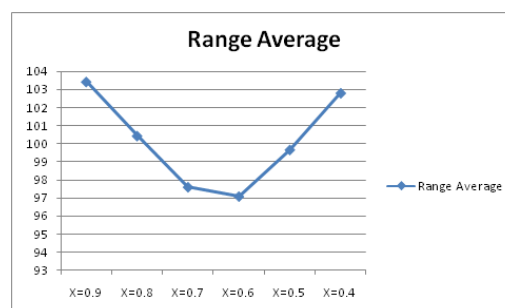


شکل متوسط انرژی باقی مانده در حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی با توجه به این مطلب که هر چه تعداد همسایه ها کمتر باشد و میانگین محدوده انتقال کمتر باشد و میانگین انرژی باقی مانده بیشتر باشد از دید شبکه مطلوب می باشد. برای اینکه تعداد همسایه ها تاثیر مستقیم بر روی تداخل بین حسگرها دارد، کم بودن این پارامتر اهمیت بسیار بالایی دارد. اگر سه نمودار بالا را مقایسه کنیم مشاهده می شود که بهترین عملکرد شبکه موقعی می باشد که ضریب انتخاب محدوده شبکه برابر ۰.۶ باشد. در شبیه سازی های بعدی با پارامتر ضریب انتخاب محدوده انتقال برابر ۰.۶ انجام خواهد شد.

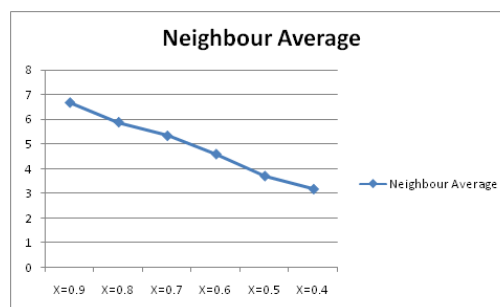
## آزمایش دوم:

هدف از این آزمایش بررسی متوسط محدوده انتقال گره های شبکه برای پروتکل های LBLATC، TCLATC، RAA\_2L، RAA\_3L و HOM می باشد. در هر گره هر چه محدوده انتقال انتخاب شده کمتر باشد (در عین حفظ اتصال شبکه)، انرژی مصرفی کمتر و با توجه به کاهش تعداد همسایه ها، احتمال بروز تداخل نیز کمتر خواهد بود. در شکل 1 متوسط محدوده انتقال گره ها برای پروتکل های CLATC، LBLATC، RAA\_2L، RAA\_3L و HOM در اندازه های مختلف شبکه دیده می شود. همانگونه که دیده می شود، پروتکل LBLATC دارای میزان متوسط محدوده انتقال کمتری نسبت به RAA\_2L، RAA\_3L و HOM است ولی پروتکل CLATC تقریباً برابر

انتخاب شده ، کمترین میانگین همسایه ها و بیشترین انرژی باقی مانده را داشته باشد. با توجه به کاهش تعداد همسایه ها، احتمال بروز تداخل نیز کمتر خواهد بود. همانگونه که دیده می شود، پروتکل پیشنهادی کمترین میانگین محدوده انتقال انتخاب شده، کمترین میانگین همسایه ها و بیشترین انرژی باقی مانده را هنگامیکه پارامتر  $\lambda$  برابر ۰.۶ را دارا می باشد است. در شبیه سازی های صورت گرفته برای بدست آوردن بهترین ضریب انتخاب محدوده انتقال، در حالتی که شبکه دارای ۲۰۰ حسگر با چگالی (۱۰۹ m) ضرایب پاداش برابر ۰.۱۵ و جریمه برابر ۰.۳ مشاهده می شود که نمودار میانگین محدوده انتقال ، هنگامی که از ضریب ۰.۶ استفاده کنیم کمترین میانگین محدوده انتقال را دارد .



شکل متوسط محدوده انتقال حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی در شبیه سازی های صورت گرفته برای بدست آوردن بهترین ضریب انتخاب محدوده انتقال، در حالتی که شبکه دارای ۲۰۰ حسگر با چگالی (۱۰۹ m) ضرایب پاداش برابر ۰.۱۵ و جریمه برابر ۰.۳ مشاهده می شود که نمودار میانگین تعداد همسایه ها، هنگامی که از ضریب انتخاب محدوده انتقال زیاد باشد عملکرد بهتری دارد. چونکه کم بودن محدوده انتقال باعث کم شدن تداخل می شود.

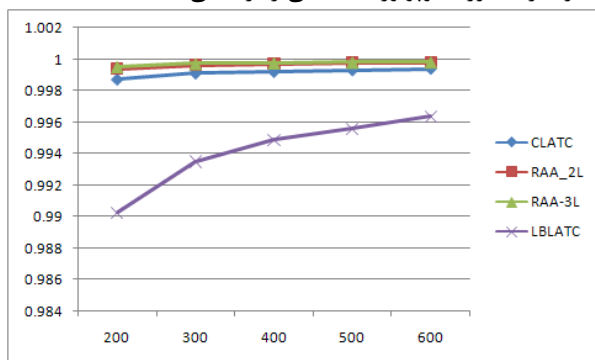


شکل متوسط همسایه های حسگرهای شبکه برای پروتکل پیشنهادی

(شکل 2) متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکل‌های RAA\_3L، LBLATC، RAA\_2L، CLATC و HOM در اندازه‌های مختلف شبکه

### آزمایش چهارم:

در این آزمایش که نتایج آن در شکل 3 دیده می‌شود، متوسط انرژی باقیمانده هر گره برای پروتکل‌های CLATC، RAA\_2L و RAA\_3L مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که دیده می‌شود متوسط انرژی باقیمانده گره‌های شبکه پس از اتمام مرحله تعیین محدوده انتشار تقریباً نزدیک به انرژی اولیه (یک ژول) می‌باشد. به عبارت دیگر، با وجود آنکه انرژی مصرفی پروتکل LBLATC بیشتر از پروتکل‌های CLATC، RAA\_2L و RAA\_3L است (به علت انجام مرحله یادگیری در این پروتکل)، اما این انرژی مصرفی نسبت به کل انرژی هر گره (یک ژول) بسیار ناچیز است. افزایش انرژی باقیمانده با افزایش تعداد گره‌های شبکه به علت کاهش محدوده انتقال در شبکه‌های با چگالی بیشتر است. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که پروتکل مورد بررسی بدون مصرف زیاد انرژی توپولوژی مناسبی را ارائه می‌کنند.

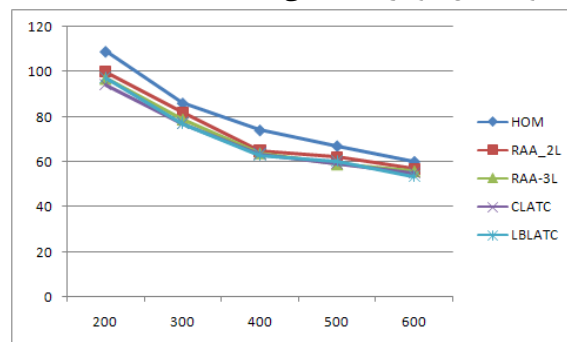


(شکل 3) متوسط انرژی باقیمانده هر گره برای پروتکل‌های CLATC، RAA\_2L و RAA\_3L در اندازه‌های مختلف شبکه

### ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله پروتکل کنترل توپولوژی بر اساس اتوماتای یادگیر پیشنهاد گردید. باید توجه داشت که الگوریتم ارائه شده محدوده انتقال برای هر سنسور به صورت پویا تعیین می‌شود. در این پروتکل گره‌ها با استفاده از اتوماتای یادگیر محدوده انتقال مناسب را از بین دو محدوده انتقال خود انتخاب می‌کنند. استفاده از اتوماتای یادگیر این امکان را فراهم می‌کند که گره‌ها بتوانند تا حد ممکن کوچکترین محدوده انتقال را انتخاب کنند.

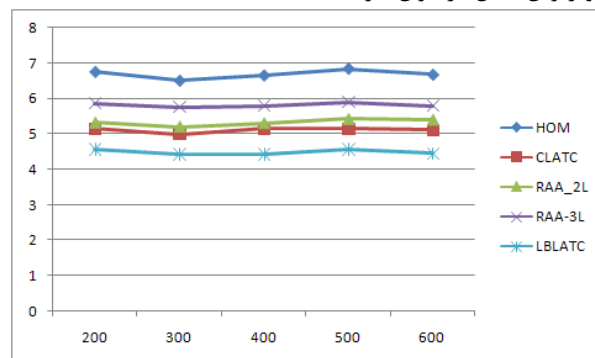
LBLATC می‌باشند. حالت همگن (HOM) دارای بیشترین میانگین محدوده انتقال است که به این علت است که تمامی گره‌ها در آن دارای محدوده انتقال  $R_t$  می‌باشند. پروتکل RAA\_3L دارای متوسط محدوده انتقال کمتری نسبت به پروتکل RAA\_2L است. علت این امر این است که در پروتکل RAA\_3L هر گره می‌تواند از بین سه محدوده انتقال، 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 1) متوسط محدوده انتقال گره‌های شبکه برای پروتکل‌های CLATC، RAA\_2L، RAA\_3L و HOM در اندازه‌های مختلف شبکه

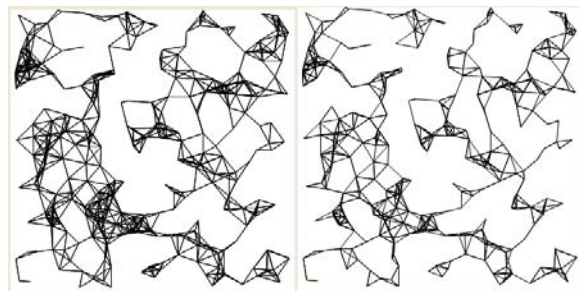
### آزمایش سوم:

در این آزمایش متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکل‌های LBLATC، CLATC، RAA\_2L [14] و RAA\_3L [16] مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط تعداد همسایه‌های گره‌های شبکه برای پروتکل‌های مورد بررسی در اندازه‌های مختلف شبکه در شکل 2 دیده می‌شود. از آنجا که تعداد همسایه‌ها تأثیر مستقیم بر روی تداخل بین گره‌ها 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. متوسط تعداد همسایه‌ها مؤثرترین عامل در میزان ظرفیت شبکه است.



Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, pp. 1333-1344, 1999.

- [8] Li N., Hou J. and Sha L., "**Design and analysis of an mst-based topology control algorithm**", in: Proceedings of the IEEE Infocom, Vol. 4, pp. 1195-1206, May 2005.
- [9] Wattenhofer R., Li L., Bahl P. and Wang Y., "**Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad hoc networks**", in: Proceedings of the IEEE Infocom, Vol. 3, pp. 1388-1397, 2001.
- [10] 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.
- [11] Santi P., "**Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks**", *Istituto di Informatica e Telematica del CNR – Italy*, 2005
- [12] Meybodi M and Abolhasani S., "**Usage of Learning Automata for Topology Control in Wireless Sensor Network**", 2008
- [13]
- [14] 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.
- [15] Venuturumilli A. and Minai A. A., "**Obtaining Robust Wireless Sensor Networks Throuh Self-Organization of Heterogeneous Connectivity**", Proceedings of the 2006 International Conference on Complex Systems (ICCS'06), Boston, MA, June 2006.
- [16] Narendra K. S. and Thathachar M. A. L., "**Learning Automata: An Introduction**", Prentice Hall, 1989.
- [17] Stauffer D. and Aharony A., "**Introduction to Percolation Theory**", London: Taylor & Francis, 1994.
- [18] **The Network Simulator-ns-2.**  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [19] Heinzelman W., Chandrakasan A. and Balakrishnan H., "**Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks**", Intl. Conf. on System Sciences, Hawaii, vol. 2, pp. 3005-3014 January 2000.



شکل سمت چپ گراف حداکثر توان با ۳۰۰ نود می باشد. شکل سمت راست گراف حاصل از اعمال پروتکل پیشنهادی می باشد

#### منابع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y. and Cayirci E., "**A survey on sensor networks**", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [2] Janakiram D., Venkateswarlu R. and Nitin S., "A survey on programming languages, middleware and applications in wireless sensor networks", IITM-CSE-DOS-2005-04, 2005.
- [3] Estrin D., "**Embedded Everywhere: A research agenda for network systems of embedded computers**", National Academy Press, 2001, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report, 2001.
- [4] Wattenhofer R. and Zollinger A., "**XTC: a practical topology control algorithm for ad-hoc networks**". Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2-16, 26-30 April 2004.
- [5] Santi P., "**Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks**", Wiley, 2005.
- [6] Santi P., "**Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks**", ACM Computer Survey, Vol. 37, No. 2, pp. 164-194, 2005.
- [7] Rodoplu V. and Meng T. H., "**Minimum energy mobile wireless networks**", in: Proceedings of the IEEE