

## یک الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر آتوماتای یادگیر توزیع شده برای شبکه های حسگر بی سیم

جهانگرد سجادی<sup>1</sup>، رویا کرمی<sup>2</sup>، جواد اکبری ترکستانی<sup>3</sup>، محمدرضا میبیدی<sup>4</sup>

<sup>1</sup> کارشناس ارشد نرم افزار، آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران،

[jh.sajadi@yahoo.com](mailto:jh.sajadi@yahoo.com)

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه،

[roya.karami.2012@gmail.com](mailto:roya.karami.2012@gmail.com)

<sup>3</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی اراک، دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران،

[j-akbari@iau-arak.ac.ir](mailto:j-akbari@iau-arak.ac.ir)

<sup>4</sup> استادتمام، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،

[mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

### چکیده

شبکه های حسگر بی سیم شامل تعداد زیادی گرهی حسگر کوچک می باشند. این گره ها دارای محدودیت منابع، از جمله حافظه، پهنای باند و باتری پایین هستند. در ارتباطهای چندگامی بیشتر انرژی گره ها صرف ایجاد ارتباط با حسگرهای دیگر می شود، که منجر به مصرف زیاد انرژی در حسگرها می گردد. با توجه به محدودیت منابع شبکه های حسگر، خوشه بندی یک روش موثر برای کاهش مصرف منابع این شبکه ها می باشد.

ما در این پژوهش یک الگوریتم خوشه بندی توزیع شده مبتنی بر آتوماتای یادگیر را به منظور افزایش طول عمر شبکه برای این شبکه ها ارائه می کنیم. در الگوریتم ارائه شده با استفاده از مجموعه ای مستقل، اقدام به ایجاد سرخوشه ها می کنیم. این سرخوشه ها بر اساس سطح انرژی باقیمانده و نیز درجه ی گره ها انتخاب می شوند. در ادامه الگوریتم پیشنهادی خود را با روش خوشه بندی [12] LEACH مقایسه می کنیم. معیارهای ارزیابی، تعداد خوشه ها و طول عمر خوشه های ساخته شده با اعمال تغییر در تعداد و شعاع حسگرها می باشد. نشان خواهیم داد، که روش پیشنهادی ما به مراتب نتایج بهتری از پروتکل مورد مقایسه تولید می کند.

### کلمات کلیدی

شبکه های حسگر بی سیم، خوشه بندی، آتوماتای یادگیر، مجموعه ای مستقل.

### 1- مقدمه

این شبکه ها اطلاعات جمع آوری شده بوسیله ی حسگرها باید به یک ایستگاه پایه<sup>2</sup> منتقل شوند. در روش ارسال مستقیم، هر گره مستقیماً اطلاعات را به مرکز می فرستد، که به دلیل فاصله ی زیاد حسگرها از مرکز، انرژی زیادی مصرف می شود. در مقابل پروتکل هایی که فواصل ارتباطی را کوتاه تر می کنند، می توانند طول عمر شبکه را بیشتر کنند. لذا ارتباطهای چندگامی<sup>3</sup> برای این گونه شبکه ها بهتر از ارتباطهای تک گامی<sup>4</sup> است. یک راه حل این مسأله، خوشه بندی<sup>5</sup> می باشد.

در واقع هدف اصلی پروتکل های مبتنی بر خوشه بندی بکارگیری یک روش مناسب جهت استفاده ی بهینه از منابع شبکه و در نتیجه

شبکه های حسگر بی سیم<sup>1</sup> شامل تعداد زیادی گره حسگر کوچک و کم هزینه می باشند. گره های موجود در شبکه با یکدیگر در ارتباط بوده و می توانند اطلاعات دریافت شده از محیط را به گره های همسایه خود بفرستند [1,2]. این گره ها با محدودیت منابع، از جمله حافظه، پهنای باند و باتری پایین مواجه می باشند. شبکه های حسگر دارای کاربردهای مختلفی در زمینه هایی مانند دما، نظارت بر محیط، سیستم های نظامی و کنترل ترافیک وسایل نقلیه می باشند [3,4]. در

می شوند و سرخوشه ها بر اساس یک تابع احتمال انتخاب می گردند. هرگره نیز، خوشه اش را به گونه ای انتخاب می کند که کمترین انرژی برای ارتباط مورد نیاز باشد. پروتکل [13] HEED نیز یکی دیگر از پروتکل های توزیع شده است که برای شبکه های حسگر بی سیم طراحی شده است و بر خلاف [12] LEACH که سرخوشه ها به طور تصادفی انتخاب می شوند، سرخوشه ها بر اساس احتمالی که متناسب با میزان انرژی باقیمانده ای آنها است، انتخاب می شوند. پروتکل های خوشه بندی دیگری در مراجع [14-16] برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه شده اند.

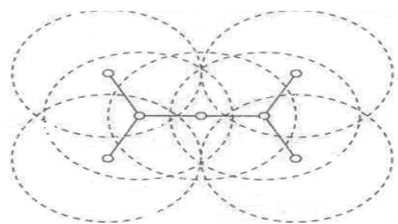
ما نیز در این مقاله قصد داریم که یک الگوریتم خوشه بندی توزیع شده بر پایه اتوماتای یادگیر برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه کنیم. در الگوریتم پیشنهادی خود به کمک مجموعه ای مستقل خوشه ها را با توجه به میزان انرژی موجود در گرهای بکار گرفته شده به عنوان سرخوشه ایجاد می کنیم و در صورتی که سطح انرژی این گرهای از یک مقدار آستانه کمتر باشد، از استفاده از این گرهای به عنوان سرخوشه جلوگیری، و از دیگر گرهای شبکه جهت سرخوشه استفاده می کنیم. این رویکرد سبب افزایش طول عمر خوشه های ساخته شده و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه می گردد. همچنین به منظور توازن مصرف انرژی گرهای سرخوشه، سعی می کنیم که تعداد اعضای خوشه ها بصورت متعادل باشند به عبارت دیگر از تولید خوشه های با اختلاف زیاد جلوگیری خواهیم کرد.

### 3- تعاریف و مقدمات

در این قسمت برخی از تعاریف و اصطلاحات را که از آنها در الگوریتم پیشنهادی خود استفاده کرده ایم به اختصار شرح می دهیم:

#### 3-1- گراف دیسک واحد (UDG)

زمانی که شعاع ارتباطی برای همه رئوس گراف یکسان باشد، گراف مربوطه یک گراف دیسک واحد خواهد بود که در آن دو رأس با هم همسایه هستند، اگر و فقط اگر فاصله آنها کمتر از یک مقدار ثابت یعنی شعاع ارسال دو رأس باشد [17]. یک شبکه ای حسگر بی سیم را می توانیم مطابق با شکل (1) به صورت یک UDG<sup>9</sup> در نظر بگیریم که در آن هر گرهای در شبکه متناظر با یک رأس در گراف دیسک واحد می باشد.



شکل 1: گراف دیسک واحد [17]

افزایش طول عمر شبکه می باشد [5]. از سویی روش خوشه بندی، قابلیت مقیاس پذیری شبکه را که یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی در شبکه های حسگر بی سیم می باشد را نیز به همراه دارد [6,7]. در هر خوشه یک گرهای به عنوان سرخوشه<sup>6</sup>، و گرهای دیگر به عنوان اعضای خوشه در نظر گرفته می شوند و هر گرهای در شبکه فقط می تواند عضو یک خوشه باشد [5]. از آنجا که جمع آوری و ارسال اطلاعات محیط به ایستگاه پایه بر عهده ای سرخوشه ها است، در نتیجه مصرف انرژی در سرخوشه ها بیش از سایر گرهای خواهد بود [8]. بنابراین انرژی باقیمانده ای گرهای می تواند یک معیار انتخاب سرخوشه باشد. الگوریتم های خوشه بندی به دو دسته ای متمرکز<sup>7</sup> و توزیع شده<sup>8</sup> تقسیم می شوند. الگوریتم های خوشه بندی متمرکز به دانش عمومی شبکه و سربرار محاسباتی نیاز دارند و برای گرهای حسگر با منابع محدود مطلوب نیستند. از سوی دیگر در الگوریتم های خوشه بندی توزیع شده معمولاً بر اساس اطلاعات محلی تصمیم گیری می شود، به طور کلی روش های خوشه بندی توزیع شده هزینه ارتباطی کمتری در مقایسه با روش های متمرکز دارند [9].

در این مقاله قصد داریم که یک الگوریتم خوشه بندی توزیع شده ای جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای شبکه های حسگر بی سیم پیشنهاد کنیم. ما از مجموعه ای مستقل به منظور خوشه بندی در شبکه استفاده می کنیم. به منظور پایداری بیشتر خوشه های ایجاد شده، مجموعه ای مستقل را بر اساس سطح انرژی باقیمانده ای گرهای ایجاد می کنیم. به این معنی که از گرهای با انرژی باقیمانده ای بیشتر در ساخت مجموعه ای مستقل استفاده می کنیم. همچنین در الگوریتم پیشنهادی خود به درجه ای سرخوشه ها نیز توجه داریم. ادامه مطالب مقاله بصورت ذیل است:

در بخش 2 بعضی از کارهای انجام شده در زمینه خوشه بندی مرور می شوند. تعاریف و مفاهیم اولیه ای مرتبط با مجموعه مستقل و اتوماتای یادگیر در بخش 3 می آیند. در بخش 4، الگوریتم پیشنهادی ارائه می شود. نتایج ارزیابی در بخش 5 خواهد آمد و نتیجه گیری نیز در بخش 6 ارائه می گردد.

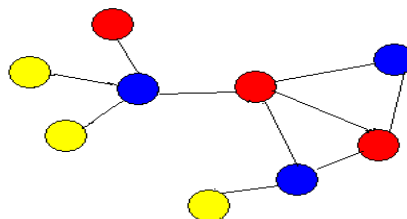
### 2- کارهای مرتبط

تاکنون الگوریتم های خوشه بندی متعددی برای شبکه های حسگر بی سیم طراحی شده است. بانرجی و کاهلر [10] یک روش خوشه بندی با استفاده از درخت پوشا ارائه کردند. در این پروتکل مقدار انرژی گرهای چندان مورد توجه طراحان پروتکل نبود. در [11] یک الگوریتم خوشه بندی بر پایه ای درجه ای گرهای برای این شبکه ها توسط کان و همکاران ارائه شد. هنزلمن و همکاران پروتکل [12] LEACH که یکی از معروف ترین پروتکل های سلسله مراتبی است را برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه کردند و پس از آن پروتکل های دیگری بر مبنای این پروتکل طراحی شدند. در پروتکل [12] LEACH خوشه ها با استفاده از یک الگوریتم توزیع شده ایجاد



### 2-3- مجموعه‌ی مستقل

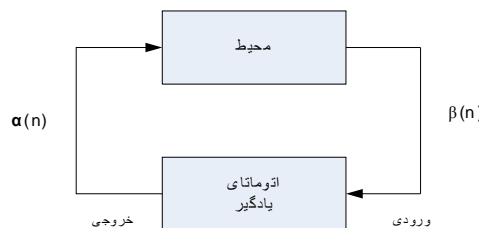
یک مجموعه‌ی مستقل،  $(IS)^{10}$ ، عبارت است از زیر مجموعه‌ی ای از گره‌های شبکه یا گراف که هیچ دو عضو آن با هم همسایه نیستند [18]. با توجه به گراف رسم شده در شکل (2) که دارای 9 رأس است، مجموعه رأس‌های با رنگ آبی یک مجموعه‌ی مستقل است، در حالی که رئوس با رنگ قرمز یک مجموعه مستقل نیست. زیرا دو رأس از رئوس قرمز با یکدیگر همسایه اند.



شکل 2: گراف مربوط به یک نمونه شبکه‌ی بی سیم

### 3-3- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر [19, 20] یک مدل انتزاعی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده، توسط یک محیط احتمالی ارزیابی، و نتیجه در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود. اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی خود استفاده می‌کند. هدف نهایی اینست تا اتوماتا یاد بگیرد که از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند. محیط احتمالی را می‌توان به صورت ریاضی با سه تایی  $E \equiv \{\alpha, \beta, C\}$  بیان نمود که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودی‌های محیط،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه خروجی‌های محیط و  $C \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمال‌های جریمه شدن هر عمل می‌باشد. شکل (3) ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد.



شکل 3: ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

$c$  احتمال اینکه عمل  $\alpha_i$  پاسخ نامطلوبی از محیط دریافت کند را نشان می‌دهد. اتوماتای یادگیر به دو دسته‌ی اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت<sup>3</sup> و ساختار متغیر<sup>4</sup> تقسیم می‌شود. ما در این مقاله از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر استفاده می‌کنیم. اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان بصورت چهار تایی  $\{\alpha, \beta, P, T\}$  نشان داد،

که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه‌ی عمل‌های اتوماتا،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه‌ی ورودی‌های اتوماتا، بردار احتمال هر یک از اعمال اتوماتا و  $P \equiv \{P_1, P_2, \dots, P_r\}$  الگوریتم یادگیری می‌باشد.

اگر عمل انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر عمل  $\alpha_i$  باشد آنگاه اتوماتا احتمال عمل‌های خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب از محیط طبق رابطه‌ی (1) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب از محیط بر اساس رابطه‌ی (2) بروز رسانی می‌کند.

رابطه (1): دریافت پاسخ مطلوب از محیط:

$$\begin{cases} P_i(n+1) = P_i(n) + \alpha [(1 - P_i(n))] \\ P_j(n+1) = (1 - \alpha) P_j(n) \end{cases} \quad \forall j, j \neq i$$

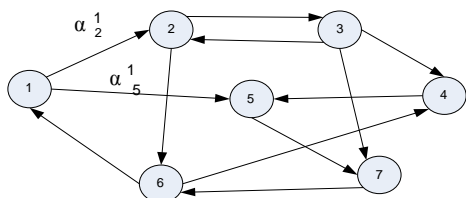
رابطه (2): دریافت پاسخ نامطلوب از محیط:

$$\begin{cases} P_i(n+1) = (1 - b) P_i(n) \\ P_j(n+1) = b / (r-1) + (1 - b) P_j(n) \end{cases} \quad \forall j, j \neq i$$

که در آن  $r$  تعداد اعمال اتوماتا،  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می‌باشد. اگر مقادیر  $a$  و  $b$  با هم مساوی باشند، روش جریمه پاداش خطی یا  $L_{RP}$  حاصل می‌شود. اگر مقدار  $b$  چندین برابر کوچکتر از  $a$  باشد، روش یادگیری حاصل را  $L_{ReP}$  می‌نامیم و زمانی که مقدار پارامتر جریمه‌ی  $b$  برابر با صفر باشد الگوریتم را  $L_{RI}$  می‌نامیم. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی با استفاده از تکنیک اتوماتای یادگیر برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است [21-23].

### 4-3- اتوماتای یادگیر توزیع شده<sup>11</sup> (DLA)

اتوماتای یادگیر توزیع شده [24] شبکه‌ای از اتوماتاهای یادگیر است که برای حل یک مساله خاص با یکدیگر همکاری دارند. در این شبکه از اتوماتاهای همکار در هر زمان تنها یک اتوماتا فعال می‌باشد. تعداد عملیات قابل انجام توسط یک اتوماتا در این شبکه برابر با تعداد اتوماتاهایی است که به این اتوماتا متصل می‌باشند. یک اتوماتای یادگیر توزیع شده را می‌توان همانند شکل (4) بصورت یک گراف مدل کرد که هر رأس آن به یک اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد.



شکل 4: شبکه‌ای از اتوماتاهای یادگیر توزیع شده



گام 2. تا زمانی که احتمال انتخاب مجموعه مستقل جدید کوچکتر یا مساوی با  $P_{IS}$  است (آستانه تکرار الگوریتم) مجموعه اعمال 3 تا 18 را تکرار کنید:

گام 3. یکی از گره های گراف را به طور تصادفی انتخاب و به مجموعه  $cl\_head[1]$  اضافه کنید.

گام 4. یک واحد به  $cl\_counter$  اضافه و انرژی باقیمانده گره انتخاب شده را در  $cl\_head\ Energy[1]$  درج کنید.

گام 5. گره های همسایه گره مورد نظر را از وضعیت انتخاب خارج و آنها را در  $cl\_set[1]$  درج و تعداد آنها را در مجموعه  $Deg\_vector[1]$  قرار دهید.

تا زمانی که تمامی گره های گراف در یکی از دو مجموعه  $cl\_head$  یا  $cl\_set$  در نیامده اند گام های 6 تا 8 را تکرار کنید:

گام 6. یک گره دیگر مانند  $V_i$  را از بین مجموعه گره های باقیمانده ی گراف بر اساس بردار احتمال اتوماتای یادگیر انتخاب و آنرا به مجموعه  $cl\_head[i]$  بیفزایید و مقدار  $cl\_counter$  را یک واحد اضافه کنید.

گام 7. همسایه های حذف نشده از حالت انتخاب گره  $V_i$  را در مجموعه  $cl\_set[i]$  قرار دهید و از حالت انتخاب غیرفعال کنید.

گام 8. انرژی گره  $V_i$  را در  $cl\_head\ Energy[i]$  و درجه ی آنرا در  $Deg\_vector[i]$  قرار دهید.

گام 9. کمترین مقدار انرژی از بردار  $cl\_head\ Energy[i]$  را پیدا کرده و در متغیر  $min$  قرار دهید.

گام 10. میانگین درجه سرخوشه ها را محاسبه و در  $Deg\_avreg$  قرار دهید.

گام 11. واریانس درجه گره های سرخوشه را نسبت به  $Deg\_avreg$  محاسبه و در متغیر  $var$  قرار دهید.

گام 12. اگر مقدار  $(var < var\_trishold \ \&\& \ min > t)$  آنگاه گامهای 13 و 14 را انجام بدهید، در غیر اینصورت به گام 15 بروید.

گام 13. مجموعه اتوماتاهای فعال و انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر  $\alpha_1$  پاداش داده شوند (بروز رسانی بردار احتمال اتوماتاها).

گام 14. مقدار  $min$  را در  $t$  و  $var$  را در  $var\_trishold$  جایگزین کنید.

گام 15. اگر  $(var > var\_trishold \ \&\& \ min > t)$  آنگاه به گام 16 رفته، در غیر اینصورت به گام 17 بروید.

گام 16. مجموعه اتوماتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر  $\alpha_1$  (5) پاداش داده شوند و مقدار  $min$  را در  $t$  جایگزین کنید.

گام 17. اگر  $(var < var\_trishold \ \&\& \ min < t)$  آنگاه مجموعه اتوماتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر  $\alpha_1$  (25) پاداش داده شوند و مقدار  $var$  را در  $var\_trishold$  جایگزین کنید. در غیر اینصورت بروید به گام 18.

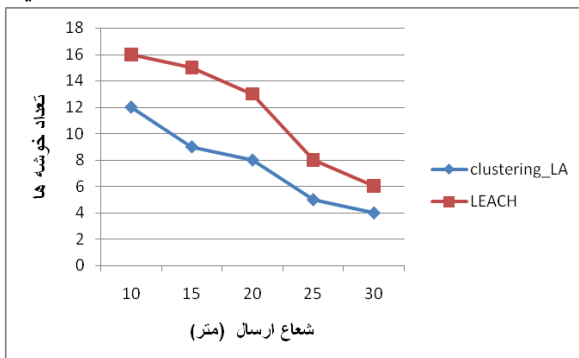
وجود یال  $(L_A, L_B)$  در این گراف به این معناست که انتخاب عمل متناظر با این یال توسط  $L_A$  باعث فعال شدن  $L_B$  می گردد.

## 4- الگوریتم پیشنهادی

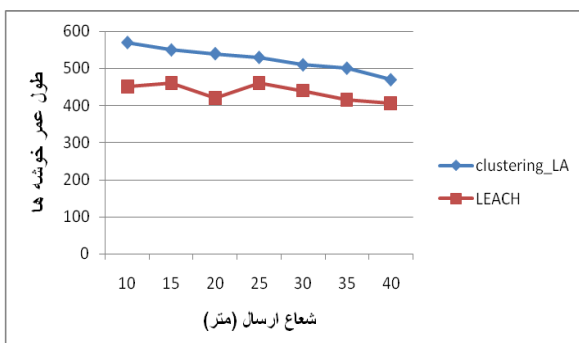
در این بخش به تشریح الگوریتم پیشنهادی خود می پردازیم. شبکه را بصورت یک UDG در نظر می گیریم و فرض می کنیم که گره ها بصورت تصادفی در گراف شبکه پراکنده شده اند. گراف شبکه را به صورت یک سه تایی مرتب  $G = \langle V, E, W \rangle$  تعریف می کنیم که در آن  $V$  مجموعه رأسها،  $E$  مجموعه یال های گراف و  $W$  وزن نسبت داده شده به گره ها به عنوان انرژی باقیمانده گره ها می باشد. همچنین فرض می شود که هر گره همسایه های خود را می شناسد. مفروضات زیر را داریم:

- 1-  $Cl\_head[i]$  برای نگهداری  $i$  امین سرخوشه که در ابتدا تهی است.
- 2-  $Cl\_set[i]$  جهت نگهداری اعضای  $i$  امین سرخوشه که در ابتدا تهی است.
- 3-  $Cl\_counter$  به منظور نگهداری تعداد سرخوشه ها (خوشه ها) که در ابتدا صفر است.
- 4- متغیر  $t$  به عنوان مقدار آستانه ی انرژی که کمترین انرژی لازم برای شرط سرخوشه بودن هر گره است.
- 5-  $cl\_head\ Energy[i]$  برای ذخیره انرژی  $i$  امین سرخوشه که در ابتدا صفر است.
- 6- متغیر  $enrji\_avrg$  برای ذخیره میانگین انرژی گره های سرخوشه که در ابتدا مقدار آن برابر با صفر است.
- 7- متغیر  $var\_trishold$  که ماکزیمم مقدار آستانه اختلاف درجه سرخوشه هاست.
- 8-  $Deg\_vector[i]$  برای ذخیره درجه  $i$  امین سرخوشه که در ابتدا صفر است.
- 9- متغیر  $Deg\_avreg$  برای ذخیره میانگین درجه سرخوشه ها که در ابتدا مقدارش برابر با صفر است.
- 10-  $P_{IS}$  را نیز به عنوان آستانه تکرار الگوریتم یادگیری اتوماتا تعریف می کنیم. مراحل الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر است:

گام 1. ابتدا شبکه ای از اتوماتاهای یادگیر را متناظر با گراف وزندار  $G = \langle V, E, W \rangle$  بگونه ای ایجاد می کنیم که مجموعه رئوس گراف، متناظر با شبکه اتوماتاهای یادگیر  $A_i$  باشند و مجموعه یالهای  $E_i$  گراف نیز، متناظر با مجموعه عمل های اتوماتای متناظر با گره مورد نظر از گراف باشد.



شکل 6: تأثیر افزایش شعاع ارسال گره ها بر تعداد خوشه ها



شکل 7: تأثیر افزایش شعاع ارسال گره ها بر طول عمر خوشه ها

## 6- نتیجه

در این مقاله یک الگوریتم خوشه‌بندی جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر توزیع شده را به منظور افزایش طول عمر شبکه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد کردیم. در الگوریتم خود از مجموعه‌ی مستقل به منظور خوشه‌بندی استفاده کرده و الگوریتم خود را Clustering\_LA نامیدیم. اعضای سرخوشه را بر اساس میزان انرژی گره‌های موجود در شبکه ایجاد کردیم و تلاش کردیم از گره‌هایی که میزان انرژی بالاتری دارند، به عنوان سرخوشه استفاده کنیم. همچنین سعی در ایجاد توازن در تعداد اعضای خوشه‌ها نمودیم. سپس الگوریتم خود را از لحاظ طول عمر خوشه‌ها و تعداد اعضای سرخوشه ارزیابی نمودیم. در این ارزیابی اثر افزایش تعداد گره‌ها بر تعداد خوشه‌ها و همچنین اثر افزایش شعاع ارسالی گره‌های حسگر را بر طول عمر خوشه‌ها و تعداد خوشه‌ها بررسی کردیم. نتایج ارزیابی نشان داد که به ازای یک محدوده ارسال یکسان، افزایش تعداد گره‌ها سبب افزایش تعداد خوشه‌های ساخته شده می‌شود. همچنین در شرایطی که تعداد گره‌ها ثابت باشند، افزایش شعاع ارسال گره‌ها سبب کاهش تعداد خوشه‌ها و نیز کاهش طول عمر خوشه‌های ساخته شده می‌شود. در ادامه الگوریتم خود را با پروتکل LEACH[12] مقایسه، و این آزمایش‌ها را بر روی این پروتکل نیز اجرا نمودیم. نتایج مقایسات نشان داد که روش پیشنهادی

گام 18. مجموعه اتوماتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل جریمه شوند (بروز رسانی بردار احتمال اتوماتاها).  
گام 19. برقراری ارتباط گره‌های شبکه از طریق سرخوشه‌های ایجاد شده‌ی موجود در بردار `cl_head[]`. پایان الگوریتم.

## 5- نتایج ارزیابی

به منظور ارزیابی، الگوریتم پیشنهادی خود را در یک محیط  $50 \times 50 \text{ m}^2$  در نظر گرفته که گره‌ها در آن محیط بصورت تصادفی توزیع شده‌اند. همچنین در آزمایشات خود از اتوماتای یادگیر از نوع  $L_R$  استفاده نمودیم. علاوه بر انرژی اولیه گره‌های شبکه را برابر با یک ژول فرض کردیم. در یک آزمایش تعداد گره‌های شبکه را افزایش داده و اثر افزایش تعداد گره‌ها را به ازای یک مقدار ثابت از شعاع ارسالی گره‌ها، بر تعداد خوشه‌ها بررسی کردیم. نمودار شکل (5) نتیجه‌ی این آزمایش را برای الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با پروتکل LEACH[12] نشان می‌دهد. یک دلیل اینکه روش پیشنهادی ما تعداد خوشه‌های کمتری تولید می‌کند وجود شرط توازن بکار رفته در الگوریتم پیشنهادی در خصوص تعداد گره‌های هر خوشه می‌باشد. در آزمایش دیگر اثر افزایش شعاع ارسالی گره‌های حسگر در شرایطی که تعداد گره‌ها ثابت و برابر با 50 گره فرض می‌شوند، را بر پارامترهای تعداد خوشه‌ها و طول عمر خوشه‌ها بررسی نمودیم. نمودارهای تولید شده در شکل (6) و (7) به ترتیب نشان دهنده‌ی مقایسه این دو روش می‌باشند. همانطور که نمودار شکل (6) نیز نشان می‌دهد، افزایش شعاع حسگرها منجر به کاهش تعداد خوشه‌ها شده است. زیرا با افزایش شعاع حسگرها تعداد همسایگی گره‌ها بیشتر می‌شود.

همچنین یک دلیل برای کاهش طول عمر خوشه‌ها با افزایش شعاع حسگرها که در شکل (7) نشان داده شده است، افزایش تداخل امواج گره‌ها با یکدیگر و در نتیجه افزایش مصرف انرژی گره‌های شبکه می‌باشد. همانطور که در نمودار شکل (7) مشخص است، در این حالت نیز روش پیشنهادی ما نتیجه‌ی بهتری تولید کرده است.



شکل 5: تأثیر افزایش گره ها بر تعداد خوشه ها

- [22] J. Sajadi and M. Barati, "A Learning Automata Based and Multicast Routing Energy Efficiency Algorithm Using Minimum Spanning Tree for Wireless Sensor Networks", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, (2011), vol.5 239-248.
- [23] M. Esnaashari and M. R. Meybodi, "Dynamic point coverage problem in wireless sensor networks: A cellular learning automata Approach", *Journal of Ad hoc and Sensors Wireless sensor Networks*, (2010), Vol. 10 193-234.
- [24] H. Beigy, M. R. Meybodi, "Utilizing Distributed Learning Automata to Solve Stochastic Shortest Path Problems," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, (2006), Vol.14 591-615.

ما به مراتب نتایج بهتری نسبت به پروتکل LAECH[12] تولید می‌نماید.

## مراجع

<sup>1</sup> Wireless Sensor Networks (WSNs)

<sup>2</sup> Base station (BS)

<sup>3</sup> Multi-hop Communication

<sup>4</sup> Single-hop Communication

<sup>5</sup> Clustering

<sup>6</sup> Cluster Head

<sup>7</sup> Centralized

<sup>8</sup> Distributed

<sup>9</sup> Unit Disk Graph (UDG)

<sup>10</sup> Independent Set (IS)

<sup>11</sup> Distributed Learning Automata (DLA)

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", *Journal of Computer Networks*, (2002), Vol. 38 393-422.
- [2] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang and A. Chandrakasan, "Low Power Wireless Sensor Networks", *Proc. of International Conference on VLSI Design, Bangalore, India*, (2001), 205-210.
- [3] J. Heidemann and R. Govindan, "An Overview of Embedded Sensor Networks", *Springer*, (2004).
- [4] K. Karenos and V. Kalogeraki, "Real-Time Traffic Management in Sensor Networks", *Proceedings of the 27th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, (2006), 422-434.
- [5] D. J. Dechene, A. E. Jardali, M. Luccini and A. Sauer, "A Survey of Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks", (2010).
- [6] K. Lee, "Energy-efficient Clustering Method for Wireless Sensor Networks", *a thesis submitted to the Graduate Faculty of Auburn University*, (August 2010).
- [7] W. Naruephiphat and C. Charnsripinyo, "An Energy-aware Clustering Technique for Wireless Sensor Networks", *ISBN: 978-953-307-297-5, Publisher: InTech*, (December 2010).
- [8] S. Selvakenedy and S. Sinnappan, "An Energy-Efficient Clustering Algorithm for Multi hop Data Gathering in Wireless Sensor Networks", *Journal of computers*, (2006), vol. 1, no.1.
- [9] O. Boyinbode, H. Le, A. Mbogho, M. Takizawa and R. Poliah, "A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks", *IEEE*, (2010).
- [10] S. Banerjee and S. Khuller, "A Clustering Scheme for Hierarchical Control in Multi-hop Wireless Networks", in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, (2001).
- [11] C. R. Lin, M. Gerla, "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks", in *IEEE J. Select. Areas Commun*, September, (1997).
- [12] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, (2002), vol. 1, No.4 660-670.
- [13] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks", *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, (2004), vol.3, no.4 366-379.
- [14] M. Chatterjee, S. K. Das and D. Turgut, "WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad hoc Networks", *Journal of Cluster Computing (Special Issue on Mobile Ad hoc Networks)*, (2002), Vol. 5, No. 2 193-204.
- [15] R. Krishnan and, D. Starobinski, "Efficient Clustering Algorithms for Self-organizing Wireless Sensor Networks", *Ad Hoc Networks*, (2006), vol. 4 36-59.
- [16] D. V. Paruchuri, "Adaptive Clustering Protocol for Sensor Networks", *Aerospace, IEEE Conf*, (2005), 1-8.
- [17] B. Clark, C. Colbourn and D. Johnson, "Unit Disk Graphs", *Discrete Mathematics*, (1990), Vol. 86 165-177.
- [18] M. V. Marathe, H. Breu, H. B. Hunt, S. S. Ravi and D. J. Rosenkrantz, "Simple Heuristics for Unit Disk Graphs", *Networks*, (1995), Vol. 25 59-68.
- [19] K.S. Narendra and K.S. Thathachar, "Learning Automata: An Introduction", *Prentice-Hall, New York*, 1989.
- [20] M. A. L. Thathachar, P. S. Sastry, "A Hierarchical System of Learning Automata That Can Learn the Globally Optimal Path", *Information Science*, (1997), Vol.42 743-766.
- [21] M. Esnaashari and M. R. Meybodi, "A Learning Automata Based Scheduling solution to the dynamic point coverage problem in wireless sensor networks", *Computer Networks*, (2010).