

یک الگوریتم خوش بندی مبتنی بر آtomاتای یادگیر توزیع شده برای شبکه های حسگر بی سیم

جهانگرد سجادی^۱، رویا کرمی^۲، جواد اکبری ترکستانی^۳، محمدرضا میبدی^۴

^۱ کارشناس ارشد نرم افزار، آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران،
jh.sajadi@yahoo.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه،
roya.karami.2012@gmail.com

^۳ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی اراک، دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران،
j-akbari@iau-arak.ac.ir

^۴ استادتمام، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،
mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده

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

ما در این پژوهش یک الگوریتم خوش بندی توزیع شده مبتنی بر آtomاتای یادگیر را به منظور افزایش طول عمر شبکه برای این شبکه ها ارائه می کنیم. در الگوریتم ارائه شده با استفاده از مجموعه می 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 خوش بندی LEACH[12] مقایسه می کنیم. معیارهای ارزیابی، تعداد خوشه ها و طول عمر خوشه های ساخته شده با اعمال تغییر در تعداد و شعاع حسگر ها 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، خوش بندی، آtomاتای یادگیر، مجموعه می مستقل.

این شبکه ها اطلاعات جمع آوری شده بوسیله ی حسگرها باید به یک ایستگاه پایه^۲ منتقل شوند. در روش ارسال مستقیم، هر گره مستقل اطلاعات را به مرکز می فرستد، که به دلیل فاصله 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 ارتباط های چندگامی^۳ برای این گونه شبکه ها بهتر از ارتباط های تک گامی^۴ است. یک راه حل این مسئله، خوش بندی^۵ می باشد. در واقع هدف اصلی پروتکل های مبتنی بر خوش بندی بکارگیری یک روش مناسب جهت استفاده از شبکه و در نتیجه

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم^۱ 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 سروخوشه ها بر اساس یکتابع 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 پروتکلهای توزیع شده است که برای شبکههای حسگر بی سیم طراحی شده است و برخلاف LEACH[12] که سروخوشه ها به طور تصادفی انتخاب می شوند، سروخوشه ها بر اساس احتمالی که متناسب با میزان انرژی باقیمانده آنها است، انتخاب می شوند. پروتکلهای خوشه بندی دیگری در مراجع [14-16] برای شبکههای حسگر بی سیم ارائه شده اند.

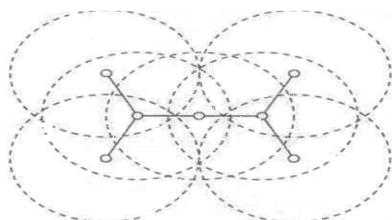
ما نیز در این مقاله قصد داریم که یک الگوریتم خوشه بندی توزیع شده بر پایه آutomاتای یادگیر برای شبکههای حسگر بی سیم ارائه کنیم. در الگوریتم پیشنهادی خود به کمک مجموعه مستقل خوشه ها را با توجه به میزان انرژی موجود در گره های بکار گرفته شده به عنوان سروخوشه ایجاد می کنیم و در صورتی که سطح انرژی این گره ها از یک مقدار آستانه کمتر باشد، از استفاده از این گره ها به عنوان سروخوشه جلوگیری، و از دیگر گره های شبکه جهت سروخوشه 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 گره های سروخوشه، 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 کردہایم به اختصار شرح می دهیم:

3-1- گراف دیسک واحد (UDG)

زمانی که شاعع ارتباطی برای همه رؤوس 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 شاعع ارسال دو رأس باشد [17]. یک شبکه می خواهد بی سیم را می توانیم مطابق با شکل (1) به صورت یک UDG⁹ در نظر بگیریم که در آن هر گره 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 مقایسه پذیری شبکه را که یکی از مهمترین پارامترهای طراحی در شبکه های حسگر بی سیم می باشد را نیز به همراه دارد [6,7]. در هر خوشه یک گره به عنوان سروخوشه⁶، و گره های دیگر به عنوان اعضای خوشه در نظر گرفته می شوند و هر گره در شبکه فقط می تواند عضو یک خوشه باشد [5]. از آنجا که جمع آوری و ارسال اطلاعات محیط به ایستگاه پایه بر عهده سروخوشه ها است، در نتیجه مصرف انرژی در سروخوشه ها بیش از سایر گره ها خواهد بود [8]. بنابرین انرژی باقیمانده گره ها می تواند یک معیار انتخاب سروخوشه باشد. الگوریتم های خوشه بندی به دو دسته متمرکز⁷ و توزیع شده⁸ تقسیم می شوند. الگوریتم های خوشه بندی متمرکز به دانش عمومی شبکه و سربار محاسباتی نیاز دارند و برای گره های 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 جدید مبتنی بر آtomاتای یادگیر برای شبکه های حسگر بی سیم پیشنهاد کنیم. ما از مجموعه مستقل به منظور خوشه بندی در شبکه استفاده می کنیم. به منظور پایداری بیشتر خوشه های ایجاد شده، مجموعه مستقل را بر اساس سطح انرژی باقیمانده گره ها ایجاد می کنیم. به این معنی که از گره های با انرژی باقیمانده بیشتر در ساخت مجموعه مستقل استفاده می کنیم. همچنین در الگوریتم پیشنهادی خود به درجه سروخوشه ها نیز توجه داریم. ادامه مطالب مقاله بصورت ذیل است:

در بخش 2 بعضی از کارهای انجام شده در زمینه خوشه بندی مور می شوند. تعاریف و مفاهیم اولیه مرتبط با مجموعه مستقل و آtomاتای 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. بازرجی و کااهر [10] یک روش خوشه بندی با استفاده از درخت پوشاش ارائه کرده است. در این پروتکل مقدار انرژی گره ها چندان مورد توجه طراحان پروتکل نبود. در [11] یک الگوریتم خوشه بندی بر پایه درجه گره ها برای این شبکه ها توسط کان و همکاران ارائه شد. هنرزلمن و همکاران پروتکل LEACH[12] که یکی از معروف ترین پروتکل های سلسه مراتبی است را برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه کرده و پس از آن پروتکل های دیگری بر مبنای این پروتکل طراحی شدند. در پروتکل LEACH[12] خوشه ها با استفاده از یک الگوریتم توزیع شده ایجاد

که در آن $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل های آtomاتا، $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$ مجموعه ورودی های آtomاتا، $P = \{P_1, P_2, \dots, P_r\}$ بردار احتمال هر یک از اعمال آtomاتا و $T[n+1] = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می باشد.

اگر عمل انتخاب شده توسط آtomاتا یادگیر عمل α_i باشد آنگاه آtomاتا احتمال عمل های خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب از محیط طبق رابطه (1) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب از محیط بر اساس رابطه (2) بروز رسانی می کند.

رابطه (1): دریافت پاسخ مطلوب از محیط:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i(n+1) = P_i(n) + \alpha [(1 - P_i(n)) \\ (1) \\ P_j(n+1) = (1 - \alpha) P_j(n) \\ \forall j, j \neq i \end{array} \right.$$

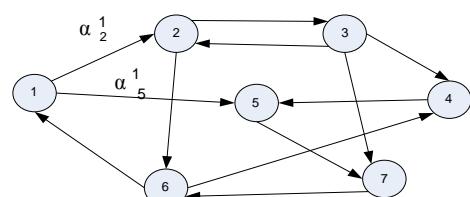
رابطه (2): دریافت پاسخ نامطلوب از محیط :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i(n+1) = (1 - b) P_i(n) \\ (2) \\ P_j(n+1) = b / (r-1) + (1 - b) P_j(n) \\ \forall j, j \neq i \end{array} \right.$$

که در آن r تعداد اعمال آtomاتا، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می باشد. اگر مقادیر a و b با هم مساوی باشند، روش جریمه پاداش خطی یا L_{RP} حاصل می شود. اگر مقادیر b چندین برابر کوچکتر از a باشد، روش یادگیری حاصل را L_{REP} می نامیم و زمانی که مقدار پارامتر جریمه b برابر با صفر باشد الگوریتم را L_{RI} می نامیم. تاکنون الگوریتم های مختلفی با استفاده از تکنیک آtomاتای یادگیر برای شبکه های حسگر ارائه شده است [21-23].

4- آtomاتای یادگیر توزیع شده (DLA)¹¹

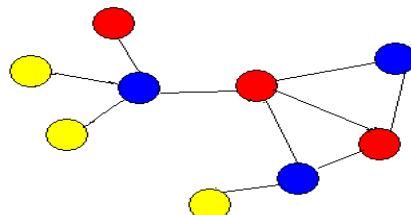
آtomاتای یادگیر توزیع شده [24] شبکه ای از آtomاتاهای یادگیر است که برای حل یک مساله خاص با یکدیگر همکاری دارند. در این شبکه از آtomاتاهای همکار در هر زمان تنها یک آtomاتا فعال می باشد. تعداد عملیات قبل انجام توسط یک آtomاتا در این شبکه برابر با تعداد آtomاتاهایی است که به این آtomاتا متصل می باشند. یک آtomاتای یادگیر توزیع شده را می توان همانند شکل (4) بصورت یک گراف مدل کرد که هر رأس آن به یک آtomاتای یادگیر مجهز می باشد.



شکل 4: شبکه ای از آtomاتاهای یادگیر توزیع شده

2-3- مجموعه های مستقل

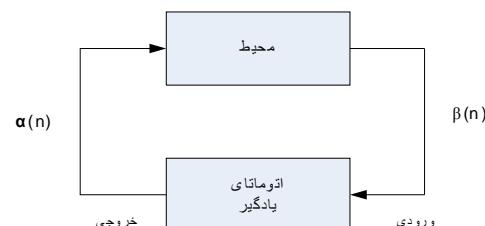
یک مجموعه های مستقل، (IS)¹⁰، عبارت است از زیر مجموعه ای از گره های شبکه یا گراف که هیچ دو عضو آن با هم همسایه نیستند [18]. با توجه به گراف رسم شده در شکل (2) که دارای 9 رأس است، مجموعه رأس های با رنگ آبی یک مجموعه های مستقل است، در حالی که رئوس با رنگ قرمز یک مجموعه های مستقل نیست. زیرا دو رأس از رئوس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



شکل 2: گراف مربوط به یک نمونه شبکه بی سیم

3- آtomاتای یادگیر

آtomاتای یادگیر [20, 19] یک مدل انتزاعی است که می تواند تعدادی احتمالی ارزیابی، و نتیجه در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به آtomاتا داده می شود. آtomاتا از این پاسخ درانتخاب عمل بعدی خود استفاده می کند. هدف نهایی اینست تا آtomاتا یاد بگیرد که از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداقل برساند. محیط احتمالی را می توان به صورت ریاضی با سه تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, C\}$ بیان نمود که در آن $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی های محیط، $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$ مجموعه خروجی های محیط و $\{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال های جریمه شدن هر عمل می باشد. شکل (3) ارتباط بین آtomاتای یادگیر و محیط را نشان می دهد.



شکل 3: ارتباط بین آtomاتای یادگیر و محیط

احتمال اینکه عمل α_i پاسخ نامطلوبی از محیط دریافت کند را نشان می دهد. آtomاتای یادگیر به دو دسته ای آtomاتای یادگیر با ساختار ثابت³ و ساختار متغیر⁴ تقسیم می شود. ما در این مقاله از آtomاتای یادگیر با ساختار متغیر استفاده می کنیم. آtomاتای یادگیر با ساختار متغیر را می توان بصورت چهار تایی $\{T, \alpha, \beta, P\}$ نشان داد،



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 [1] cl_head اضافه کنید.

گام 4. یک واحد به $cl_counter$ اضافه و انرژی باقیمانده گره انتخاب شده را در $cl_head Enerji$ [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 i cl_set یا cl_head در نیامده اند گام های 6 تا 8 را تکرار کنید:

گام 6. یک گره دیگر مانند V_7 را از بین مجموعه گره های باقیمانده گراف بر اساس بردار احتمال آtomاتای 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 i را در مجموعه $cl_set[i]$ قرار دهید و از حالت انتخاب غیرفعال کنید.

گام 8. انرژی گره i را در $cl_head Enerji$ [i] و درجهی آنرا در $Deg_vector[i]$ قرار دهید.

گام 9. کمترین مقدار انرژی از بردار $cl_head Enerji$ [i] را پیدا کرده و در متغیر min قرار بدهید.

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 $t < var_trishold \&& min > t$ (آنگاه گامهای 13 و 14 را انجام بدهید، در غیر اینصورت به گام 15 بروید. گام 13. مجموعه آtomاتاهای فعل و انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر α_1 پاداش داده شوند (یروز رسانی بردار احتمال آtomاتاهای).

گام 14. مقدار min را در t و $var_trishold$ 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 آtomاتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر α_1 (5.) پاداش داده شوند و مقدار min را در t جایگزین کنید.

گام 17. اگر $(var < var_trishold \&& min < t)$ (آنگاه مجموعه آtomاتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل با پارامتر α_1 (25.) پاداش داده شوند و مقدار var را در $var_trishold$ جایگزین کنید . در غیر اینصورت بروید به گام 18 .

وجود یال (j , LA_j) در این گراف به این معناست که انتخاب عمل متناظر با این یال توسط LA_j باعث فعال شدن LA_i 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 امین سرخوشه که در ابتداء است.

- 2- $Cl_set[i]$ جهت نگهداری اعضای امین سرخوشه که در ابتداء است.

- 3- $Cl_counter$ به منظور نگهداری تعداد سرخوشه ها (خوشه ها) که در ابتداء صفر است.

- 4- متغیر t به عنوان مقدار آستانه ای انرژی که کمترین انرژی لازم برای شرط سرخوشه بودن هر گره است.

- 5- $Cl_head Enerji$ [i] برای ذخیره انرژی امین سرخوشه که در ابتداء صفر است.

- 6- متغیر $enrji_avg$ برای ذخیره میانگین انرژی گره های سرخوشه که در ابتداء مقدار آن برابر با صفر است .

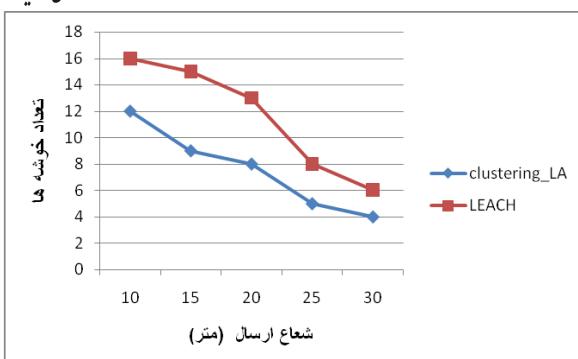
- 7- متغیر $var_trishold$ که ماکریم مقدار آستانه اختلاف درجه سرخوشه هاست.

- 8- $Deg_vector[i]$ برای ذخیره درجه امین سرخوشه که در ابتداء صفر است.

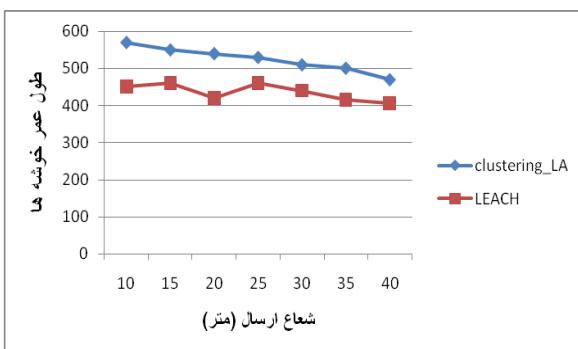
- 9- متغیر Deg_avreg برای ذخیره میانگین درجه سرخوشه ها که در ابتداء مقدارش برابر با صفر است .

- 10- P_{IS} را نیز به عنوان آستانه تکرار الگوریتم یادگیری آtomاتا تعریف می کنیم. مراحل الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر است:

گام 1. ابتدا شبکه ای از آtomاتاهای یادگیر را متناظر با گراف وزن دار $G = \langle V, E, W \rangle$ بگونه ای ایجاد می کنیم که مجموعه رئوس گراف، متناظر با شبکه آtomاتاهای یادگیر A_1 باشند و مجموعه یالهای E_1 گراف نیز، متناظر با مجموعه عمل های آtomاتای 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 آtomاتای 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 کرد و الگوریتم خود را Clustering_LA نامیدیم. اعضای سرخوشه را بر اساس میزان انرژی گره های موجود در شبکه ایجاد کردیم و تلاش کردیم از گره هایی 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 خوشه ها و تعداد اعضای سرخوشه ارزیابی نمودیم. در این ارزیابی اثر افزایش تعداد گره ها بر تعداد خوشه ها و همچنین اثر افزایش شعاع ارسالی گره های حسگر را بر طول عمر خوشه ها و تعداد خوشه ها بررسی کردیم. نتایج ارزیابی نشان داد که به ازای یک محدوده ارسال یکسان، افزایش تعداد گره ها سبب افزایش تعداد خوشه های ساخته شده می شود. همچنین در شرایطی که تعداد گره ها ثابت باشند، افزایش شعاع ارسال گره ها سبب کاهش تعداد خوشه ها و نیز کاهش طول عمر خوشه های ساخته شده می شود. در ادامه الگوریتم خود را با پروتکل نیز اجرا نمودیم. نتایج مقایسات نشان داد که روش پیشنهادی

گام 18. مجموعه آtomاتاهای انتخاب شده برای ایجاد مجموعه مستقل جریمه شوند (بروز رسانی بردار احتمال آtomاتاهای).

گام 19. برقراری ارتباط گره های شبکه از طریق سرخوشه های ایجاد شده می‌شوند در بردار [cl_head ... cl_end]. 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 گره ها در آن محیط بصورت تصادفی توزیع شده اند. همچنین در آزمایشات خود از آtomاتای یادگیر با L_{RI} استفاده نمودیم. بعلاوه انرژی اولیه گره های شبکه را برابر با یک ژول فرض کردیم. در یک آزمایش تعداد گره های شبکه را افزایش داده و اثر افزایش تعداد گره ها را به ازای یک مقدار ثابت از شعاع ارسالی گره ها، بر تعداد خوشه ها 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 خوشه های کمتری تولید می کند وجود شرط توازن بکار رفته در الگوریتم پیشنهادی در خصوص تعداد گره های هر خوشه می‌باشد. در آزمایش دیگر اثر افزایش شعاع ارسالی گره های حسگر در شرایطی که تعداد گره ها ثابت و برابر با 50 گره فرض می‌شوند، را بر پارامترهای تعداد خوشه ها و طول عمر خوشه ها 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 خوشه ها شده است. زیرا با افزایش شعاع حسگرها تعداد همسایگی گره ها بیشتر می‌شود.

همچنین یک دلیل برای کاهش طول عمر خوشه ها با افزایش شعاع حسگرها که در شکل (7) نشان داده شده است، افزایش تداخل امواج گره ها با یکدیگر و در نتیجه افزایش مصرف انرژی گره های شبکه می‌باشد. همانطور که در نمودار شکل (7) مشخص است، در این حالت نیز روش پیشنهادی مانند 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 می‌نمایید.

مراجع

- زیرنویس‌ها**
-
- ¹ Wireless Sensor Networks (WSNs)
- ² Base station (BS)
- ³ Multi-hop Communication
- ⁴ Single-hop Communication
- ⁵ Clustering
- ⁶ Cluster Head
- ⁷ Centralized
- ⁸ Distributed
- ⁹ Unit Disk Graph (UDG)
- ¹⁰ Independent Set (IS)
- ¹¹ 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 Inter nation 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. Selvakennedy 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. Thathachat, 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).