

خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از آtomاتاهای یادگیر سلولی

محمد رضا میدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

محمد احمدی نیا

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، ایران

ahmadinia@gmail.com

چکیده: شبکه های حسگر بی سیم که برای نظارت و کنترل یک محیط خاص مورد استفاده قرار می گیرند، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت تشکیل شده اند که به صورت متراکم در یک محیط پراکنده می شوند. یکی از عمدۀ ترین چالش ها در این نوع شبکه ها، محدودیت مصرف انرژی است که مستقیماً طول عمر شبکه حسگر را تحت تأثیر قرار می دهد. خوشه بندی یعنوان یکی از روش های شناخته شده ای است که بطور گستردۀ ای برای مواجه شدن با این چالش مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله روشی کارا برای خوشه بندی شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از تکنیک آtomاتای یادگیر سلولی ارائه گردیده است. روش ارائه شده در چند مرحله نودهای سرخوشه را بر اساس پارامترهای مختلف مثل میزان انرژی و تعداد همسایگان و... شناسایی می نماید و خوشه هایی متوازن با سرخوشه هایی با انرژی بالاتر نسبت به نودهای معمولی ایجاد می نماید. جهت ارزیابی روش پیشنهادی، با استفاده از شبیه ساز sim-L آزمایشاتی انجام گرفته است و روش ارائه شده با تعدادی از بهترین الگوریتم های خوشه بندی مقایسه گردیده است. نتایج شبیه سازی عملکرد مطلوب روش ارائه شده را نشان می دهند.

واژه های کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم ، خوشه بندی، آtomاتاهای یادگیر سلولی، کیفیت سرویس.

کدام یک سرخوشه دارند که همه اطلاعات را از گره های داخل خوشه اش جمع آوری می کند. سپس این سرخوشه ها اطلاعات را مستقیماً یا به صورت گام به گام با تعداد گامهای کمتر و صرفا با استفاده از نودهای سرخوشه به مرکز اصلی ارسال می کنند. خوشه بندی کردن می تواند به میزان زیادی هزینه های ارتباطی اکثر گره ها را کاهش دهد.

در این مقاله روشی کارا برای خوشه بندی شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از تکنیک آtomاتای یادگیر سلولی ارائه گردیده است. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است در بخش ۲ خلاصه ای از کارهای انجام شده ارائه می گردد. سپس آtomاتای یادگیر سلولی که یعنوان استراتژی اصلی یادگیری در الگوریتم پیشنهادی است، در بخش ۳ باختصار شرح داده می شود. در بخش ۴ الگوریتم پیشنهادی و در بخش ۵ نتایج شبیه سازی ها ارایه می گردد. بخش پایانی مقاله نتیجه گیری می باشد.

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم که برای نظارت و کنترل یک محیط خاص مورد استفاده قرار می گیرند، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت تشکیل شده اند که به صورت متراکم در یک محیط پراکنده می شوند. اطلاعات جمع آوری شده بوسیله حسگرها باید به یک ایستگاه پایه منتقل شوند. در ارسال مستقیم، هر حسگر مستقیماً اطلاعات را به مرکز می فرستد. که به دلیل فاصله زیاد حسگرها از مرکز، انرژی زیادی مصرف می کنند. در مقابل طراحی هایی که فواصل ارتباطی را کوتاهتر می کنند، می توانند دوره حیات شبکه را طولانی تر کنند. ولذا ارتباط های چندگامی در این گونه شبکه ها مفیدتر و مقرر به صرفه تر از ارتباط های تک گامی هستند.

اما در ارتباط های چندگامی نیز بیشتر انرژی نودها صرف ایجاد ارتباط با حسگر های دیگر می شود، که منجر به مصرف زیاد انرژی در حسگرها می گردد.

یکی از راه حل های این مشکل، خوشه بندی گره ها است. خوشه بندی کردن به این صورت است که شبکه را به تعدادی خوشه های مستقل قسمت بندی می کنیم که هر

۲- کارهای انجام شده

در این بخش تعدادی از کارهای انجام شده در زمینه خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم ارائه می گردد:

الگوریتم خوشه بندی توزیع شده در [1] نودهارا ثابت و با وزنهای مقدار داده شده در نظر می گیرد. الگوریتم خوشه بندی وزن دهی شده چندین خصوصیت را در یک پارامتر ترکیب می کند که این پارامتر در خوشه بندی استفاده می شود.

در [2] استفاده از یک درخت پوشایشنهاد شده است تا خوشه های با خواص مناسب ایجاد گردد. در این الگوریتم انرژی به عنوان پارامتر اصلی مورد تاکید قرار نمی گیرد.

در [3] یک الگوریتم خوشه بندی غیر فعال برای استفاده در مسیریابی مبتنی بر درخواست در شبکه های حسگر پیشنهاد گردیده است.

در [4] یک روش خوشه بندی ارائه گردیده است که مبتنی است بر درجه (متصل بودن) و پایینترین شناسه نود.

در [5] یک پروتکل توزیع داده با کاربرد ویژه است که با استفاده از خوشه بندی عمر شبکه را افزایش می دهد.

در [6] ارائه دهنده گان از یک روش خوشه بندی تصادفی شبیه LEACH استفاده کرده اند اما روشی جهت محاسبه مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم از قبل بکار برده اند و از ارسال چند گامی برای ارتباطات درون خوشه ای و بین خوشه ای استفاده نموده اند.

در [7] یک ساختار سلسله مراتبی چند سطحی پیشنهاد گردیده است که سرخوشه ها بر اساس درجه و انرژی باقیمانده شان انتخاب می گردند.

[8] شبکه حسگر را در تعداد ثابتی تکرار با استفاده از درجه نود به عنوان پارامتر اصلی خوشه بندی می کند.

در [9] نویسنده گان تاثیر روش های ارتباطی مختلف (تک گامی و چند گامی) بر روی کارایی پروتکلهای خوشه بندی را مورد مطالعه قرار می دهند.

پروتکل HEED که در [10] آمده است یک پروتکل توزیع شده است که مستقل از نحوه توزیع نودها بر اساس پارامتر اصلی مقدار انرژی باقیمانده، سرخوشه ها را انتخاب می نماید. در این پروتکل یک پارامتر دوم نیز



شکل ۱: ارتباط بین اوتوماتای یادگیر و محیط

آوتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (ICLA): یک آوتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (ICLA) یک آوتوماتای یادگیر سلولی (CLA) است که محدودیت ساختار مستطیلی گردید در CLA را ندارد. کاربردهای زیادی هستند که نمی توانند با گرید های مستطیلی مدل شوند مثل شبکه های حسگر بی سیم، سیستمهای ایمنی مصنوعی، کاربردهای مربوط به گراف و یک ICLA به صورت یک گراف بدون جهت تعریف می گردد که هر گره گراف یک سلول را مشخص می کند که به یک آوتوماتای یادگیر مجهز است. آوتوماتای یادگیر در واقع یک سلول شخص، وضعیتش را بر اساس بردار احتمالات اعمالش تعیین می کند.

نودی که نسبت به تمام نودهای مجاورش بیشترین تعداد همسایه را دارا باشد خودش را به عنوان سرخوشه انتخاب کرده و به اطلاع هسایگانش نیز می رساند. نودهایی که در این مرحله به عنوان سرخوشه انتخاب می گردند یا در همسایگی نود سرخوشه ای قرار دارند، وارد مراحل یادگیری بعدی نمی شوند و وضعیت انها پایدار می گردد.

مرحله ۲

در این مرحله نودهایی که در مرحله قبل وضعیتشان مشخص نشده است با استفاده از تکنیک آتماتاهای یادگیرسلولی نامنظم (ICLA) وضعیتشان را تعیین می نمایند. جهت استفاده از این تکنیک متناظر با شبکه حسگریک آتماتاهای یادگیرسلولی نامنظم در نظر می گیریم که هر نودی در شبکه که در مرحله قبل به وضعیت پایدار نرسیده است، معادل است با یک سلول در ICLA. دو سلول در ICLA در صورتی همسایه اند که فاصله نودهای متناظر کمتر از برد ارتباطی باشد. آتماتای متناظرهای نود می توانند یکی از دو الفبای CN، CH را براساس بردار احتمالات انتخاب نمایند که انتخاب CN معادل با سرخوشه شدن نود و انتخاب CH معادل با معمولی در نظر گرفته شدن نود می باشد. در هر دور آتماتای هر نود بر اساس احتمال مناسب به هریک از اعمالش ، یکی را به طور تصادفی انتخاب می کند. با هر انتخاب میزان احتمال سرخوشه شدن نود براساس پارامترهای مختلف کاهش یا افزایش می یابد. پارامترهایی که جهت خوشه بندی در نظر گرفته می شوند، عبارتنداز: ۱) میزان انرژی نود. ۲) تعداد همسایه های نود. ۳) تعداد نودهای سرخوشه همسایه.

به طور کلی می توان پارامترهای مذکور را به دو دسته کلی تقسیم بندی نمود: پارامترهای مربوط به انرژی که سعی در انتخاب نودهای با انرژی بیشتر به عنوان سرخوشه دارند و پارامترهای مربوط به چگونگی و کیفیت زیر ساخت خوشه بندی که این پارامترها سعی در تشکیل تعداد مناسب خوشه ها و ایجاد خوشه های متوازی دارند. به جهت اینکه بتوان این دو دسته پارامترها را به میزان دلخواه در تشکیل خوشه ها شرکت داد، دو ضریب برای این دو دسته پارامترها در نظر گرفته ایم به گونه ای که مجموع این ضرایب برابر با یک می شود.

۴- خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم

با استفاده از آتماتاهای یادگیر سلولی

در این بخش قصد داریم یک روش خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم ارائه دهیم که از تکنیک آتماتاهای یادگیرسلولی استفاده می نماید.

در این روش ما فرض می کنیم که تمام نودهای شبکه

حسگر یکسانند و هر نود شبکه دو حالت می تواند داشته باشد: ۱) نود سرخوشه CH ۲) نود معمولی CN

میزان مصرف انرژی در حالت سرخوشه نسبت به حالت معمولی بالاتر می باشد. در روش پیشنهادی معیارهای اصلی که مد نظر قرار می گیرند عبارتند از:

۱) میزان انرژی مصرفی: بدین صورت که نودهای با انرژی بالاتر احتمال سرخوشه شدنشان بالاتر می رود. در ضمن خوشه های تولید شده اندازه متعادلی خواهند داشت.

۲) متصل بودن شبکه: جهت متصل بودن شبکه حسگر باید هر نود معمولی باید یک نود سرخوشه همسایه داشته باشد که بتواند داده هایش را بدان ارسال نماید.

الگوریتم پیشنهادی شامل دو فاز می باشد فاز خوشه بندی و فاز حالت پایدار که در فاز خوشه بندی با استفاده از تکنیک آتماتاهای یادگیر سلولی، نودهای حسگر یکی از حالت های سرخوشه یا معمولی را انتخاب می کنند و خوشه ها تشکیل شده و هر نوع معمولی سرخوشه خود را شناسایی می نماید. سپس فاز حالت پایدار شروع می گردد که در فاز حالت پایدار، نودهای معمولی براساس برنامه زمانبندی که سرخوشه برای آنها تعیین نموده است داده های جمع آوری شده را به سرخوشه ارسال می دارند و سرخوشه نیز اطلاعات را به نود سینک می فرستد. تشریح فازهای مختلف الگوریتم در ادامه آمده است:

• فاز خوشه بندی:

در این فاز خوشه ها باید شکل گیرند و نودهای سرخوشه مشخص شوند. تعیین نودهای سرخوشه در دو مرحله انجام می گیرد. این فاز خود شامل سه مرحله می باشد. که در ادامه این سه مرحله را شرح می دهیم:

مرحله ۱

در مرحله اول خوشه بندی هر نود در پیامی تعداد هسایگانش را اطلاع نودهای مجاور می رساند. سپس هر

این مرحله در چندین دور انجام می گیرد در هر دور هر نود حسگر براساس بردار احتمالاتش یکی از وضعیتهای سر خوش شدن و سر خوش نشدن را انتخاب می کند و یک پیام به صورت پخشی به تمام همسایگان ارسال می نماید که پیام حاوی عمل انتخابی نود ، میزان انرژی باقیمانده و تعداد همسایگانش می باشد. پس از مدت زمانی مشخص که تمام نودها پیامهای همسایگانشان را دریافت کردند.

هر نود به عمل انتخابی اش براساس روابط (۱) و (۲) پاداش یا جریمه می دهد و در حقیقت احتمال سر خوش شدن نود را افزایش یا کاهش می دهد و در دور بعد نودها براساس احتمال جدید حالت جدیدی را انتخاب نموده و عملیات تکرار می گردد.

هر نود که احتمال سر خوش شدنش به نزدیک صفر یا یک برسد. بر اساس بردار احتمال یک حالت را انتخاب می کند و به وضعیت پایدار می رسد. این الگوریتم به تعداد دفعات معینی ادامه می یابد. در این زمان تمام نودها حالتشان را انتخاب نموده و این مرحله به پایان می رسد.

مرحله ۳

پس از مشخص شدن وضعیت نودها و تعیین سر خوش ها در دو مرحله قبلی نوبت به شکل گیری خوش ها می رسد. در این مرحله نودهای سر خوش پیامهای حاوی موقعیت جغرافیایی شان را به نودهای همسایه به صورت پخشی ارسال می نمایند. سپس نودهای معمولی از بین همسایگان سر خوش نزدیکترین نود را به عنوان سر خوش انتخاب می نمایند. جهت ایجاد خوش هر نود معمولی یک بسته JOIN_PACKET به سر خوش اش ارسال می کند و نودهای سر خوش با جمع آوری این بسته ها اعضای خوش را شناسایی و خوش را شکل می دهند و سپس یک برنامه زمانبندی ایجاد نموده و با ارسال پخشی یک بسته زمانبندی (SCH_PACKET) به اعضای خوش ، زمان ارسال داده های هر عضو خوش را به آنها اعلام می دارند.

• فاز حالت پایدار

پس از فاز خوش بندی و تشکیل خوش ها، فاز حالت پایدار شروع می شود، در فاز حالت پایدار، نودهای معمولی به صورت تناوبی و با فواصل زمانی مشخص داده هایشان را به نودهای سر خوش ارسال می نمایند و نودهای سر خوش نیز داده ها را به نود سینک می

با توجه به پارامترهای ذکر شده، در بالا با انتخاب هر عمل توسط آtomاتای نود میزان احتمال انجام آن عمل تغییر می یابد. برای پاداش یا جریمه عمل انتخاب شده از روابط (۱) و (۲) استفاده می گردد. که a ضریب پاداش و b ضریب جریمه می باشد.

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \quad (1)$$

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

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n) \quad (2)$$

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

در هر دور هر نود پس از انتخاب یک عمل بر اساس روابط (۳) و (۴) سیگنال تقویتی β_i را محاسبه می نماید. اگر β_i برابر با یک شود عمل انتخابی با استفاده از رابطه (۲) جریمه می گردد. و اگر برابر با صفر شود طبق رابطه (۱) پاداش دریافت می کند.

اگر عمل انتخابی سر خوش شدن نود باشد ($\alpha_i(n) = 1$) مقدار (n) از رابطه (۴) بدست می اید:

$$\beta_i(n) = \begin{cases} 0 & : w_e \psi_i(n) + w_u (\lambda_i / 2 + \tau_i(n) / 2) > 0 \\ 1 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

به طوری که:

$$\psi_i(n) = \frac{|e_i(n) - e_\mu(n)|}{e_i(n) - e_\mu(n)} \quad \lambda_i = \frac{|N_i - N_\mu|}{N_i - N_\mu}$$

$e_i(n)$ میزان انرژی باقیمانده نود در دور n می باشد. $e_\mu(n)$ میانگین انرژی همسایگان نود، N_i تعداد همسایگان نود و N_μ میانگین تعداد همسایگان نودهای همسایه نود می باشد.

$$\tau_i(n) = \begin{cases} -1 & : \sum_{j=0}^N \alpha_j(n) > 0 \\ 1 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

$\alpha_j(n)$ عمل انتخابی نود j است.

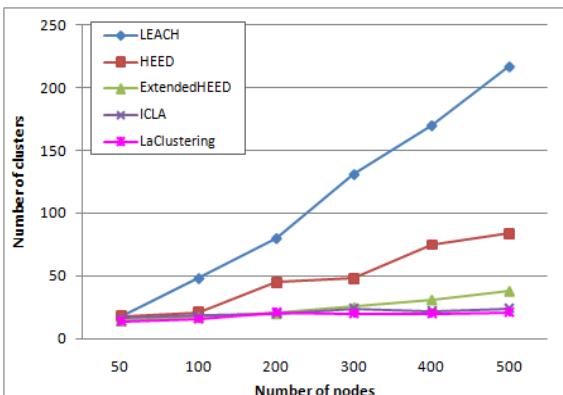
ضریب ثابت w_e میزان وزن اختصاص داده شده به پارامتر انرژی در الگوریتم خوش بندی است. و ضریب ثابت w_u میزان وزن اختصاص داده شده به پارامترهای مربوط به کیفیت زیر ساخت خوش بندی می باشد. اگر عمل انتخاب شده انتخاب نود به عنوان نود معمولی باشد ($\alpha_i(n) = 0$) مقدار (n) از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$\beta_i(n) = \begin{cases} 1 & : w_e \psi_i(n) + w_u (\lambda_i / 2 + \tau_i(n) / 2) > 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

آزمایش اول

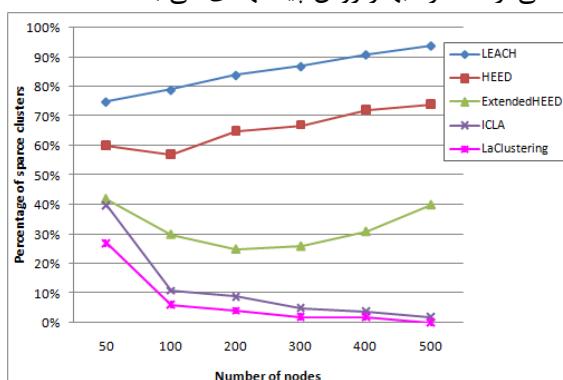
در آزمایش اول هدف مقایسه چگونگی و کیفیت زیر ساخت خوش بندی روش پیشنهادی با روش‌های مورد ارزیابی، می‌باشد. که این کیفیت بر اساس معیارهای تعداد سرخوشه‌ها، درصد خوش‌های خالی، و نسبت میانگین سطح انرژی سرخوشه‌ها به میانگین سطح انرژی اعضا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

نتایج این دسته از آزمایشات در اشکال ۵ تا ۸ نمایش داده شده است. شکل ۵ تعداد سرخوشه‌های ایجاد شده در روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های مورد مقایسه را با تعداد نودهای مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد تعداد نودهای سرخوشه ایجاد شده در روش پیشنهادی نسبت به بقیه روش‌ها کمتر می‌باشد و تقریباً برابر با روش ICLA می‌باشد.



شکل ۵: مقایسه تعداد خوش‌های ایجاد شده در روش‌های مختلف

شکل ۶ درصد خوش‌های خالی ایجاد شده و شکل ۷ نسبت میانگین انرژی سرخوشه‌ها نسبت به میانگین انرژی نودهای معمولی در روش خوش بندی پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهند. که نتایج حاکی از عملکرد بهتر روش پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۶: مقایسه درصد خوش‌های خالی ایجاد شده در روش‌های مختلف خوش بندی

فرستند. جهت جلوگیری از تداخل در ارسال داده‌ها، نودهای عضو خوش از یک برنامه زمانبندی جهت ارسال داده‌ها استفاده می‌کنند. نودهای سر خوش انرژی بیشتری از بقیه نودها مصرف می‌کنند و سرعت از بین رفته و شبکه مختل می‌گردد. جهت جلوگیری از بوجود آمدن این مشکل، ما از تغییر نودهای سرخوشه در یک خوش استفاده می‌کنیم. بدین صورت که هر گاه مقدار انرژی باقیمانده نود سر خوش، از مقدار انرژی نودهای خوش بیش از یک حد آستانه بیشتر باشد، سر خوش بودن را به نودی که بیشترین انرژی را دارد است، واگذار می‌کنند.

۵- شبیه سازی

در این بخش کارایی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از آزمایشات مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جهت انجام آزمایشات از نرم افزار شبیه ساز شبکه J-Sim استفاده شده است.

در این آزمایشات نتایج حاصل از عملکرد الگوریتم خوش بندی پیشنهادی را با الگوریتم‌های خوش بندی Extended HEED، LEACH و HEED مقایسه می‌کنیم. این الگوریتم مبتنی بر اتوماتاهاست یادگیر ارائه شده در [13] (ICLA) مقایسه نموده ایم.

در شبیه سازی انجام شده محیط حسگری 100×100 متر در نظر گرفته شده است و فرض گردیده است برد رادیویی حسگرها ۲۰ متر می‌باشد. در ضمن انرژی اولیه هریک از نودهای حسگر به صورت تصادفی از بازه [2, 1.8] انتخاب می‌گردد. آزمایشات برای تعداد گرهای حسگر N برابر با $100, 50, 400, 300, 200$ انجام گرفته است و هر آزمایش برای هر تعداد حسگر ۱۰ بار تکرار گردیده است و نتایج حاصل میانگین نتایج در ۱۰ اجرا می‌باشد. مقادیر W_e و W_u را برابر با ۰.۵ و مقادیر a و b را برابر ۰.۱ در نظر گرفته ایم.

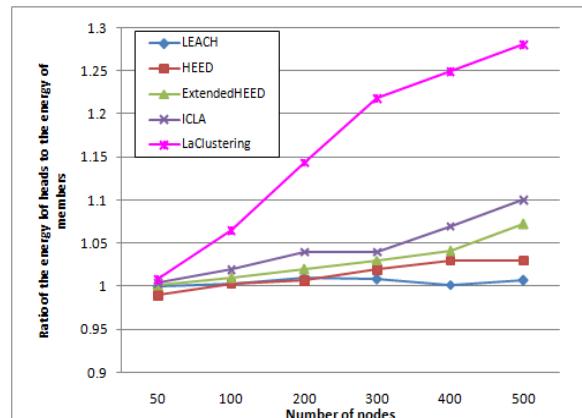
جهت مقایسه عملکرد الگوریتم معیارهای متفاوتی مد نظر قرار گرفته شده اند. معیارهای مورد نظر عبارتند از ۱) تعداد خوش‌ها ۲) درصد خوش‌های ۳) نسبت سطح انرژی میانگین سرخوشه‌ها به سطح انرژی میانگین اعضا ۴) طول عمر شبکه.

به منظور ارزیابی این دو دسته معیارها، دو نوع آزمایش انجام گرفته است که در ادامه شرح می‌دهیم.

متوازنتری ایجاد نموده و طول عمر شبکه را افزایش می دهد.

مراجع

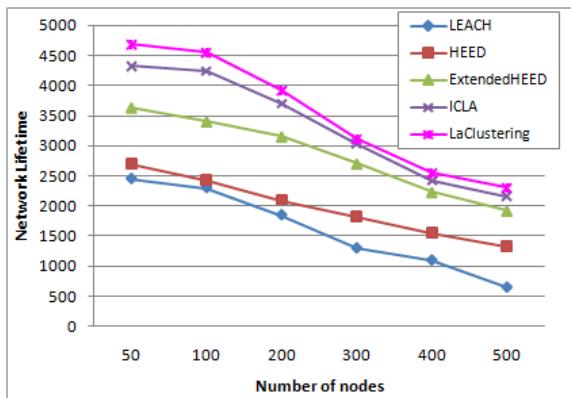
- [1] S. Basagni, "Distributed Clustering Algorithm for Ad-hoc Networks," in International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks (I-SPAN), ۱۹۹۹.
- [2] S. Banerjee and S. Khuller, "A Clustering Scheme for Hierarchical Control in Multi-hop Wireless Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM, April ۲۰۰۱.
- [3] M. Gerla and T. J. Kwon, "On Demand Routing in Large Ad Hoc Wireless Networks" WCNC, ۲۰۰۰.
- [4] C. R. Lin and M. Gerla, "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks," in IEEE J. Select. Areas Commun., September ۱۹۹۷.
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. ۱, no. ۴, pp. ۶۶۰ - ۶۷۰ , October ۲۰۰۲.
- [6] S. Bandyopadhyay and E. Coyle, "An Energy-Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEEE INFOCOM, April ۲۰۰۳.
- [7] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks," in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), August ۱۹۹۹.
- [8] H. Chan and A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform ClusterFormation," in Proceedings of the First European Workshop on Sensor Networks(EWSN), January ۲۰۰۴.
- [9] V. Mhatre and C. Rosenberg, "Design Guidelines for Wireless Sensor Networks Communication: Clustering and Aggregation," Ad-hoc Networks Journal, ۲۰۰۴.
- [10] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach", In Proc. of IEEE INFOCOM, March ۲۰۰۴ .
- [11] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," ACM Wireless Networks, vol. ۸ , no. ۲-۳ , pp. ۱۶۹ - ۱۸۵ , ۲۰۰۲.
- [12] Farajzadeh, N. and Meybodi, M. R., "Learning Automata-based Clustering Algorithm for Sensor Networks", Proceedings of ۱۲ th Annual CSI Computer Conference of Iran, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, pp. ۷۸۰-۷۸۷ , Feb. ۲۰-۲۲ , ۲۰۰۷.
- [13] Esnaashari, M. and Meybodi, M. R., "A Cellular Learning Automata based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Sensor Letters, ۲۰۰۸.



شکل ۷. مقایسه نرخ میانگین انرژی سروشها نسبت به میانگین انرژی نودهای معمولی

آزمایش دوم

در آزمایش شماره ۲ طول عمر شبکه که یکی از معیارهای اصلی کیفیت سرویس در شبکه های حسگر است مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی در شکل ۸ نشان داده شده است. مشاهده می گردد که طول عمر شبکه در حالتی که از الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است بیشتر از طول عمر شبکه در استفاده از الگوریتمهای مورد مقایسه می باشد.



شکل ۸. مقایسه طول عمر شبکه در روش‌های مختلف خوشبندی

۶- جمع بندی

در این مقاله جهت افزایش طول عمر شبکه های حسگر بی سیم که یکی از پارامترهای اصلی کیفیت سرویس در شبکه های حسگر می باشد، روشی برای خوشبندی نودها در شبکه های حسگر بر اساس ICLA ارائه گردید. در این روش خوشبندی، ما پارامترهای مختلفی مثل توازن اندازه خوشبندی، انرژی خوشبندی و ... را مد نظر قرار دادیم. نتایج آزمایشات نشان داد که روش ارائه شده نسبت به دیگر روش‌های خوشبندی، خوشبندی