

## خوشه بندی گره‌ها در شبکه‌های سنسور بی سیم با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محسن طلوع هنری<sup>1,2</sup>، فرزاد تشتیریان<sup>3</sup>، جلیل چیتی‌زاده<sup>1</sup>، حبیب رجبی مشهدی<sup>1</sup>

1- گروه مهندسی برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

2- مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد

3- گروه کامپیوتر و IT دانشگاه آزاد قزوین

**چکیده** - مصرف بهینه انرژی در شبکه‌های سنسور بی سیم از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش‌های قبل نشان داده است که با سازماندهی گره‌های شبکه در تعدادی خوشه، می‌توان به کارایی بیشتری از انرژی رسید که به افزایش عمر شبکه منتهی می‌شود. خوشه‌ها هر کدام شامل یک گره اصلی به نام سرخوشه و تعدادی گره فرعی به عنوان عضو می‌باشند. ایجاد کنترل روی تعداد و مکان سرخوشه‌ها و همچنین اندازه خوشه‌ها از نظر تعداد اعضا همواره به عنوان یک چالش مطرح بوده است. طبیعت دینامیکی مسئله بخاطر تغییر پیاپی سرخوشه‌ها در هر دوره از فعالیت شبکه، مسئله را پیچیده‌تر می‌کند که با روش‌های کلاسیک ریاضی قابل مدل‌سازی نیست. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تعداد و محل سرخوشه‌ها را بطور بهینه تعیین می‌کنیم. معیار برازش بر اساس حداقل انرژی مصرف شده گره‌های شبکه در طی هر دوره عملیات ارسال داده خواهد بود که منجر به ایجاد تعادل در مصرف انرژی سرخوشه‌ها و در نتیجه طولانی‌تر شدن عمر شبکه می‌شود.

**کلید واژه** - شبکه‌های سنسور بی سیم، الگوریتم ژنتیک، خوشه‌بندی، تعادل انرژی، تعادل بار.

### 1- مقدمه

عمر شبکه شود، به شدت احساس می‌شود [1].

در سالهای اخیر، پیشرفت تکنولوژی مخابرات و صنعت قطعات الکترونیکی و الکترونیکی خرد، منجر به ساخت سنسورهایی کوچک و نسبتاً ارزان شده که از طریق یک شبکه بی سیم با یکدیگر در ارتباطند [1]. این شبکه‌ها که شبکه‌های سنسور بی سیم خوانده می‌شوند، به ابزار مناسبی برای استخراج داده از محیط اطراف و مانیتورینگ رویدادهای محیطی تبدیل شده‌اند و کاربردهای آنها در زمینه‌های خانگی، صنعتی و نظامی، روز به روز در حال افزایش است [2].

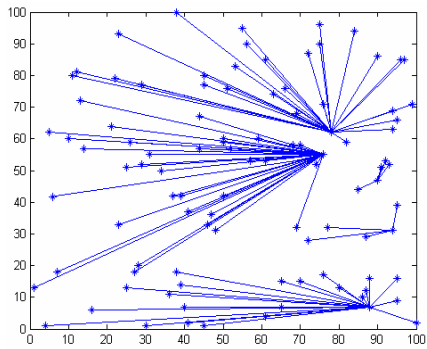
در طراحی شبکه‌های سنسور بی سیم مسئله اساسی، محدود بودن منبع انرژی سنسورهاست. از طرفی بخاطر وجود تعداد بسیار زیاد سنسور در شبکه و یا عدم امکان دسترسی به آنها، تعویض یا شارژ باتری سنسورها عملی نیست. به همین دلیل ارائه روش‌هایی جهت مصرف بهینه انرژی که در نهایت باعث افزایش

<sup>1</sup> Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

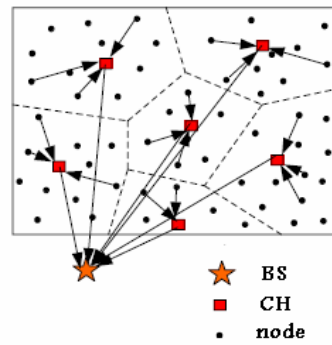
<sup>2</sup> Setup phase

<sup>3</sup> Steady state phase

<sup>4</sup> Single hop



شکل 2-انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها در LEACH



شکل 1: یک شبکه سنسور بی سیم با ساختار خوشه بندی شده و ارسال داده بصورت تک پرشی.

الگوریتم‌های خوشه‌بندی کارا در مصرف انرژی و متعادل کننده بار شبکه می‌باشد [4].

طبیعت دینامیکی مسئله بخاطر تغییر پیاپی سرخوشه‌ها در هر دوره از فعالیت شبکه، مسئله را پیچیده‌تر می‌کند که با روش‌های کلاسیک ریاضی قابل مدل‌سازی نیست. اینکه سرخوشه‌ها به چه تعداد و در کجا انتخاب شوند که بهترین کارایی مصرف انرژی را شبکه داشته باشد خود یک مسئله NP-hard می‌باشد. الگوریتم‌های متداول خوشه‌بندی در سایر مقالات عموماً از روش‌های ابتکاری بهره‌جسته‌اند که در هیچکدام از آنها پاسخ global دیده نمی‌شود.

از طرفی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل دینامیکی بسیار انعطاف پذیر است. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک، محل سرخوشه‌ها را به نحوی تعیین کنیم که حداقل مصرف انرژی را در شبکه داشته باشیم. معیار برازش بر اساس حداقل انرژی کم شده (مصرف شده) از گره‌های شبکه در طی هر نسل خواهد بود.

## 2- مدل سیستم و انرژی

شبکه مورد نظر دارای مشخصات زیر است:

- گره‌های سنسوری همگی یکسان بوده و در تمام شبکه و در یک ناحیه مربع شکل بطور یکنواخت توزیع شده‌اند.
- ایستگاه پایه در موقعیتی خارج از ناحیه مربع شکل و در فاصله دور قرار دارد. انتخاب موقعیت ایستگاه پایه

سرخوشه<sup>1</sup> انتخاب می‌شوند. داده جمع‌آوری شده از گره‌های عضو، قبل از ارسال به ایستگاه پایه<sup>2</sup> یا سینک، بطور محلی<sup>3</sup> در سرخوشه پردازش شده و داده افزونه<sup>4</sup> (در صورت وجود) از آن حذف می‌گردد و سپس در قالب یک بسته جدید به ایستگاه پایه ارسال خواهد شد. شکل 1 نمونه‌ای از یک شبکه سنسوری بی‌سیم را با ارسال تک گامی داده از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه نشان می‌دهد.

از آنجا که انرژی مصرفی سرخوشه‌ها بیشتر از گره‌های معمولی است، پس از مدتی انرژی‌شان تمام می‌شود. لذا در LEACH استفاده از خوشه‌بندی پویا<sup>5</sup> مطرح شده است. بدین معنی که پس از هر دوره عملیات ارسال و دریافت، به عبارت دیگر پس از هر بار اجرای فاز راه‌اندازی، سرخوشه‌ها عوض شده و گره دیگری بطور تصادفی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. اما انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها ممکن است به توزیع نامناسب آنها در شبکه منتهی شود. بدین معنی که در قسمتی از ناحیه تحت پوشش، دو یا چند سرخوشه تجمع کنند در حالی که در منطقه‌ای دیگر هیچ سرخوشه‌ای وجود نداشته باشد شکل 2.

### 1-1- صورت مسئله

ایجاد کنترل روی تعداد و مکان سرخوشه‌ها و همچنین اندازه خوشه‌ها از نظر تعداد اعضا همواره به عنوان یک چالش مطرح بوده است و حل این مسئله نیازمند

<sup>1</sup> Cluster Head  
<sup>2</sup> Base station  
<sup>3</sup> Local  
<sup>4</sup> Redundant  
<sup>5</sup> Dynamic Clustering

<sup>6</sup> Heuristic

بستگی به کاربرد دارد [5]

### 3- الگوریتم ارائه شده

#### 3-1- فاز راه‌اندازی

استفاده از الگوریتم‌های متمرکز در کاربردهای شبکه-های سنسور بی سیم کمک می‌کند تا بتوان الگوریتم-های هوشمند یا غیر هوشمند بهینه را در شبکه استفاده کرد و پارامترهای آنها را بطور تطبیقی در حین اجرا، تغییر داد. در این مقاله فرض بر اینست که کلیه عملیات تشکیل و مدیریت خوشه‌ها در ایستگاه پایه انجام می‌گیرد. ایستگاه پایه به عنوان یک مرکز پردازنده قدرتمند و با انرژی نامحدود، قادر است پس از دریافت اطلاعات انرژی و همچنین موقعیت گره‌های شبکه، آنها را در خوشه‌های متوازن از نظر مصرف انرژی کل، دسته‌بندی کند. هدف اینست که ساختار بوجود آمده از گره‌ها و تعدادی سرخوشه، طوری در سطح شبکه توزیع شده باشند که مصرف انرژی کل شبکه مینیمم شود.

#### 3-2- فاز حالت دائمی

پس از تشکیل خوشه‌ها گره‌های دیگر سرخوشه‌های خود را می‌شناسند و داده خود را طبق برنامه زمانبندی TDMA<sup>1</sup> که سرخوشه‌ها آنها تعیین و برای آنها ارسال کرده، به آن ارسال می‌کنند. به هر بار اجرای فاز راه‌اندازی و حالت دائمی یک دوره<sup>2</sup> گویند. در پایان هر دوره عملیات خوشه‌بندی مجدداً انجام می‌شود و گره-های جدیدی برای نقش سرخوشه بودن انتخاب می-شوند [1].

#### 3-3- جزئیات الگوریتم

همانطور که گفته شد فرض بر اینست که کلیه عملیات خوشه‌بندی درون ایستگاه پایه انجام می‌شود و سپس نتیجه آن به کل شبکه ارسال می‌گردد. در ایستگاه پایه طراح شبکه می‌تواند تعداد سرخوشه‌های لازم را تعیین کند؛ این تعداد طول کروموزم را مشخص می‌نماید. هر کدام از ژنهای این کروموزم، شناسه تعدادی از گره‌های

• کانال مخابراتی متقارن و مدل چند مسیری فرض می‌شود.

• گره‌ها قادرند توان ارسال خود را با توجه به فاصله خود تا گیرنده مورد نظر، تنظیم کنند. برای حصول اطمینان از پیوستگی شبکه ضروری است [6].

• گره‌ها همگی دارای انرژی و توانایی یکسان هستند.

• موقعیت و شناسه تمام گره‌ها برای ایستگاه پایه معلوم است.

هابنزلمدلی برای مصرف انرژی به صورت زیر ارائه کرده است [7]. هر گره برای ارسال  $l$  بیت داده به فاصله  $d$  از خود به اندازه  $E_s$  انرژی مصرف می‌کند که این از رابطه  $l$  بدست می‌آید:

$$E_s = \begin{cases} lE_{elect} + l\varepsilon_{fs}d^2 & d < d_{co} \\ lE_{elect} + l\varepsilon_{mp}d^4 & d \geq d_{co} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن  $E_{elect}$  انرژی لازم برای فعال‌سازی مدارات الکترونیکی فرستنده است.  $d_{co}$ ، یک حد آستانه است.  $\varepsilon_{fs}$  و  $\varepsilon_{mp}$  انرژی فعال‌سازی تقویت کننده توان برای دو وضعیت چند مسیره و فضای باز است. در صورت بیشتر بودن فاصله از آستانه  $d_{co}$  با تنظیم تقویت کننده توان، فرستنده از مدل چند مسیره می‌توان استفاده نمود؛ در غیر این صورت از مدل فضای باز برای کانال استفاده می‌شود.

همچنین مقداری انرژی برای دریافت این  $l$  بیت، در گره گیرنده صرف می‌شود:

$$E_r = lE_{elect} \quad (2)$$

فرض بر اینست که در هر دوره، یک سرخوشه از هر کدام از گره‌های خوشه خود، تنها یک بسته دریافت می‌کند. پس از دریافت همه بسته‌ها، اطلاعات مفید آنها را در قالب یک بسته واحد به ایستگاه پایه و بصورت تک گامی گزارش می‌دهد.

<sup>1</sup> Time Division Multiple Access

<sup>2</sup> Rounds

شوند که نرخ انرژی مصرفی شبکه را کاهش داده باشند. بر اساس چرخ رولت، احتمال انتخاب شدن کروموزمی که این نرخ را بیشتر کاهش داده باشد، از بقیه بیشتر خواهد بود.

بقیه مراحل الگوریتم از قبیل ایجاد خوشه، برنامه زمانبندی و ارسال داده مطابق با الگوریتم LEACH فرض شده است.

#### 4- شبیه سازی و نتایج

الگوریتم ارائه شده و پروتکل LEACH را با استفاده از نرم افزار MATLAB شبیه سازی کرده ایم. مقادیر در نظر گرفته شده در این شبیه سازی در جدول 1 آورده شده است.

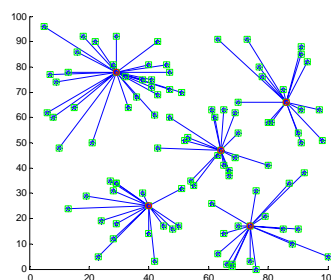
جدول 1- پارامترهای شبیه سازی

سایز شبکه	100 m
تعداد گره (N)	100
انرژی اولیه	0.1J
$E_{elect}$	50 nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$d_{crossover} = d_{co}$	87 m
$E_{DA}$	5 nJ/bit/signal
اندازه بسته ها	4000 bits

جدول 2 پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد. طول هر کروموزم (تعداد سرخوشه ها) را می توان بطور دلخواه قرار داد، چرا که در نهایت در پاسخ الگوریتم، کروموزمی با ژنهای تکراری بدست خواهد آمد که برای ما فقط همان ژن و به عبارت دیگر ID گره مهم است. مقدار Iteration نیز به عنوان شرط توقف الگوریتم استفاده می شود.

جدول 2-مقادیر الگوریتم ژنتیک

جمعیت اولیه	100
طول هر کروموزم	5
نرخ crossover	0.5
نرخ mutation	0.02
Iterations	100



شکل 3: یک نمونه از پاسخ های الگوریتم با خوشه های تشکیل شده

شبکه است که انرژی آنها از میانگین انرژی شبکه بیشتر است. به یاد آوریم که ایستگاه پایه از انرژی تک تک گره ها با خبر است و لذا می تواند میانگین انرژی شبکه را محاسبه کند. ساختار کروموزم را به این صورت تعریف می کنیم:

$$chrom = \{g_i | i = 1, 2, \dots, L\} \quad (3)$$

که در آن،  $L$  طول کروموزم و  $g_i$  ژن  $i$ ام می باشد. در این مقاله برای هر کروموزم از کدینگ حقیقی و پیوسته استفاده شده است. بنابراین فضای ژنها را می توان بصورت زیر تعریف نمود:

$$g_i = S.ID \quad ID = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

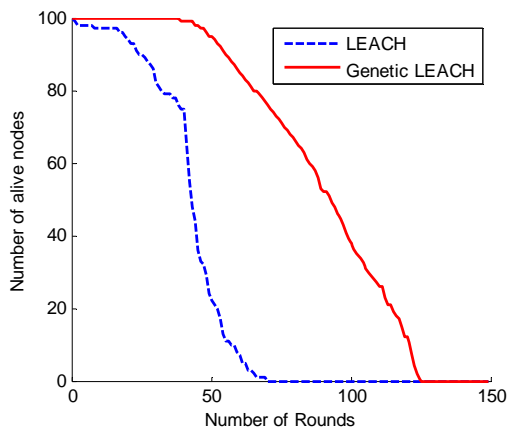
where:  $S.residualEnergy \geq E_{mean}$

که  $S.ID$  و  $S.residualEnergy$  به ترتیب بیانگر شناسه و انرژی باقیمانده گره هستند.  $N$  تعداد کل گره ها است و  $E_{mean}$  میانگین انرژی شبکه است.

پس از انجام عملیات Crossover و mutation، ایستگاه پایه کروموزمی را که کمترین مقدار تابع برازندگی یا به عبارت دیگر کمترین اختلاف انرژی شبکه با دوره قبل را ایجاد کند، انتخاب و نودهای موجود در آن را به عنوان سرخوشه به شبکه معرفی می کند. اگر انرژی کنونی شبکه را در دوره  $k$ ام، با  $E_{Network}^k$  نمایش دهیم تابع برازندگی مقدار زیر است که می بایست مینیمم شود:

$$fitness = |E_{Network}^k - E_{Network}^{k-1}| \quad (3)$$

که در این رابطه علامت  $| |$  بیانگر قدرمطلق است. کروموزم های نسل جدید، از بین آنهایی انتخاب می-



شکل 5: مقایسه تعداد سنسورهای زنده در شبکه

الگوریتم ژنتیک در انتخاب سرخوشه‌ها و با در نظر گرفتن "کمترین اختلاف انرژی در مقایسه با مرحله قبل" به عنوان تابع برازندگی، انرژی موجود در گره‌ها به صورت یکنواخت تری مصرف می‌شود و این باعث افزایش طول عمر شبکه سنسوری می‌گردد.

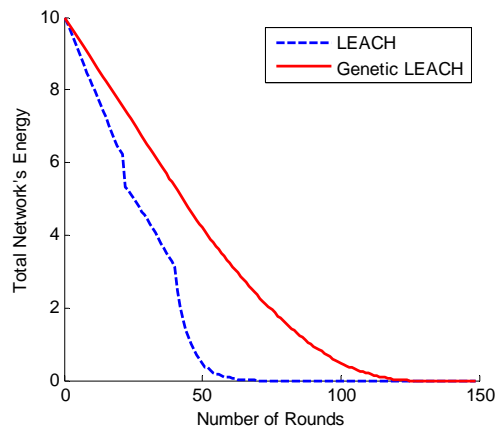
## 5- نتیجه‌گیری

مصرف بهینه انرژی در شبکه‌های سنسور بی‌سیم از اهمیت زیادی برخوردار است، به طوری که مصرف بهینه انرژی به افزایش عمر شبکه منتهی می‌شود.

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک که بصورت مرکزی در ایستگاه پایه اجرا می‌شود، محل سرخوشه‌ها را به نحوی تعیین کرده‌ایم که حداقل مصرف انرژی را در شبکه داشته باشیم. معیار برازش را بر اساس حداقل انرژی مصرف شده گره‌های شبکه در طی هر دوره عملیات ارسال داده در نظر گرفته‌ایم. در حقیقت انتخاب جمعیت نسل جدید با معیار "کمترین اختلاف انرژی شبکه" با دوره قبل صورت گرفته است. ایجاد تعادل و یکنواختی در مصرف انرژی گره‌ها و طولانی‌تر شدن عمر شبکه، دستاورد استفاده از الگوریتم ژنتیک در این پژوهش می‌باشد.

## مراجع

- [1] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.
- [2] I. Akyildiz and W. Su and Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE*



شکل 4: نرخ کاسته شدن انرژی شبکه در طول مدت عمر آن

شکل 3 یک نمونه از پاسخ‌های الگوریتم را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌کنیم توزیع سرخوشه‌ها نسبت به LEACH بسیار بهتر می‌باشد و سرخوشه‌ها بصورت یکنواخت در شبکه توزیع شده‌اند. در حالی که در LEACH احتمال تجمع سرخوشه‌ها و یا خالی ماندن ناحیه‌ای از سرخوشه وجود دارد.

در شکل 4 الگوریتم ارائه شده و LEACH را از نظر نرخ کاهش انرژی شبکه در طی 150 دوره ارسال و دریافت داده با یکدیگر مقایسه کرده‌ایم. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم ما نرخ کاسته شدن انرژی در شبکه را در مقایسه با LEACH، بسیار هموارتر و یکنواخت‌تر کرده‌است. کاهش غیریکنواخت انرژی شبکه در LEACH و عدم تعادل در مصرف انرژی سرخوشه‌ها باعث کاهش عمر مفید شبکه می‌شود.

بهبود عملکرد الگوریتم از نظر افزایش طول عمر شبکه سنسوری نسبت به LEACH در شکل 5 مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم ارائه شده زمان مرگ اولین گره را به صورت قابل توجهی در مقایسه با LEACH افزایش داده است. حتی اگر پس از مرگ اولین گره شبکه، بازهم به شبکه اجازه ادامه کار داده شود تا زمانی که تمامی گره‌های شبکه انرژی-شان تمام شود، ملاحظه می‌شود که پس از مرگ آخرین گره نیز، تعداد دوره‌های طی شده بازهم بیشتر است.

از دو شکل 4 و 5 مشخص می‌شود که با استفاده از

*Communications Magazine*, vol 40, Issue 8, pp. 102-114, 2002.

[3] O. Younis, M. Krunz and S. Ramasubramanian, "Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges", *Network, IEEE*, vol 20, Issue 3, pp. 20 – 25, May-June, 2006.

[4] H. Chen, H. Mineno, S. T. Mizuno, A Meta-Data-Based Data Aggregation Scheme in Clustering Wireless Sensor Networks, *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Data Management*, vol. 0, May 2006, pp. 154-154.

[5] Y.T. Hou; Y. Shi and H.D. Sherali, "Optimal base station selection for anycast routing in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, Issue 3, May 2006, pp. 813 – 821.

[6] W. Jia and J. Wang, "Analysis of connectivity for sensor networks using geometrical probability", *IEE Proceedings Communications*, vol. 153, Issue 2, 1 April 2006 pp.305 – 312.

[7] W. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Technol., Cambridge, 2000.