

بررسی پروتکل های مسیریابی سلسله مراتبی در شبکه های حسگر بیسیم و ارائه پروتکلی جدید

با ساختار خوشه بندی شده سلسله مراتبی



علی اکبر پویان^۱

غزاله سرایی^۲

۱- دکترای تخصصی کامپیوتر، هیأت علمی دانشگاه شاهرود

۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز

Ghazale_saraee@yahoo.com

ارائه دهنده: غزاله سرایی

خلاصه

شبکه حسگر بیسیم^۱، شامل تعداد زیادی دستگاه بسیار کوچک بنام گره های حسگر است که شرایط محیط خود را اندازه گیری می کنند. وظیفه آنها، جمع آوری داده و تبدیل آن به یک سیگنال الکترونیکی و انتشار سیگنال جهت پردازش به گره سینک^۲ یا ایستگاه مبنا^۳ (مستقیم یا با استفاده از گره های دیگر) از طریق رسانه های ارتباطی بیسیم قابل اطمینان است. در مقابل مزایای زیاد، این شبکه ها محدودیتهایی دارند. در بسیاری از کاربردها امکان شارژ مجدد باتری مورد استفاده این حسگرها وجود ندارد. در نتیجه مصرف توان کمتر باعث بهبود طول عمر آنها می شود. بنابراین یکی از مسائل مهم در این شبکه ها کاهش مصرف انرژی شبکه به منظور افزایش طول عمر خواهد بود. بین پروتکل های مختلف مسیریابی این شبکه ها، پروتکل های سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه بندی) تا حد زیادی در انرژی مصرفی صرفه جویی می کنند. ما نیز در این مقاله سعی در بیان روشی برای کاهش مصرف انرژی حسگرهای این شبکه ها نموده ایم.

کلمات کلیدی: حسگر، خوشه بندی، سینک، مسیریابی، انرژی

۱. مقدمه

هر گره حسگر، شامل واحدهای اصلی حس کننده^۴، پردازش داده ها^۵، فرستنده (گیرنده) بیسیم^۶ و منبع تغذیه^۷ می باشد. بخش های اضافی، همچون واحد متحرک ساز^۸، سیستم مکان یاب^۹ و تولید توان^{۱۰} نیز ممکن است بسته به کاربرد در گره ها وجود داشته باشد. [۱] [۲] این شبکه ها کاربردی از جمله نظامی، بهداشت، محیط، صنعت، سرگرمی، زندگی دیجیتال، ایجاد امنیت، کنترل ترافیک، و ... دارند. [۳]

¹ Wireless Sensor Network

² Sink

³ Base Station

⁴ Sensing unit

⁵ Processing Unit

⁶ Transmission Unit

⁷ Power Unit

⁸ Mobilizer

⁹ Position Finding System

¹⁰ Power Generator

مکان قرارگرفتن گره‌های حسگری، لزوماً از قبل مشخص نیست بلکه بصورت تصادفی در محیط پخش می شوند. در نتیجه می توانیم آنها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس رها کنیم. ولی بخاطر همین قابلیت، معمولاً شارژ مجدد یا تعویض گره‌های مرده (به دلیل اتمام منبع انرژی) امکان پذیر نمی باشد. مسیریابی این شبکه ها به چهار دسته کلی مسطح، خوشه بندی شده، مبتنی بر مکان و بر مبنای کیفیت سرویس تقسیم می شود. پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه بندی از طریق تقسیم گره‌های همسایه به خوشه‌های مجزا و انتخاب سرخوشه‌ها، بهترین کارایی را از لحاظ افزایش طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای در مقایسه با سایر روش‌های مسیریابی بدست می آورند. بعلاوه با ترکیب داده های ارسالی به ایستگاه پایه، داده های زاید نیز حذف می گردند.

۲. مروری بر کارهای انجام گرفته

مهم ترین و معروف ترین پروتکل خوشه بندی شده، LEACH^{۱۱} نام دارد. در ابتدا یک گره با احتمال P تصمیم می گیرد که CH شود. پس از آن، همه CHها یک پیام اعلانی به دیگر گره ها، پخش فراگیر می کنند و هر گره (که CH نیست) خوشه ای را که می خواهد عضو آن باشد، بگونه ای انتخاب می کند که با کمترین انرژی، با CH آن ارتباط برقرار کند؛ در این پروتکل زمان به قسمتهایی به نام دور و هر دور به دو فاز تقسیم می شود. فاز اول، راه اندازی (Set up) نام دارد که فاز تشکیل خوشه هاست و فاز دوم مربوط به عملکرد عادی شبکه است که حالت پایدار (Steady-State) نام دارد. در فاز اول هر گره، عدد تصادفی بین ۰ و ۱ انتخاب می کند که اگر کمتر از T(n) باشد، آن گره بعنوان سرخوشه دور کنونی انتخاب می شود: [۴] [۵]

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P(r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ \text{Other wise} & 0 \end{cases} \quad (1)$$

P احتمال سرخوشه شدن، r شماره دور جاری و G مجموعه گره‌هایی است که در 1/p دور اخیر، سرخوشه نبوده اند. در فاز دوم هر حسگر، داده خود را در برش زمانی خودش می فرستد و CH اطلاعات حسگرهای خوشه اش را ترکیب و به ایستگاه پایه میفرستد. نقص های LEACH: [۶]

- کنترلی روی اندازه خوشه نیست.
- مکان حسگرها به حساب آورده نمی شود.
- انرژی باقیمانده، مکان جغرافیایی و اطلاعات دیگر را نادیده می گیرد.
- فرض میکند گره‌ها همواره داده برای ارسال دارند.
- فرض می کند که همه گره‌ها در هر دور انتخاب، با میزان ظرفیت انرژی برابری شروع می شوند با این فرض که سرخوشه تقریباً به اندازه گره‌های دیگر انرژی مصرف می کند.
- سرخوشه ها باید مستقیماً داده های خوشه را به ایستگاه پایه ارسال کنند.

یک نکته ی مهم در طراحی شبکه های حسگر بی سیم، متوازن کردن بار انرژی بین گره هاست و یکی از عوامل مهمی که باعث عدم توازن سطح انرژی گره ها می شود، فاصله ی متفاوت گره ها از ایستگاه پایه (مقصد داده ی آن ها) است. اما پروتکل‌های مبتنی بر خوشه بندی از قبیل LEACH و PEGASIS [۷] و TEEN [۸] و APTEEN [۹]، یا بطور کلی تأثیر پارامتر فاصله را در اختلاف سطح انرژی حسگرها در نظر نمی گیرند و یا با بکار بردن روش های کنترل مرکزی برای جلوگیری از ایجاد اختلاف زیاد بین سطح انرژی گره ها، علاوه بر تحمیل تاخیر زیاد به شبکه، مقیاس پذیری شبکه را نقض می کنند. در نتیجه، طراحی پروتکل‌های ارتباطی کارا در مصرف انرژی که بدون نقض مقیاس پذیری شبکه مانع از ایجاد اختلاف زیاد بین سطح انرژی گره های مختلف می شوند، برای افزایش طول عمر شبکه لازم است.

برای نمونه، چند پروتکل که LEACH را بهبود بخشیده اند، در اینجا ذکر می کنیم.

پروتکل Energy-LEACH [۱۰] روند انتخاب سرخوشه را بهبود می بخشد. در اولین راند ارتباطی، هر نود احتمال یکسانی دارد که سرخوشه شود. n نود (n=p*N) بطور تصادفی بعنوان سرخوشه انتخاب میشوند و سپس n نود با انرژی باقیمانده بیشتر بعنوان سرخوشه راندهای انتخاب می شوند. پروتکل ERA [۱۱] دقیقاً مشابه با LEACH تعدادی از گره ها را در هر دوره بعنوان سرگروه خوشه انتخاب خواهد کرد. بعد از آنکه سرگروه ها انتخاب شدند، هر سرگروه تخمینی از انرژی باقیمانده اش برای انتقال داده به ایستگاه پایه را با استفاده از رابطه زیر بدست خواهد آورد.

$$(E_{CH-res})_i = (E_{CH-rem})_i - (E_{to-Bs})_i \quad i \in S_C \quad (2)$$

¹¹ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

S_C : سرخوشه ها، $(E_{CH-rem})_i$ انرژی باقیمانده سرگروه i ام در دوره جاری و $(E_{to-BS})_i$ انرژی لازم برای انتقال داده از سرگروه i ام به ایستگاه پایه . سپس هر سرگروه انرژی باقیمانده تخمینی اش را همراه اعلان سرگروه بودنش برای بقیه گره ها می فرستد. مرحله بعد، هر گره عادی نیز تخمینی از انرژی باقیمانده اش برای فرستادن بسته به تک تک سرگروه های موجود طبق رابطه زیر می زند.

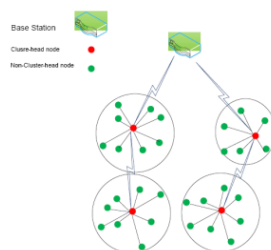
$$(E_{non-CH-res})_j = (E_{non-CH-rem})_j - (E_{toCH})_{ji} \quad j \in S_N, \quad \forall i \in S_C \quad (3)$$

S_N گره های عادی شبکه، $(E_{non-CH-rem})_j$ انرژی باقیمانده گره عادی j ام در دوره جاری و $(E_{toCH})_{ji}$ انرژی لازم برای برقراری ارتباط

بین گره عادی j ام تا سرگروه i ام. سرانجام هر گره عادی، گرهی را بعنوان سرگروه خود انتخاب میکند که رابطه زیر را ماکزیمم کند:

$$Max (E_{CH-res})_i + (E_{non-CH-res})_j \quad \forall i \in S_C, j \in S_N \quad (4)$$

پروتکل LEACH-F^{۱۲} [۱۲] پیشرفت دیگری روی LEACH است که بر مبنای خوشه هایی است که یک بار تشکیل می شوند و دیگر ثابتند. سپس مکان سرخوشه بین نودهای خوشه می چرخد. مزیت این کار، این است که یکبار که خوشه ها تشکیل می شوند، سربار راه اندازی در شروع هر راند ندارد. برای تصمیم گیری برای خوشه ها، این الگوریتم از همان الگوریتم تشکیل خوشه متمرکز مثل LEACH-C استفاده می کند. زمانیکه فاصله بین سرخوشه و ایستگاه پایه بسیار افزایش می یابد، برای پروتکل های مسیریابی LEACH که در آن ایستگاه پایه با سرخوشه حالت تک گامی دارد مناسب نیست. از این رو مصرف انرژی سرخوشه، قابل تحمل نیست. پس LEACH چندگامی^{۱۳} معرفی شد. در LEACH چندگامی، برخی نودها، خود را بعنوان سرخوشه ها انتخاب می کنند و سایر نودها خود را با سرخوشه انتخاب شده مرتبط می کنند. [۱۳] در فاز steady state، سرخوشه داده را از نودها بصورت تک گامی^{۱۴} دریافت و ترکیب می نماید و مستقیماً یا از طریق سرخوشه میانی، به sink میفرستد (ارتباطات درون خوشه ای^{۱۵}) (شکل ۱). سپس در ارتباطات بین خوشه ای^{۱۶} وقتی که فاصله بین سرخوشه و ایستگاه پایه زیاد است، سرخوشه از سرخوشه میانی استفاده می کند برای اینکه با ایستگاه پایه ارتباط برقرار کند.



شکل ۱ - LEACH چند گامی

در پروتکل EEPSC^{۱۷} [۱۴]، در فاز راه اندازی، ایستگاه پایه K-1 پیام با قدرت ارسالی مختلف می فرستد (k تعداد بهینه خوشه هاست). بعد از شنیدن این پیام ها، هر نودی ID خود را مطابق با پیامی که دریافت کرده تنظیم می کند و در آن خوشه قرار میگیرد. سپس ایستگاه پایه بطور تصادفی چند نود را بعنوان سرخوشه های موقت انتخاب میکند. در فاز انتخاب سرخوشه، همه نودها انرژی شان را به نود سرخوشه موقت می فرستند و این سرخوشه موقت ۶ نود با بیشترین انرژی را بعنوان سرخوشه، و نود با کمترین انرژی را بعنوان نود سرخوشه موقت برای راند بعدی، برمیگزیند.

۳. پیشنهاد

¹² LEACH with Fixed Cluster

¹³ Multi-hop LEACH

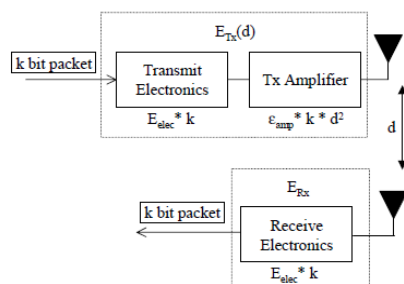
¹⁴ single-hop

¹⁵ intra-cluster

¹⁶ inter-cluster

¹⁷ Energy-Efficient Protocol with Static Clustering

در این بخش باید به گرفتن از کارهای پیشین که به آنها پرداختیم، و نیز با علم به این موضوع که خوشه بندی، در نظر گرفتن انرژی و فاصله ی نودها، و همچنین استفاده از ارتباط چندگامی، نتایج بهتری برای مسیریابی این شبکه ها نتیجه می دهد، مدل پیشنهادی خود را ارائه می دهیم. طبق مدل رادیویی ساده شکل ۲ [۱۵]، روابط زیر را داریم:



شکل ۲- مدل رادیویی

انرژی ارسال یک پیام k بیتی از طریق فاصله d :

$$E_{Tx} = k \cdot E_{elect} + E_{amp} \cdot k \cdot d^n \quad (5)$$

$$d < d_0 = 87.7 \rightarrow E_{amp} = E_{fs}, n=2 \quad (6)$$

$$d > d_0 = 87.7 \rightarrow E_{amp} = E_{mp}, n=4 \quad (7)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}} \quad (8)$$

انرژی مصرف شده برای دریافت:

$$E_{Rx} = E_{elect} \cdot k \quad (9)$$

E_{Tx} : انرژی لازم برای ارسال اطلاعات در فرستنده

E_{Rx} : انرژی لازم برای دریافت اطلاعات در گیرنده

E_{amp} : انرژی مصرف شده در تقویت کننده

E_{elec} : هزینه انرژی مدار به هنگام ارسال یا دریافت

k : تعداد بیت های داده فرستاده شده

d : فاصله بین یک نود و سرخوشه مربوطه اش یا فاصله یک سرخوشه و سرخوشه نزدیکتر به ایستگاه پایه، یا فاصله سرخوشه و ایستگاه پایه.

انرژی مصرف شده توسط سرخوشه:

$$E_{CH} = [kE_{elec}(N/K_{opt}-1)] + [kE_{DA}(N/K_{opt})] + [kE_{elec} + kE_{mp}d_{toBS \text{ or next CH}}^4] \quad (10)$$

N تعداد نودها و K_{opt} تعداد بهینه خوشه ها.

انرژی مصرف شده توسط غیر سرخوشه:

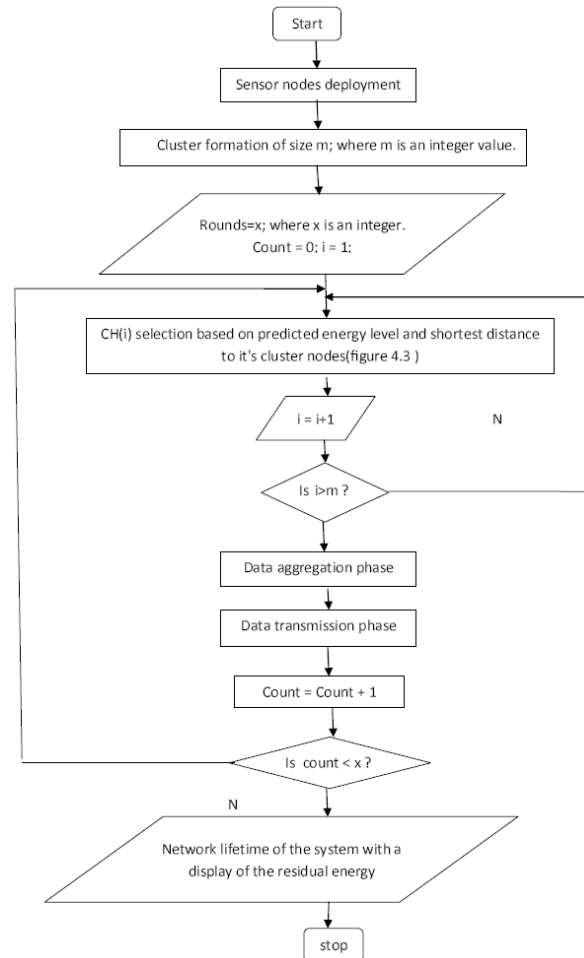
$$E_{non-CH} = kE_{elec} + kE_{fs}d_{toCH}^2 \quad (11)$$

ما پروتکل LEACH را برحسب ارسال داده سلسله مراتبی با بکارگیری تکنیک پیش بینی انرژی برای انتخاب سرخوشه بوسیله هر کوتاهترین مسیری تا ایستگاه پایه، تغییر داده ایم.

در مدل پیشنهادی، خوشه ها بطور جغرافیایی تشکیل می شوند و تا آخر ثابتند. مزیت این کار اینست که یکبار که خوشه ها تشکیل می شوند، سریار راه اندازی در شروع هر راند ندارد. تشکیل جغرافیایی اندازه های خوشه بر مبنای قطعه قطعه کردن فضای ناحیه است.

فاز انتخاب سرخوشه پس از فاز تشکیل خوشه جریان می یابد. انتخاب سرخوشه (ها) در هر راند، با انتخاب یک نود که انرژی ارسالی کمتری (تا ایستگاه پایه یا تا گام بعدی نزدیکتر به ایستگاه پایه) نیاز دارد انجام می شود. سرخوشه بین نودهای هر خوشه در هر راند ارسال می چرخد. یک

تخمین جدید انرژی بطور کامل در آغاز هر راند ارسال انجام می شود تا یک سرخوشه جدید را برای خوشه انتخاب کند و به موجب آن اتلاف انرژی تا حد مینیمم کاهش می یابد، و استفاده از انرژی هر نود ماکزیمم می شود تا طول عمر شبکه را افزایش دهد.



شکل ۳ - فلوچارت تکنیک مسیریابی سلسله مراتبی پیشنهادی

مراحل الگوریتم شکل ۳:

- ۱- تشکیل جغرافیایی خوشه
- ۲- انتخاب سرخوشه ها در هر خوشه تشکیل شده
- ۳- فاز جمع آوری داده از نودهای داخل خوشه
- ۴- فاز ارسال داده از نزدیک ترین سرخوشه (ها) به ایستگاه پایه.

بعلاوه، شکل ۴، فلوچارت انتخاب سرخوشه در تکنیک مسیریابی سلسله مراتبی پیشنهادی را نشان می دهد که در ۴ مرحله اصلی شرح داده می شود:

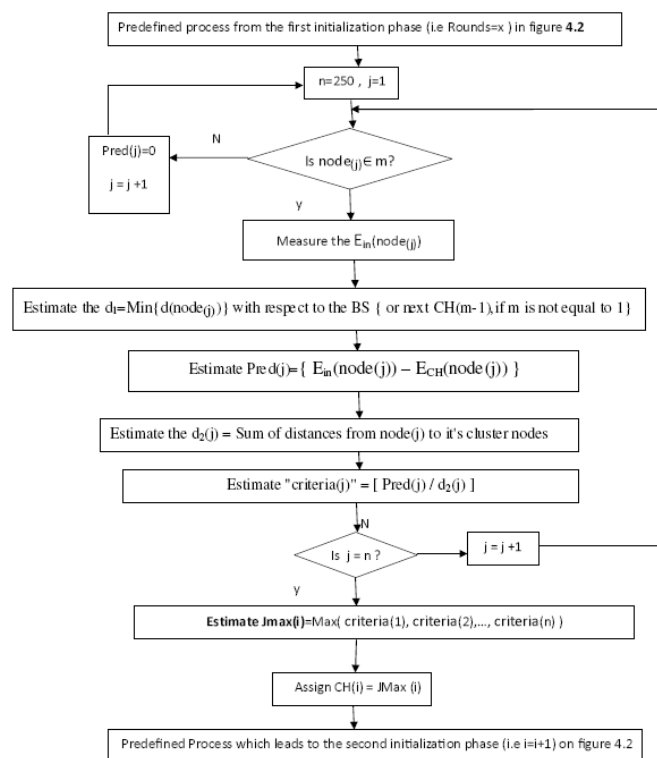
- ۱- انرژی ابتدایی نود $(E_{in}(n))$ اندازه گیری شده.
 - ۲- فاصله $d_1(n)$ از هر نود تا ایستگاه پایه یا سرخوشه سطح بالاتر اندازه گیری شده.
 - ۳- مجموع فواصل هر نود تا نودهای دیگر داخل خوشه اش یعنی $d_2(n)$ اندازه گیری می شود.
 - ۴- تخمین انرژی مورد نیاز هر نود کاندید برای سرخوشه، برای ارسال تا ایستگاه پایه یا تا سرخوشه سطح بالاتر، با استفاده از فرمول زیر:
- $$E_{CH} = [kE_{elec}(N/K_{opt}-1)] + [kE_{DA}(N/K_{opt})] + [kE_{elec} + kE_{mp}d_1^4] \quad (12)$$

- ۵- انرژی باقیمانده بعد از راند ارسال بعدی برای هر نود تخمین زده می شود:

$$E_{residual}(n) = E_{in}(n) - E_{CH}(n) = E_{in}(n) - \{[kE_{elec}(N/K_{opt}-1)] + [kE_{DA}(N/K_{opt})] + [kE_{elec} + kE_{mp}d_1^4]\}(n) \quad (13)$$

۶- انتخاب سرخوشه با استفاده از معیار زیر انجام می شود :

$$\max [E_{\text{residual}}(n) / d_2(n)] \quad (۱۴)$$



شکل ۴- فلوجارت انتخاب سرخوشه در تکنیک مسیریابی سلسله مراتبی پیشنهادی

۴. شبیه سازی

در این شبیه سازی، ۲۵۰ نود بطور تصادفی در فضای ۳۰۰*۳۰۰ متر برای ۴۰۰ راند بکار گرفته شده اند.

فرضیات:

- تمام نودها مشابه (homogeneous) هستند.
- گره ها یکسانند و انرژی اولیه ی برابر دارند.
- ایستگاه میتواند سطوح انرژی مختلفی بفرستد
- محیط عاری از خطا و درگیری است.
- خوشه ها و نودها ثابت (static) هستند.
- نودهای نرمال مستقیما به سرخوشه های مربوطه شان در یک خوشه ارسال می کنند.
- سرخوشه ها از مسیریابی چندگامی برای ارسال داده به ایستگاه پایه استفاده می کنند.

جدول ۱ - پارامترهای اولیه ی پیاده سازی ما

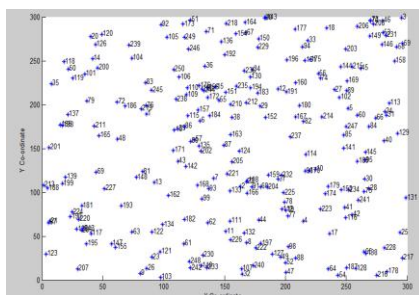
Parameter	Quantity
Total number of nodes (N)	250
Initial energy of each node (Joules), ($E_{in}(n)$)	200
Packet size (k) in Kbytes	100

Energy circuitry cost at transmission and reception of a bit of data (E_{elec}) in nano Joule per byte	50
Amplifier coefficient(E_{amp}) in pico Joule per bit	100
Coordinate of base station	(0,0)

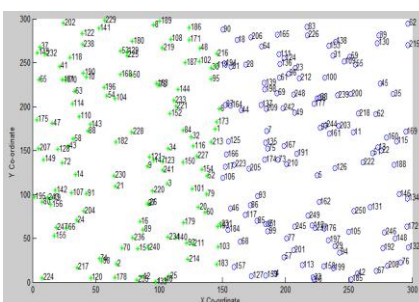
نودهای حسگر در شبکه بصورت خوشه هایی با اندازه یک ، دو ، سه ، تشکیل می شوند.

شکل ۵ ساختار غیر سلسله مراتبی (۱خوشه) را نشان می دهد. هم چنین شکل ۶ و ۷ و ۸ نتایج شبیه سازی تشکیل دو و سه و چهار خوشه در

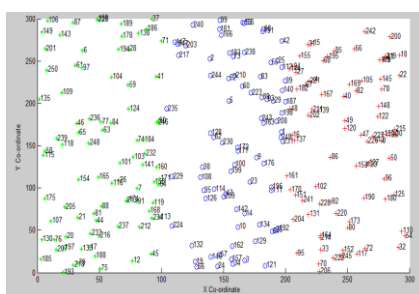
تکنیک پیشنهادی را نشان می دهد.



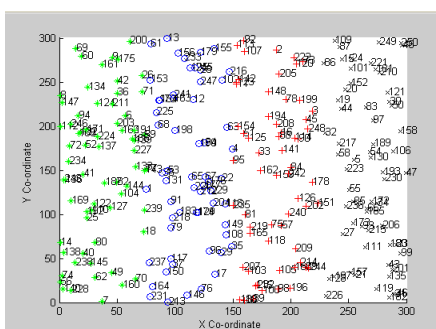
شکل ۵ - تشکیل یک خوشه



شکل ۶ - تشکیل دو خوشه با رنگها و نمادهای مختلف



شکل ۷- تشکیل سه خوشه با رنگها و نمادهای مختلف



شکل ۸- تشکیل چهار خوشه با رنگها و نمادهای مختلف

سرخوشه (های) Δm آمین خوشه ی تشکیل شده، داده دریافت شده از سایر نودها را با داده ی خودش جمع آوری می کند و آن را یا به سرخوشه گام بعدی که به ایستگاه پایه نزدیکتر است می فرستد، یا به ایستگاه پایه ، بسته به تشکیل خوشه و کوتاهترین مسیر بین سرخوشه و ایستگاه پایه. در هر ارسال یا دریافت، کاهش انرژی برای هر نود اتفاق می افتد که به موجب آن چرخش سرخوشه برای کمک به افزایش طول عمر شبکه استفاده می گردد.

۵. نتایج شبیه سازی

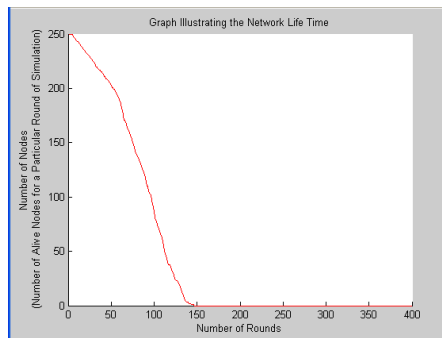
طول عمر شبکه در شکل های زیر نشان داده شده است. با بهینه سازی در مصرف انرژی، مشاهده کرده ایم که طول عمر در تکنیک پیشنهادی ما با افزایش خوشه ها، به یک محدوده مؤثر ، تعمیم و گسترش می یابد وقتی که با تکنیک غیر سلسله مراتبی و الگوریتم LEACH مقایسه می شود.

دو معیار FND^{18} و LND^{19} برای بررسی طول عمر شبکه استفاده می شود. [۱۰] [۱۶]

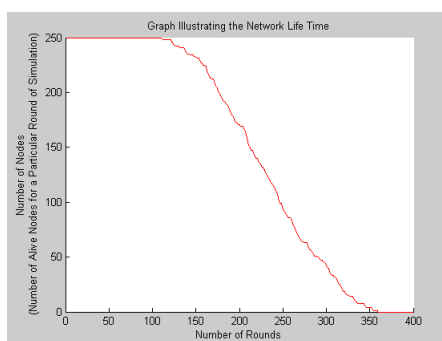
FND : زمان مرگ (اتمام انرژی) اولین حسگر.

LND : مدت زمان مرگ همه گره های داخل شبکه (مقیاسی از طول عمر کلی شبکه)

از شکل های ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ مشاهده می کنیم که تکنیک تک خوشه ی غیرسلسله مراتبی برآورد طول عمر تقریباً ۱۰ راندی، تکنیک دو خوشه ای تقریباً ۱۲۰ راندی و تکنیک سلسله مراتب سه خوشه ای تقریباً ۱۷۰ راندی و در نهایت سلسله مراتب چهار خوشه ای برآورد طول عمر تقریباً ۲۴۰ راندی داشته است. افزایش تصاعدی طول عمر شبکه بکار گرفته شده با تکنیک پیشنهادی ما مصرف انرژی مؤثری را برای هر نود در کل شبکه پیشنهاد میدهد. بعلاوه مشاهده شده که در تکنیک غیرسلسله مراتبی، درمقایسه باتکنیک پیشنهادی، شبکه کل فعالیت را در راندهای زودتر متوقف میکند.



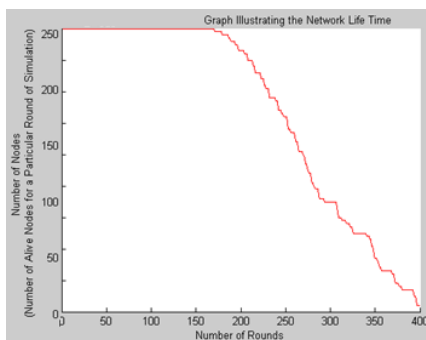
شکل ۹ – گراف طول عمر شبکه ی تک خوشه ای



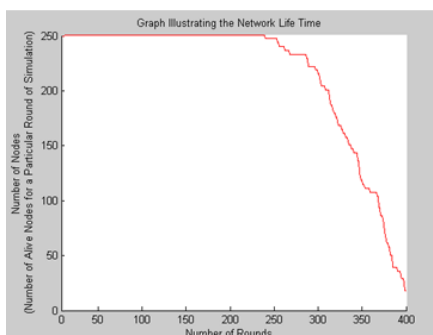
شکل ۱۰ – گراف طول عمر شبکه دو خوشه ای

¹⁸ First Node Dies

¹⁹ Last Node Dies

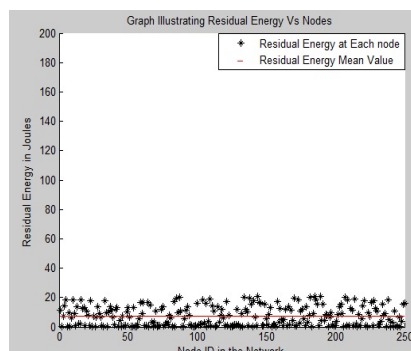


شکل ۱۱ - گراف طول عمر شبکه سه خوشه ای

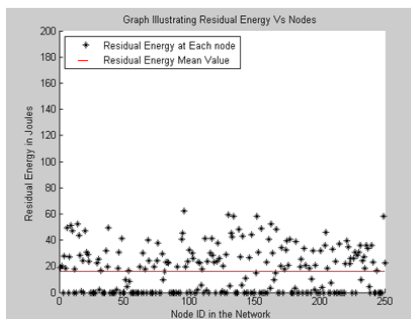


شکل ۱۲ - گراف طول عمر شبکه چهار خوشه ای

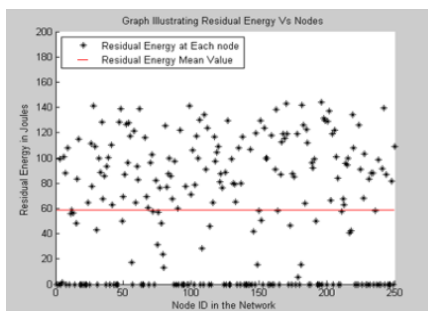
با افزایش سلسله مراتب، مقدار متوسط انرژی باقیمانده در هر راند شبیه سازی افزایش می یابد. این باعث کارایی بهتر شبکه می شود چون نودها انرژی بیشتری در سطح سلسله مراتب آخر دارند. (شکل های ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶)



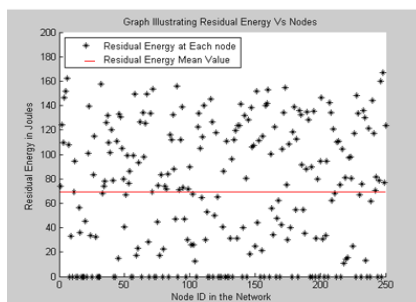
شکل ۱۳- باقیمانده انرژی نودها در تکنیک غیر سلسله مراتبی



شکل ۱۴- باقیمانده انرژی نودها در تکنیک دو خوشه

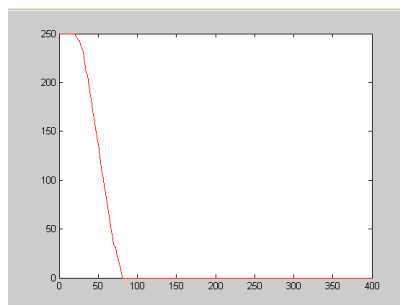


شکل ۱۵- باقیمانده انرژی نودها در تکنیک سه خوشه

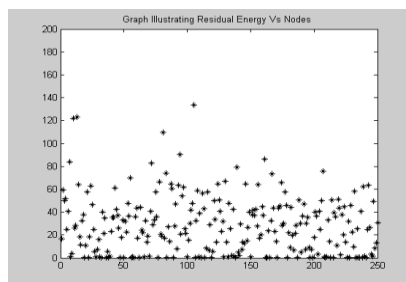


شکل ۱۶- باقیمانده انرژی نودها در تکنیک چهار خوشه

شبیه سازی LEACH با تمام شرایط فوق :



شکل ۱۷ - نمودار طول عمر الگوریتم LEACH



شکل ۱۸ - نمودار انرژی هر نود در الگوریتم LEACH

۶. نتیجه گیری

با مقایسه نتایج حاصل از این شبیه سازی به این نتیجه می رسیم که الگوریتم پیشنهادی ما با افزایش سلسله مراتب ، می تواند کمک بسیاری به بهینه سازی انرژی مصرفی و طول عمر شبکه کند. هم چنین با مقایسه طول عمر و انرژی باقیمانده نودها در الگوریتم پیشنهادی خود با الگوریتم LEACH به این نتیجه می رسیم که با افزایش تعدادخوشه ها به ۳۰ و ۴۰، احتمالاً بیشتر، کارایی بهتر برای معیارهای فوق بدست می آوریم. در LEACH، زمان مرگ اولین نود در راند تقریباً ۲۵ است که در مقایسه با الگوریتم پیشنهادی ما در دو و سه و چهارخوشه، کمتر است. همچنین بازه ی انرژی باقیمانده نودها در LEACH بین ۰ تا تقریباً ۸۰ است در صورتیکه بازه انرژی باقیمانده نودها در الگوریتم پیشنهادی ما در سه و چهار خوشه بیشتر است. در کارهای آینده ، سطح سلسله مراتب را به پنج و شش و ... افزایش می دهیم و نتایج شبیه سازی را مقایسه می کنیم تا ببینیم که آیا همچنان افزایش سلسله مراتب تأثیر بسزایی در افزایش طول عمر و کاهش انرژی مصرفی شبکه دارد یا خیر. با این کار می توانیم تعداد بهینه ی خوشه ها را در شبکه بیابیم. هم چنین در آینده تعداد نودهای مختلف در هر خوشه را امتحان می کنیم تا به یک مقدار بهینه دست یابیم.

۷. مراجع

- [1] J. N. Alkaraki and A.E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks:A Survey," IEEE Journal of Wireless Communication, vol. 11, No. 6, pp. 6-28 , Dec. 2010.
- [2] Singh .sh.K , Singh .M .P , Singh .D .K . "A Survey of Energy-Efficient Hierarchical Cluster-Based Routing in Wireless Sensor Networks" . *Int. J. of Advanced Networking and Applications* . Volume: 02, Issue: 02, Pages: 570-580 (2010)
- [3] Khamfroush .H , " Evaluation of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks in Terms of Power Consumption", M.Sc Thesis, Yazd University , July 2009 .
- [4] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 5 th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, pp. 174-185, Aug. 1999.
- [5] M. Handy, M. Hasse, D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic ClusterHead Selection," IEEE MWCN, Stockholm, Sweden, Sep. 2002.
- [6] Ramesh .K , Somasundaram . "A comparative study of clusterhead selection algorithms in wireless sensor networks". *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*. Vol.2, No.4, November 2011.
- [7] Lindsey S. and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems," *Proc. of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, USA, March 2002, pp. 1125-1130.
- [8] Manjeshwar A. and D. P. Agarwal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", *Proc. of the IEEE IPDPS*, San Francisco, USA, pp 23-26 , Apr. 2001.
- [9] Manjeshwar A. and D. P. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the IEEE IPDPS*, Fort Lauderdale, USA, pp. 195-202 , Apr. 2002.
- [10] F. Xiangning and S. Yulin, "Improvement on LEACH Protocol of Wireless Sensor Network", In *Proc. 2007 Int. Con! Sensor Technologies and Applications*, pp. 260-264, 2007.
- [11] H. Chen, C. Wu, Y. Chu, C. Cheng, L. Tsai, "Energy Residue Aware (ERA) Clustering Algorithm for Leach-based Wireless Sensor Networks," In *Proceedings of Second International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC 2007)*, IEEE Computer Society.

- [12] W. Heinzelman, *Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks*, Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2000.
- [13] Aslam .M , Javaid .N , Rahim .A , Nazir .U , Bibi .A ,Khan .Z .A. "Survey of Extended LEACH-Based Clustering Routing Protocols for Wireless Sensor Networks" . July 2012
- [14] Sepasi Zahmati .A , abolhassani .B , Beheshti .A .A , Shojaee Bakhtiari .A . "An Energy-Efficient Protocol with Static Clustering for Wireless Sensor Networks" . *International Journal of Electronics, Circuits and Systems Volume 1 Number 2* , May 2007.
- [15] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceeding of the 33 rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'00), Maui, HI, Jan. 2000.
- [16] J. Chang and L. Tassiuals, "Maximum lifetime routing in WSNs," In Proceedings of the Advanced Telecommunications and Information Distribution Research Program (ATRIP'00), College Park, MD, USA, March 2010.