



انتخاب پویای سرخوشه با توازن انرژی در شبکه های سنسور بیسیم ناهمگن

مصطفی چهاردولی^۱، محمد مهدی شیرمحمدی^۲، محمد رضا میبیدی^۳

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، گروه کامپیوتر

همدان، ایران

chhardoli@gmail.com

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، گروه کامپیوتر

همدان، ایران

mmshirmohammadi@gmail.com

^۳ دانشگاه امیرکبیر

تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده—افزایش طول عمر شبکه، توسعه پذیری و موازنه بار مهمترین نیازمندی های مهم بسیاری از کاربردهای شبکه های سنسوری بی سیم می باشند. خوشه بندی ندهای سنسور یک تکنیک موثر برای رسیدن به این اهداف می باشند. در این مقاله ما یک روش موثر خوشه بندی برای موازنه بار و افزایش طول عمر شبکه معرفی می کنیم. بر مبنای این روش ما پروتکل EBDEP (Energy Balance Dynamic Election Protocol) را معرفی می کنیم که بطور پیوسته سرخوشه ها را بر مبنای سطح انرژی و چگالی ندها انتخاب می کند. EBDEP هیچ پیش فرضی را در مورد سطح انرژی ندها در نظر نمی گیرد و خوشه بندی بصورت محلی و توزیع شده انجام می شود. پروتکل از نظر پردازش و مبادله پیغام سربار کمی دارد. توجه به چگالی ندها موجب موازنه بار در شبکه می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که EBDEP چندین مشخصه شبکه را نسبت به پروتکل های LEACH^۱ و SEP^۲ بهبود داده و موازنه بار را در سرتاسر شبکه ایجاد کرده است.

Energy balance dynamic election protocol for cluster heterogeneous wireless sensor network

Abstract—Prolonged network lifetime, scalability, and load balancing are important requirements for many sensor network applications. Clustering sensor nodes is an effective technique for achieving these goals. In this work, we propose a energy-efficient approach for clustering nodes for load balancing and Prolong network lifetime. Based on this approach, we present a protocol, EBDEP (Energy balance dynamic election protocol), that periodically selects cluster heads according to energy level and density of nodes. EBDEP does not make any assumptions about the energy level or density of nodes and clustering process is local and distributed. The protocol incurs low overhead in terms of processing cycles and messages exchanged. It also achieves fairly uniform cluster head distribution across the network. considering to nodes density caused load balancing in network. simulation results demonstrate that EBDEP enhance in terms of several cluster characteristics than LEACH and SEP and balanced load In all of the network.

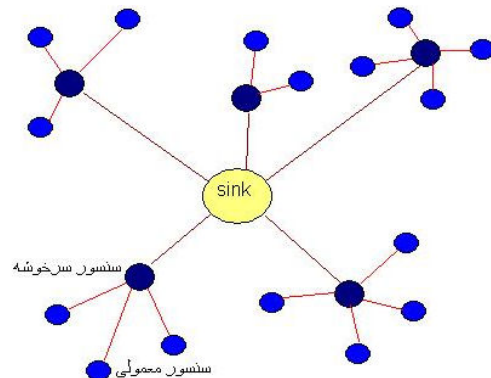
کلمات کلیدی: شبکه سنسور بی سیم ناهمگن، انتخاب سرخوشه، موازنه بار، طول عمر، پوشش

۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در ارتباطات بی‌سیم و سیستم‌های تعبیه شده موجب پیشرفت شبکه‌های سنسوری بی‌سیم (WSNs^۱ (Wireless Sensor Network) شده است و استفاده از سنسورهای بی‌سیم در بیشتر وسایل الکترونیکی را ممکن نموده است. یک شبکه سنسور بی‌سیم شامل تعداد زیادی سنسور است که دارای توان محاسباتی، و با فرکانس‌های رادیویی (RF^۲) با هم ارتباط دارند و در کارهایی مانند: شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات، و کنترل وضعیت استفاده می‌شوند. شبکه‌های سنسور بی‌سیم که در موضوعات: نظامی، بهداشت، محیط، صنعت، کشاورزی، سرگرمی و ... کاربرد دارند نظر پژوهشگران بسیاری را بخود جلب کرده‌اند و انقلاب کوچکی را در تحول اطلاعات بوجود آورده‌اند.[6]

معماری شبکه‌های سنسور به این ترتیب است که سنسورها بصورت تصادفی (یا یکنواخت) در یک ناحیه پراکنده می‌شوند و رویدادها را شناسایی، کنترل و پردازش می‌کنند و سپس به اطلاع ایستگاهی بنام Sink می‌رسانند.[1]

برخی از پروتکل‌ها در WSNs برای تامین نیازمندی‌های شبکه‌های سنسور از خوشه‌بندی^۳ استفاده می‌کنند بدین ترتیب که سنسورها به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شوند که هر ناحیه دارای یک سرخوشه است و پس از وقوع یک رویداد سنسورهای هر ناحیه، اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال می‌کنند و سرخوشه این اطلاعات را مستقیم به اطلاع Sink می‌رساند.[2](شکل ۱)



شکل ۱: خوشه بندی در شبکه های سنسور بیسیم

ویژگی‌های مهم و اصلی شبکه‌های سنسور بی‌سیم اینست که قابلیت خود سازماندهی در محیط دارند و با برد کوتاه و مسیریابی چندگامی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. همچنین این شبکه‌ها بعلت خرابی، محدودیت‌های انرژی، حافظه و توان ایجاد ارتباط، دارای توپولوژی متغیر هستند.

در این مقاله با ارائه پروتکلی بنام EBDEP احتمال انتخاب شدن سرخوشه‌ها را نسبت به سطح انرژی هر سنسور و فاصله و چگالی

سنسورها نسبت بهم کاهش، و یا افزایش دادیم و توانستیم طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل‌های LEACH و SEP افزایش دهیم. و حتی مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده تا آخرین آن (پارامتر Instable region) را نسبت به LEACH در حدود پنج برابر بهبود دادیم.

ما در این مقاله در فصل ۲ به بررسی پروتکل‌های قبلی در رابطه با انتخاب سرخوشه می‌پردازیم، در فصل ۳ پروتکل EBDEP را تشریح کرده، فصل ۴ مسائل مربوط به شبیه‌سازی را توضیح می‌دهیم و در فصل ۵ نتیجه گیری انجام می‌شود.

۲- کارهای گذشته

در شبکه سنسور دو الگوریتم مهم سلسله مراتبی با هدف جمع‌آوری و هدایت داده‌ها در شبکه‌های سنسور بی‌سیم به نام‌های LEACH^۴ و SEP^۵ وجود دارد. مبنای طراحی بیشتر پروتکل‌های سلسله مراتبی پروتکل LEACH می‌باشد. ما عملکرد و خصوصیات این دو پروتکل را تشریح کرده و آنها را از نظر معیارهای کارایی با پروتکل جدید EBDEP مقایسه می‌کنیم.

۲-۱- LEACH

در الگوریتم LEACH سرخوشه‌ها بصورت تصادفی از بین سنسورها انتخاب می‌شوند و تمام سنسورها شانس یکسانی برای سرخوشه شدن دارند. در این الگوریتم سنسورها بصورت تصادفی در یک ناحیه توزیع می‌شوند و سنسورها متحرک نمی‌باشند. سنسورها در گروه‌ها یا خوشه‌هایی دسته‌بندی می‌شوند و هر گروه یک سرخوشه دارد. که هر ناحیه از طریق سرخوشه‌اش با Sink که در مرکز شبکه قرار دارد، بصورت مستقیم ارتباط برقرار می‌کند. LEACH دارای چهار مرحله عملیاتی: پیشنهاد، تشکیل گروه، ایجاد زمانبندی، و انتقال داده است. مهمترین کاربرد LEACH جمع‌آوری داده‌ها از محیط می‌باشد و با توجه به اینکه، به جدول مسیریابی سنگین نیازی ندارد دارای سربار پایینی است. هر سنسور در این الگوریتم با تولید یک عدد تصادفی تصمیم می‌گیرد که سرخوشه باشد یا نباشد. با توجه به انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها این احتمال وجود دارد در برخی از زمان‌ها قسمتی از شبکه سرخوشه نداشته باشد و در قسمت دیگری چگالی سرخوشه‌ها زیاد باشد. در مجموع هیچ قاعده منطقی برپایه تغییرات توپولوژیکی و انرژی باقیمانده سنسورها وجود ندارد که بر انتخاب شدن ندها بعنوان سرخوشه تاثیر گذارد. LEACH توانسته تنها به نحوی انتخاب سرخوشه را در شبکه میسر سازد.[2]

۲-۲- SEP

پروتکل SEP توسعه یافته LEACH است که هدف اصلی آن بهره‌گیری از سنسورهای ناهمگن در شبکه‌های سنسور بیسیم است این

با توجه به تاثیر هر همسایه ، از مقدار پارامتر X کاسته (در صورتی که انرژی همسایه بیشتر باشد) و یا بر آن می افزاییم (در صورتی که انرژی همسایه کمتر باشد).

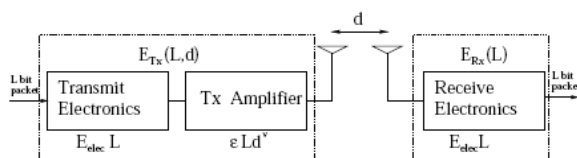
در نهایت پس از بررسی رابطه ۱ اگر $X > 0$ شود احتمال سرخوشه شدن آن بیشتر و اگر $X < 0$ بود احتمال سرخوشه شدن آن کمتر می شود.

در این پروتکل اگر سنسوری بعنوان سرخوشه انتخاب شد تا $1/p$ دور بعدی نمی تواند سرخوشه شود. P احتمال سرخوشه شدن سنسورها است. در پروتکل پیشنهادی EBDEP سنسورهایی که بعنوان سرخوشه انتخاب نشده اند عضو مجموعه G خواهند بود و احتمال سرخوشه شدن سنسورهای این مجموعه بعد از هر دور افزایش می یابد در ابتدای هر دوره هر سنسور که به مجموعه G تعلق دارد بصورت مستقل یک عدد تصادفی بین $[0,1]$ انتخاب می کنند اگر عدد تصادفی کمتر از حد آستانه $T(n)$ باشد سنسور در دور فعلی سرخوشه خواهد شد. هر سنسور در هر دوره ($1/p$ دور) یکبار سرخوشه خواهد شد حد آستانه از رابطه ۲ بدست می آید: [3]

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

در اینجا قسمت اول رابطه هنگامی اتفاق می افتد که $n \in G$ ، باشد و r هم شماره دور فعلی را مشخص می کند (که از صفر شروع می شود).

در این مقاله برای هزینه ارتباط بین سنسورها از مدلی شبیه به مدل معرفی شده در مرجع [4] استفاده شده است.



شکل ۲: مدل رادیویی انرژی

مطابق مدل رادیویی مصرف انرژی که در شکل ۲ معرفی شده برای رسیدن به نرخ قابل قبول SNR^v ، انرژی اختصاص یافته ارسال پیغام با طول L -bit در مسافت d ، از رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{mp} \cdot d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

E_{elec} انرژی مصرف شده به ازاء هر بیت در مدار فرستنده یا گیرنده می باشد ، ϵ_{fs} و ϵ_{mp} بستگی به مدل تقویت کننده مدار ارسال کننده دارد و d فاصله بین فرستنده و گیرنده است که با برابر گرفتن $d=d_0$

پروتکل عملکردی همانند LEACH دارد با این تفاوت که در پروتکل SEP سنسورها دارای دو سطح متفاوت انرژی هستند. (سنسورها ناهمگند) در این پروتکل با فرض بر اینکه انرژی بخشی از سنسورها بیشتر از است، احتمال سرخوشه شدن سنسورهای با انرژی بالاتر را بیشتر در نظر گرفته و برای مقایسه با حالتی مشابه در پروتکل LEACH، توانسته معیارهای کارایی را نسبت به LEACH بهبود دهد. [3]

اما مشکل اساسی LEACH و SEP آنست که سرخوشه ها را با توجه به تغییرات سطح انرژی و موقعیت آنها انتخاب نمی کند و همچنین به این علت که بصورت ایستا عمل می کنند ، نمی توانند با توجه به شرایط توپولوژیکی شبکه تغییر کنند. مقایسه پروتکل های LEACH و SEP در شرایط یکسان ، در فصل ۴ بیان شده است.

۳- پروتکل EBDEP

همانطور که در فصل قبلی بیان شد در LEACH سرخوشه ها بصورت تصادفی و بر پایه احتمال انتخاب می شوند و در SEP احتمال سرخوشه شدن سنسورهای با انرژی بیشتر افزایش یافته، اما در پروتکل جدید انتخاب شدن سرخوشه ها از حالت وابستگی تنها بخود خارج شده و پروتکل EBDEP توانسته احتمال انتخاب شدن سنسورها بعنوان سرخوشه را در شبکه بصورت پویا تغییر دهد. در پروتکل EBDEP مدت زمانی که شبکه عملیاتی است احتمال سرخوشه شدن ندها با توجه به اختلاف سطح انرژی ند با همسایه ها، فاصله ند با همسایه ها و تعداد همسایه ها، کاهش یا افزایش می یابد. اگر با در نظر گرفتن فاصله همسایه و انرژی سنسور، سطح انرژی همسایه کمتر از سطح انرژی ند باشد با توجه به فاصله بین آنها احتمال سرخوشه شدن افزایش می یابد و اگر سطح انرژی همسایه بیشتر باشد ، احتمال سرخوشه شدن کاهش می یابد. مقدار پارامتر X با در نظر گرفتن فاصله همسایه و اختلاف سطح انرژی سنسور همسایه، افزایش یا کاهش می یابد. اگر سطح انرژی همسایه کمتر از سطح انرژی گره باشد مقدار X افزایش و اگر سطح انرژی همسایه بیشتر باشد ، مقدار X کاهش می یابد وقتی برای تمام همسایه های یک ند تاثیر آنها مشخص شد بر اساس مقدار نهایی X احتمال سرخوشه شدن افزایش یا کاهش می یابد. فاصله بین ندها در مقدار افزایش یا کاهش مقدار پارامتر X تاثیر خواهد داشت با افزایش فاصله تاثیر همسایه کاهش می یابد و با کاهش فاصله تاثیر افزایش می یابد. پارامتر X از رابطه ۱ بدست می آید:

$$X = X + (E - E_{Ni}) * (1/dist_i) \quad (1)$$

در این رابطه مقدار اولیه پارامتر X را صفر در نظر گرفته و E مقدار انرژی ند و E_{Ni} مقدار انرژی همسایه نام است. همچنین $dist_i$ نیز فاصله ند تا همسایه i ام می باشد.

داریم $d_0 = \sqrt{(C_{fs}/C_{mp})}$ برای دریافت پیغام L بیتی نیز انرژی رادیویی مصرف شده برابر است با:

$$E_{RX} = L \cdot E_{elec} \quad (4)$$

انرژی مصرف شده در سرخوشه هم در طول دوره از طریق رابطه ۵ بدست می آید:

$$E_{CH} = \left(\frac{n}{k} - 1\right) L \cdot E_{elec} + \frac{n}{k} L \cdot E_{DA} + L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{tc}^2 \quad (5)$$

K تعداد خوشه ها را تعیین می کند و EDA هزینه پردازش (ترکیب داده) هر بیت برای گزارش به Sink است. d_{toBS} میانگین فاصله بین سرخوشه و Sink می باشد. انرژی مصرف شده توسط سنسورهای غیر سرخوشه با استفاده از رابطه ۶ بدست می آید:

$$E_{nonCH} = L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d_{toCH}^2 \quad (6)$$

d_{toCH} میانگین فاصله بین سرخوشه و سنسور می باشد.

۳-۱ معیارهای کارایی

Load balancing (موازنه بار): درصد انرژی باقیمانده کل شبکه زمانی که اولین ند می میرد.

Stability period (دوره پایداری): فاصله زمانی بین شروع عملکرد شبکه تا زمانی که اولین سنسور می میرد.

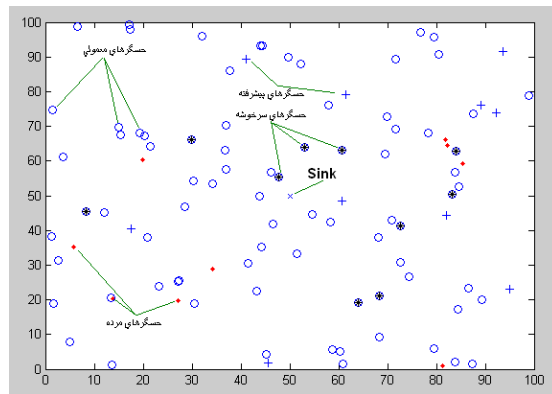
Instability period (دوره ناپایداری): فاصله زمانی بین اولین سنسور مرده تا آخرین سنسوری که می میرد.

Number of cluster heads per round (گذردهی): این معیار به تعداد سنسورهایی که بطور مستقل به Sink اطلاعات را ارسال می کنند اشاره دارد.

شبیه سازی این پروتکل و نتایج حاصل از آن در فصل بعدی تشریح شده است.

۴- شبیه سازی EBDEP

ما یک شبکه سنسور بی سیم خوشه ای را در ناحیه ای با ابعاد 100×100 و با توزیع یکنواخت یکصد سنسور بصورت تصادفی در آن را با نرم افزار Matlab شبیه سازی کردیم. (شکل ۳) در این شبیه سازی Sink در مرکز قرار دارد و فاصله سنسورها تا Sink حداکثر ۷۰ متر است. انرژی اولیه ۹۰ درصد سنسورها برابر با $E_0 = 0.5$ ژول و انرژی ۱۰ درصد سنسورها دو برابر سنسورهای معمولی است. (این ترکیب انرژی به علت بکارگیری سنسورهای ناهمگن است و تأثیری در رفتار پروتکل ندارد و پروتکل های SEP و LEACH نیز از این قاعده پیروی



شکل ۳: نمایی از محیط شبیه سازی شده

طول اجرای شبیه سازی را برای 2500 دور در نظر گرفتیم و همچنین انرژی مصرفی بر اساس جدول ۱ محاسبه شده است.

جدول ۱: مشخصه های رادیویی استفاده شده در شبیه سازی

عملیات	انرژی مصرف شده
تجهیزات فرستنده/گیرنده	$E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$
ترکیب داده	$EDA = 5 \text{ nJ/bit/report}$
تقویت کننده ارسال اگر $d_{toBS} < d_0$	$C_{fs} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$
تقویت کننده ارسال اگر $d_{toBS} > d_0$	$C_{mp} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$

با توجه به اینکه در شبکه سنسور بی سیم در شرایطی که ندها ناهمگن باشند پروتکل ها عملکرد مطلوب خود را نمی توانند نشان دهند اما پروتکل EBDEP نسبت به پروتکل های LEACH و SEP در حالتی که ندها ناهمگن هستند عملکرد پایداری نشان می دهد.

در پروتکل EBDEP احتمال سرخوشه شدن سنسورها براساس سطح انرژی، فاصله و چگالی سنسورها نسبت به هم می تواند کم و یا زیاد شوند اما در پروتکل های LEACH و SEP این احتمال بصورت ایستا است و براساس موقعیت و سطح انرژی ندها در شبکه نمی تواند تصمیم بگیرد.

نمودار ۱ علاوه بر اینکه تعداد سنسورهای مرده در هر دور را نشان می دهد، مشخص می کند که پروتکل EBDEP، ۳۳ درصد پارامتر Stable region^a را نسبت به LEACH و ۲۶ درصد نسبت به SEP بهبود داده است. همچنین با توجه به این نمودار پارامتر^۹ Instable region در پروتکل EBDEP نسبت به دو پروتکل LEACH و SEP، برترتیب بیش از پنج برابر (پانصد درصد) و سه برابر (سیصد درصد) بهبود را نشان می دهد.

نمودار ۳ نیز میزان گذردهی پروتکل‌ها را نشان می‌دهد. بدلیل بیشتر بودن تعداد سرخوشه‌های فعال در واحد زمان در پروتکل EBDEP نسبت به پروتکل‌های LEACH و SEP، گذرگی و دقت اطلاعات دریافتی از محیط در EBDEP بیشتر است.

جدول ۲: درصد انرژی باقیمانده کل ندها هنگام مردن اولین ند

پروتکل	باقیمانده انرژی(درصد)
LEACH	۲۶٪
SEP	۱۹٪
EBDEP	۵٪

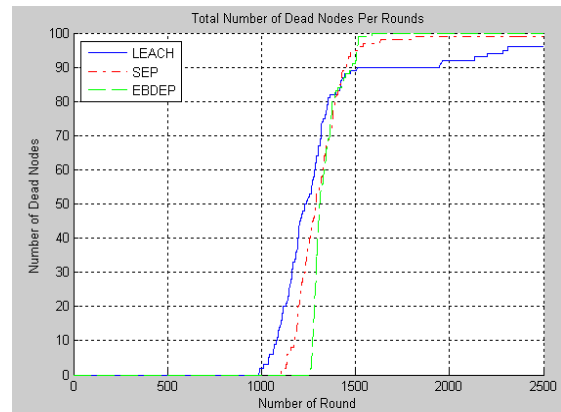
همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد پروتکل EBDEP نسبت به دو پروتکل دیگر موازنه بار بهتری دارد. در پروتکل LEACH در زمان مردن اولین ند هنوز ۲۶٪ (یک چهارم) انرژی ندها باقیمانده است و برای پروتکل SEP این نسبت ۱۹٪ (یک پنجم) می‌باشد ولی در پروتکل EBDEP هنگام مردن اولین ند ۵٪ (یک بیستم) از انرژی کل ندها باقیمانده است و این نسبتها نشان‌دهنده موازنه بار بهتر این پروتکل نسبت به پروتکل‌های LEACH و SEP می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در نهایت پس از شبیه سازی دریافتیم، پروتکل EBDEP نقش قابل توجهی در افزایش طول عمر شبکه دارد و توانسته ۲۶ درصد مشاهده اولین سنسور مرده در شبکه را نسبت به SEP و ۳۳ درصد نسبت به LEACH به تعویق بیاورد.

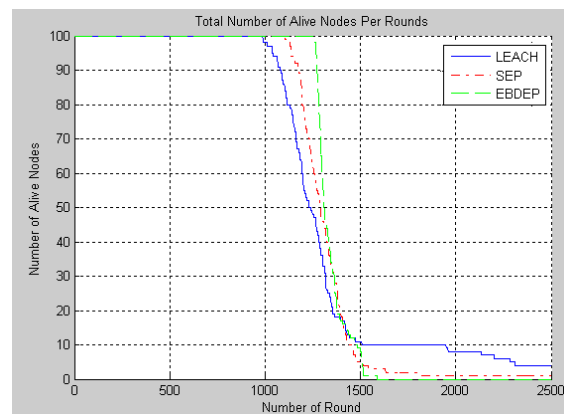
بطوریکه در نمودار ۱ قابل مشاهده است از زمان مشاهده اولین سنسور مرده تا اینکه ۹۰ درصد سنسورها می‌میرند در پروتکل EBDEP حدود ۲۰۰ دور طول می‌کشد که بیش از ۲۵ درصد بهبود را نشان می‌دهد. (هر چقدر این بازه کوچکتر باشد نشان دهنده مصرف متعادل انرژی در شبکه است).

همچنین با توجه به اینکه پارامتر Instable region در پروتکل EBDEP نسبت به پروتکل‌های قبلی کمتر است، نشان می‌دهد با وجود ناهمگن بودن سنسورها، شبکه توانسته پایداری خود را حفظ کند. و این در حالی است که بیشتر پروتکل‌ها وقتی از سنسورهای ناهمگن استفاده می‌کنند، نمی‌توانند عملکرد مطلوب خود را نشان دهند.



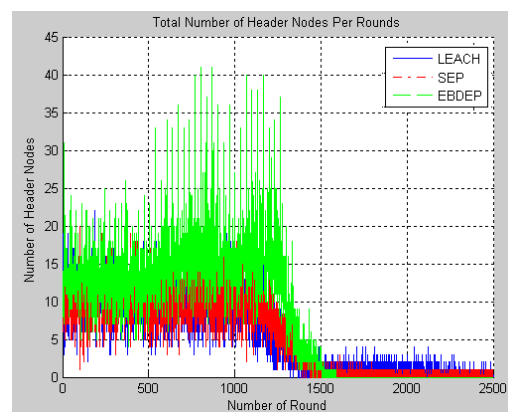
نمودار ۱: تعداد سنسورهای مرده در هر دور

هر چقدر مقدار پارامتر Instable region کمتر باشد نشان می‌دهد پروتکل موازنه بار بهتری داشته و سطح پوشش شبکه پس از پایان یافتن انرژی ندها، متعادل کاهش پیدا کرده است.



نمودار ۲ : تعداد سنسورهای زنده در هر دور

نمودار ۲ نیز تعداد سنسورهای زنده در هر دور را مشخص می‌کند. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود در پروتکل EBDEP تعداد سنسورهای زنده نسبت به پروتکل‌های LEACH و SEP بیشتر است.



نمودار ۳: میزان گذردهی پروتکلها

مراجع

- [1] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey", in Proc. of International Conference on Wireless Networks (ICWN '04), pp. 227-233, Las Vegas, Nev., USA, June 2004.
- [2] W.R.Heinzelman, A.P.Chandrakasan and H.Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks" IEEE Transactions on Wireless Communications, 1(4):660-670,2002
- [3] Georgios Smaragdakis, Ibrahim Matta and Azer bestavros, "SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks", Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004), Boston MA, August 2004.
- [4] —, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, pp. 660–670, October 2002.
- [5] Sensor networks and applications, IEEE Proc., 8, Aug. 2003.
D. Estrin et al., "Embedded, Everywhere: A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers," Nat'l Research Council Report, 2001.

زیر نویس ها

- ¹ Wireless sensor networks
- ² Radio Frequency
- ³ clustering
- ⁴ low-energy adaptive clustering hierarchy
- ⁵ Stable Election Protocol
- ⁶ Nodes
- ⁷ signal to noise ratio

^۸ مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده از شروع عملکرد شبکه
^۹ مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده تا آخرین آن