

ارائه معیارهایی برای ارزیابی کیفی تشکیل خوشه در شبکه‌های حسگر بیسیم

^۱ پیمان نعمت‌اللهی*، ^۱ هدی طاهری، ^۲ محمود نقیب‌زاده، ^۳ محمدحسین یغمائی مقدم

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان، گروه کامپیوتر، {neamatollahi.peyman, h.taheri.mshd}@gmail.com

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، گروه کامپیوتر، naghibzadeh@um.ac.ir

^۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه کامپیوتر، yaghmaee@ieee.org

چکیده

در اغلب کاربردهای شبکه‌های حسگر بیسیم امکان شارژ کردن باتری گره‌ها وجود ندارد، بنابراین پروتکل‌های طراحی شده برای این شبکه‌ها باید حتی المقدور انرژی-کارآمد باشند. خوشه‌بندی، یکی از رویکردهای اصلی برای طراحی پروتکل‌های انرژی-کارآمد و مقیاس‌پذیر شبکه‌های حسگر بیسیم است. استفاده از خوشه‌ها سربار ارتباطی ناشی از ارسال داده‌ها و در نتیجه مصرف انرژی و تداخل امواج بین گره‌ها را کاهش می‌دهد. در بسیاری از کاربردها، سازماندهی خوشه یک راه طبیعی برای گروه‌بندی گره‌های نزدیک به هم به منظور استفاده از داده‌های مرتبط و حذف داده‌های افزونه می‌باشد. از طریق تجمیع و ترکیب داده‌های گره‌ها در سرخوشه حجم کلی داده‌های ارسالی به ایستگاه پایه بطور قابل توجهی کاهش یافته و در مصرف انرژی و منابع صرفه‌جویی می‌شود. علی‌رغم اهمیت خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بیسیم تا کنون معیارهایی برای ارزیابی کیفیت خوشه‌های حاصله ارائه نشده است. ما در این مقاله چندین معیار برای بیان برتری خوشه‌بندی پروتکل‌ها در قیاس با یکدیگر با ملاحظه طول عمر شبکه ارائه کردیم و در انتها این معیارها را بر سه پروتکل کاربردی اعمال نموده و نتایج را توسط نرم‌افزار MATLAB به تصویر کشیدیم.

واژه‌های کلیدی: شبکه حسگر بیسیم، خوشه‌بندی، رویکرد انرژی-کارآمد، طول عمر شبکه، الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده.

۱- مقدمه

ساماندهی خوشه یک راه طبیعی برای گروه‌بندی گره‌های نزدیک به هم به منظور استفاده از داده‌های مرتبط و حذف داده‌های افزونه می‌باشد. از طریق تجمیع^۵ و ترکیب^۶ داده‌های گره‌ها در سرخوشه^۷ حجم کلی داده-های ارسالی به ایستگاه پایه^۸ بطور قابل توجهی کاهش یافته و در مصرف انرژی و منابع شبکه صرفه‌جویی می‌شود [2].

بیشتر الگوریتم‌های خوشه‌بندی از دو تکنیک استفاده می‌کنند که عبارتند از انتخاب سرخوشه‌های با انرژی بیشتر و چرخش سرخوشه‌ها بطور متناوب برای تعدیل مصرف انرژی گره‌های حسگر در شبکه. عملیات این پروتکل‌ها غالباً به دوره‌هایی تقسیم می‌شود. هر دوره شامل فاز راه‌اندازی^۹ و فاز حالت پایدار^{۱۱} است که فاز راه‌اندازی در شروع هر دوره انجام می‌شود. مکانیزم چرخش متناوب سرخوشه‌ها اولین بار در پروتکلی با عنوان LEACH [3] ارائه شد که در آن، چرخش‌ها تصادفی و توزیع‌شده انجام می‌شود. در الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده‌ای بنام HEED [4] معیارهای انرژی باقی‌مانده گره و هزینه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و مخابرات بیسیم، توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربردهای گوناگون را بوجود آورده است. این حسگرهای کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده‌ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌هایی موسوم به شبکه‌های حسگر بیسیم^۱ شده‌اند. این شبکه‌ها که کنترل مطمئن از راه دور را فراهم می‌کنند، اساساً شبکه‌های جمع‌آوری داده هستند و کاربر نهایی نیازمند توصیف سطح بالا از محیطی است که حسگرها در آن قرار دارند [1]. در این شبکه‌ها معمولاً امکان شارژ باتری گره‌ها وجود ندارد، بنابراین پروتکل‌های به کار رفته باید انرژی-کارآمد^۳ باشند. خوشه‌بندی، یکی از رویکردهای اصلی برای طراحی پروتکل‌های انرژی-کارآمد و مقیاس‌پذیر^۴ شبکه‌های حسگر بیسیم است [7]. استفاده از خوشه‌ها سربار ارتباطی را کاهش داده و در نتیجه مصرف انرژی و تداخل امواج بین گره‌ها را کاهش می‌دهد. در بسیاری از کاربردها

⁵ Aggregation

⁶ Fusion

⁷ Cluster head

⁸ Base Station

⁹ Round

¹⁰ Setup phase

¹¹ Steady-state phase

¹ Wireless Sensor Networks (WSNs)

² Node

³ Energy-efficient

⁴ Scalable

ارتباطی^{۱۲} برای گزینش سرخوشه‌ها در نظر گرفته شد که در آن، سرخوشه‌ها در یک روال تکراری و بصورت احتمالی انتخاب می‌شوند. از طرفی HEED-NPF تلاش دارد بوسیله ترکیب دو پارامتر با منطق فازی طول عمر شبکه را بهبود بخشد.

در این تحقیق با بهره‌گیری از تعریف چند معیار تلاش کردیم تا ملاکی برای سنجش کیفی خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه کنیم. سپس با انجام شبیه‌سازی روی چندین پروتکل به تحلیل این معیارها می‌پردازیم. هرچه این پروتکل‌ها با معیارهای خوشه‌بندی همخوانی بیشتری داشته باشند خوشه‌های بهتری شکل می‌گیرند و در نتیجه به افزایش طول عمر شبکه^{۱۳} کمک خواهند کرد.

ادامه مقاله شامل بخش‌های زیر است: در بخش ۲ به معرفی سه پروتکل می‌پردازیم که در شبیه‌سازی به کار رفته‌اند، بخش ۳ معیارهای ارزیابی را بیان می‌کند، بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی را ارائه می‌دهد و در پایان مقاله نتیجه‌گیری آمده است.

۲- معرفی پروتکل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی

۲-۱) LEACH

این پروتکل خوشه‌ها را با استفاده از یک الگوریتم توزیع‌شده تشکیل می‌دهد که در آن، گره‌ها بدون هیچ کنترل متمرکزی و به طور مستقل برای سرخوشه شدن تصمیم می‌گیرند. بنابراین، با چرخش تصادفی مکان سرخوشه‌ها بار انرژی سرخوشه بودن بین گره‌ها تقسیم می‌شود و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. در ابتدا هر گره بر اساس درصد سرخوشه‌های پیشنهادی شبکه (که از قبل تعیین شده است) و شماره آخرین دوره‌ای که آن گره سرخوشه شده است تصمیم می‌گیرد که آیا برای دوره جاری سرخوشه بشود یا نه. این تصمیم‌گیری برای هر گره به این صورت است که یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ انتخاب می‌کند. اگر آن عدد از مقدار آستانه‌ای کمتر باشد گره برای دوره جاری سرخوشه می‌شود.

مزایای پروتکل LEACH به شرح زیر می‌باشد:

- گره‌ها بصورت تصادفی و با نرخ ثابت می‌میرند.
 - LEACH طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل‌های پیشین افزایش می‌دهد.
 - LEACH کاملاً توزیع‌شده است و نیاز به داشتن اطلاعات سراسری از کل سیستم نیست.
- محدودیت‌های پروتکل LEACH به شرح زیر می‌باشد:

- اگرچه مصرف انرژی یک مسأله حیاتی در شبکه‌های حسگر بیسیم است، LEACH انرژی باقی‌مانده گره‌ها را در انتخاب سرخوشه‌ها در نظر نمی‌گیرد.
- از آن جا که تصمیم برای انتخاب سرخوشه، تصادفی و بدون در نظر گرفتن انرژی باقی‌مانده گره‌ها است، گره‌های با انرژی کمتر می‌توانند شانس خوبی برای سرخوشه شدن داشته باشند. در این صورت پس از مردن این گره‌ها، خوشه‌هایشان غیر کاربردی می‌شوند.
- شانس احتمالی سرخوشه شدن بر اساس این فرض است که گره‌ها در شروع، انرژی یکسانی دارند و تمام گره‌ها در هر قاب^{۱۴}، داده برای ارسال دارند.
- ممکن است برخی سرخوشه‌ها در نزدیکی یکدیگر قرار بگیرند و بدین معنی است که سرخوشه‌ها بخوبی در شبکه توزیع نشده‌اند.
- سرخوشه‌ها باید مستقیماً داده‌های خوشه را به ایستگاه پایه ارسال کنند که انرژی زیادی مصرف می‌شود. اگر شبکه ابعاد بزرگی داشته باشد این فرض کاربردی نیست. زیرا سرخوشه‌ها گره‌هایی معمولی هستند و ممکن است ایستگاه پایه به دلایلی نظیر وجود موانع، مستقیماً توسط گره‌ها در دسترس نباشد، پس شبکه توسعه‌پذیر نیست.

۲-۲) HEED

این الگوریتم با LEACH در نحوه انتخاب سرخوشه‌ها متفاوت است. انتخاب سرخوشه‌ها در HEED بصورت تکراری انجام می‌شود. یک سرخوشه منتخب تنها به همسایگانش اعلام وضعیت می‌کند در حالی که در LEACH کل گره‌های شبکه از سرخوشه شدن یک گره مطلع می‌شوند.

انتخاب سرخوشه بر اساس دو پارامتر صورت می‌گیرد: پارامتر اول برای انتخاب احتمالی مجموعه اولیه سرخوشه‌ها و پارامتر دوم برای انتخاب سرخوشه‌های نهایی. پارامتر اول بر اساس انرژی باقی‌مانده گره است. بنابراین، گره با انرژی باقی‌مانده بیشتر، شانس بیشتری را برای سرخوشه شدن دارا است. پارامتر دوم، بر اساس هزینه ارتباطی خوشه است. این هزینه ارتباطی تابعی از:

- خصوصیات خوشه مانند اندازه خوشه،
- این‌که آیا سطوح توان ارسال متغیر، مجاز است یا نه (یعنی آیا هر گره داخل خوشه می‌تواند با کمترین سطح توان ارسال خود با سرخوشه ارتباط برقرار کند یا تمام گره‌های درون خوشه می‌بایست سطح توان یکسانی داشته باشند).

¹² Communication cost

¹³ Network lifetime

¹⁴ Frame

اگر این سطح توان برای گره‌های خوشه یکسان باشد، هزینه ارتباطی می‌تواند نسبتی با موارد زیر داشته باشد:

- درجه گره، اگر نیاز به توزیع بار میان سرخوشه‌ها باشد یا،
 - معکوس درجه گره، اگر نیاز به ایجاد خوشه‌های متراکم باشد.
- این بدین معنی است که گره، عضو سرخوشه با کمترین درجه می‌شود اگر نیاز به توزیع بار میان سرخوشه‌ها باشد، یا گره، عضو سرخوشه با بیشترین درجه می‌شود تا خوشه‌های ایجاد شده متراکم باشند. حالتی را فرض کنید که سطوح توان متغیر برای ارتباطات درون خوشه مجاز باشد. $MinPwr_i$ حداقل سطح توان مورد نیاز برای گره V_i است، تا بتواند با یک سرخوشه (مثلاً u)، ارتباط برقرار کند. $AMRP$ ، بعنوان میانگین حداقل سطوح توان مورد نیاز برای تمام M گره درون خوشه بمنظور ارتباط با u در نظر گرفته شده است: $AMRP(u) = \frac{\sum_{i=1}^M MinPwr(i)}{M}$. اگر هر گره مجاز به انتخاب سطح مناسبی از توان برای دسترسی به سرخوشه خود باشد، $AMRP$ تخمین خوبی را از هزینه ارتباطی ارائه می‌دهد.

بطور خلاصه می‌توان گفت که این پروتکل از دو فاز راه‌انداز و حالت پایدار تشکیل شده است و ویژگی‌های زیر را دارد:

- انتخاب سرخوشه در یک روال تکراری انجام می‌شود.
- یک سرخوشه انتخاب‌شده فقط همسایه‌های خود را مطلع می‌کند.
- روال خوشه‌بندی در $O(1)$ تکرار پایان می‌پذیرد.
- هر گره به دقیقاً یک خوشه متعلق است و می‌تواند مستقیماً با سرخوشه خود ارتباط برقرار کند.
- در انتهای فاز راه‌انداز، گره‌های سرخوشه زیرساختی را در شبکه ایجاد می‌کنند تا داده‌ها را (از طریق مسیریهای چند گامی¹⁵ روی سایر گره‌های سرخوشه) به ایستگاه پایه ارسال کنند.

مزایای پروتکل HEED به شرح زیر می‌باشد:

- احتمال این‌که دو گره‌ی که در حوزه‌ی ارسال هم هستند هر دو سرخوشه بشوند، کم است. بر خلاف LEACH توزیع سرخوشه‌ها در HEED بخوبی انجام می‌شود.
- انرژی مصرفی برای تمام گره‌ها یکنواخت در نظر گرفته نشده است.
- برای یک حوزه‌ی ارسال مشخص شده برای گره، احتمال انتخاب سرخوشه می‌تواند بگونه‌ای تنظیم شود که اتصالات برون خوشه‌ای¹⁶ را تضمین کند.

- با در نظر گرفتن دو پارامتر (انرژی باقی‌مانده و هزینه ارتباطی) ایده جالبی را مطرح کرده است. محدودیت‌های پروتکل HEED به شرح زیر می‌باشد:
- در HEED، سرخوشه‌های موقت بطور تصادفی بر اساس انرژی باقی‌مانده‌شان انتخاب می‌شوند. بنابراین، HEED نمی‌تواند تضمین کند سرخوشه‌های بهینه‌ای بر اساس انرژی انتخاب کرده است. زیرا اولاً از هزینه ارتباطی به عنوان پارامتر دوم برای انتخاب سرخوشه استفاده کرده و ثانیاً این انتخاب احتمالی است.
- در فاز دوم، بسیاری از پیام‌های `cluster_head_msg` بصورت غیر ضروری ارسال می‌شوند و در نتیجه سربار ارتباطی زیادی را ایجاد می‌کنند.

۲-۳ HEED-NPF

این پروتکل توسعه‌ای بر پروتکل HEED محسوب می‌شود. چهار پیشرفتی که این پروتکل بر پروتکل HEED دارد عبارتند از:

- انتخاب سرخوشه‌ها بصورت غیر احتمالی انجام می‌شود.
- هزینه ارتباطی با دو معیار درجه گره و مرکزیت گره در خوشه، توسط منطق فازی [11] و [12] محاسبه می‌شود.
- پس از محاسبه هزینه ارتباطی توسط هر گره، نیازی به همه-پخشی آن نیست. زیرا هزینه ارتباطی در قالب پیام‌های `cluster_head_msg` به گره‌های همسایه ارسال می‌شود.
- گره‌ها از کنترل توان برای تغییر مقدار توان ارسال خود استفاده می‌کنند. بدین معنی که سطوح توان ارسال از قبل تعیین‌شده‌ای ندارند و بر اساس فاصله توان ارسال خود را تنظیم می‌کنند (بر خلاف پروتکل HEED که شش سطح توان ارسال از پیش تعیین‌شده دارد).

پروتکل HEED-NPF در مقایسه با هر سه هزینه ارتباطی پروتکل HEED (`node degree`، `1/node degree`، `AMRP`) طول عمر شبکه را بیشتر افزایش می‌دهد.

۳- معیارهای ارزیابی

فرض کنید N گره $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ در شبکه حسگر وجود دارند و از میان آن‌ها k گره $\{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ که $k \ll N$ بعنوان سرخوشه انتخاب شده‌اند که به ترتیب خوشه‌های $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ را سازماندهی می‌کنند. تعداد گره‌های این خوشه‌ها $\{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ هستند. با در نظر گرفتن این مفروضات، در ادامه این بخش معیارهای ارزیابی کیفی خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه می‌شوند.

۳-۱) مرکزیت سرخوشه در خوشه

¹⁵ Multi hop

¹⁶ Inter-cluster

برای ارزیابی این معیار باید ابتدا میانگین فاصله هر سرخوشه تا اعضایش را محاسبه و سپس از جواب‌های حاصله برای کل سرخوشه‌ها میانگین‌گیری کنیم. اگر فاصله هر گره i تا سرخوشه‌اش با L_i ($L_i \geq 0$) نشان داده شود (زمانی که گره S_i خودش سرخوشه باشد L_i برابر با صفر می‌شود)، داریم:

$$\text{Centrality} = \frac{\sum_{j=1}^k (\sum_{i \in \text{cluster } j} l_i) / n_j}{k}$$

هر چه مقدار centrality کمتر باشد بدین معنی است که بطور کلی سرخوشه‌ها بیشتر در مرکز خوشه واقع‌اند و هر چه سرخوشه به مرکز خوشه نزدیک‌تر باشد:

- ارتباط سایر گره‌ها با سرخوشه به مصرف انرژی کمتری نیاز دارد، زیرا مصرف انرژی برای ارسال پیام در این شبکه‌ها با مجذور فاصله میان فرستنده و گیرنده ارتباط مستقیم دارد. بنابراین، هر چه این فاصله کمتر باشد مصرف انرژی گره‌ها برای تبادل اطلاعات با سرخوشه کمتر شده و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد.

تداخل امواج بین سرخوشه‌ها کاهش می‌یابد. اگر فرض کنیم که سرخوشه‌ها در مرکز خوشه نباشند این احتمال وجود دارد که سرخوشه‌ها در حوزه یکدیگر قرار گرفته باشند و تداخل امواج بوجود آمده موجب اتلاف منابع شبکه شود.

۲-۳) توزیع سرخوشه‌ها در محیط

برای ارزیابی این معیار باید میانگین فاصله هر سرخوشه تا سایر سرخوشه‌ها را محاسبه و سپس میانگین کل را مطابق فرمول زیر بدست آوریم:

$$\text{Distribution} = \frac{\sum_{j=1}^k (\sum_{i=1, i \neq j}^k \text{distance}(S_j, S_i)) / (k-1)}{k}$$

هر چه مقدار Distribution بیشتر باشد، بدین معنی است که بطور کلی سرخوشه‌ها بهتر در محیط توزیع شده‌اند و هر چه سرخوشه‌ها بهتر در محیط توزیع شده باشند:

- میانگین فاصله هر گره تا سرخوشه‌اش کمتر شده و بنابراین مصرف انرژی گره‌ها برای ارسال پیام به سرخوشه کاهش می‌یابد. این مسأله باعث مقیاس‌پذیری بیشتری در تعداد گره‌ها خواهد شد.

از طرفی توزیع خوب سرخوشه‌ها در محیط باعث می‌شود که داده‌های دریافت شده از سایر گره‌ها در سرخوشه با هم افزونگی داشته و الگوریتم‌های تجمیع و ترکیب بتوانند اندازه‌های نهایی داده‌های ارسالی به ایستگاه پایه را به شکل قابل توجهی در سرخوشه کاهش دهند.

۳) اتلاف منابع شبکه ناشی از تداخل امواج سرخوشه‌ها با هم کاهش می‌یابد.

۴) همچنین در پروتکل‌هایی که از مسیریابی چندگامی برای ارسال داده‌های تجمیع شده سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه استفاده می‌کنند توزیع هر چه بهتر سرخوشه‌ها می‌تواند باعث ایجاد تعداد پرش‌های بیشتر و در نتیجه کاهش بیشتر انرژی مصرفی برای تبادل پیام‌ها شود.

۳-۳) اختلاف تعداد گره‌ها در خوشه‌ها

برای ارزیابی این معیار باید بزرگترین اختلاف تعداد گره‌های درون خوشه در هر زمان محاسبه شود:

$$\text{Cluster Load} = \max(n_i - n_j), \forall i, j, 1 \leq i, j \leq k$$

هر چه این مقدار کمتر باشد:

بدین معنی است که گره‌ها بطور یکنواخت‌تری در خوشه‌ها قرار دارند و تفاوت تعداد گره‌های درون خوشه کمتر است. بنابراین توزیع بار بهتری در میان سرخوشه‌ها انجام شده است. توزیع بار بهتر در میان سرخوشه‌ها سبب می‌شود که انرژی سرخوشه‌ها بطور یکنواخت مصرف شده و طول عمر شبکه افزایش یابد.

۴-۳) عضویت گره‌ها در نزدیک‌ترین سرخوشه

اگر تعداد گره‌هایی که عضو نزدیک‌ترین سرخوشه‌شان شده‌اند m باشد:

$$\text{Proximity} = \frac{m}{N-k}$$

هر چه این مقدار بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که درصد بیشتری از گره‌های غیر سرخوشه عضو نزدیک‌ترین سرخوشه‌شان شده‌اند. اگر گره‌ها در نزدیک‌ترین سرخوشه‌شان عضو شوند:

- مصرف انرژی آن‌ها برای ارسال پیام به دلیل نزدیکی به سرخوشه کمتر می‌شود.
- تداخل امواج آن‌ها با گره‌های خوشه‌های دیگر کاهش می‌یابد.

گاهی نمی‌توان تمامی این معیارها را بهینه نگاه داشت زیرا برخی از آن‌ها با هم tradeoff دارند و ممکن است افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود. معمولاً پروتکل‌هایی که این معیارها را بطور قابل توجهی برآورده می‌کنند مصرف انرژی کمتر و در نهایت طول عمر شبکه بیشتری دارند. همچنین این پروتکل‌ها قابلیت مقیاس‌پذیری بالاتری نیز دارند.

۴- نتایج شبیه‌سازی

پروتکل‌های مورد بحث بر مبنای مفروضات جدول (۱) توسط نرم-افزار MATLAB شبیه‌سازی شده‌اند.

زیرا کیفیت خوشه‌بندی این پروتکل در مجموع بهتر است، بنابراین طول عمر بیشتری را ارائه می‌دهد.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای استفاده شده

پارامتر	مقدار
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
E_{elec}	50 nJ/bit
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Idle power	13.5 mW
Sleep power	15 μ W
Threshold distance (d_0)	75 m
Initial energy per node	2 J
Round time	20 sec
Round	5 frame
Data packet size	100 byte
Control packet size	25 byte

ما یک مدل ساده مانند [3] برای مصرف انرژی سخت افزار بیسیم فرض کردیم.

ما در قالب یک آزمایش پروتکل‌ها را با هم مقایسه کردیم. در این آزمایش ۱۰۰ گره بطور تصادفی (اما با توزیع یکنواخت) در محیطی با ابعاد ۱۰۰m * ۱۰۰m پراکنده‌اند و مرکز اصلی در مختصات (۵۰، ۱۷۵) قرار دارد.

اندازه شعاع خوشه (R_c) را برای الگوریتم‌های HEED و HEED-NPF، $40/5m$ در نظر گرفته‌ایم. این مقدار با توجه به آزمایش‌های مختلف و با هدف این که تعداد سرخوشه‌ها برای سه پروتکل تقریباً ۵ عدد باشد، انتخاب شده است. زیرا پروتکل LEACH تقریباً ۵٪ نوده‌های شبکه را بعنوان سرخوشه انتخاب می‌کند.

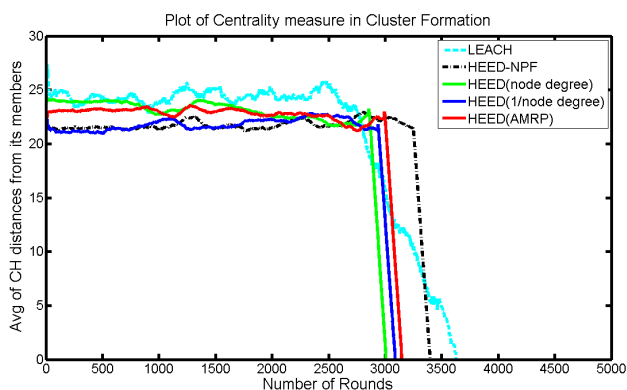
نمودارهایی به منظور نمایش معیارهای مورد ارزیابی، تعداد سرخوشه‌ها، تعداد گره‌های زنده در هر دوره و ارزیابی‌های مختلف طول عمر شبکه ارائه شده است. به کمک نتایج این شبیه‌سازی، می‌توان درباره کیفیت خوشه‌بندی پروتکل‌ها اظهار نظر کرد.

شکل (۱) نشان‌دهنده میزان مرکزیت سرخوشه در خوشه می‌باشد. همانطور که از این نمودار پیداست HEED و HEED-NPF بهتر از پروتکل LEACH عمل می‌کنند زیرا سرخوشه‌ها پیام‌های تشکیل خوشه را در محدوده شعاع خوشه ارسال می‌کنند و همچنین در این دو پروتکل سرخوشه‌ها بخوبی در محیط توزیع شده‌اند. شکل (۲) به بررسی این موضوع می‌پردازد. بخوبی از این شکل پیداست که توزیع سرخوشه‌ها در LEACH بدتر از دو پروتکل دیگر انجام شده است.

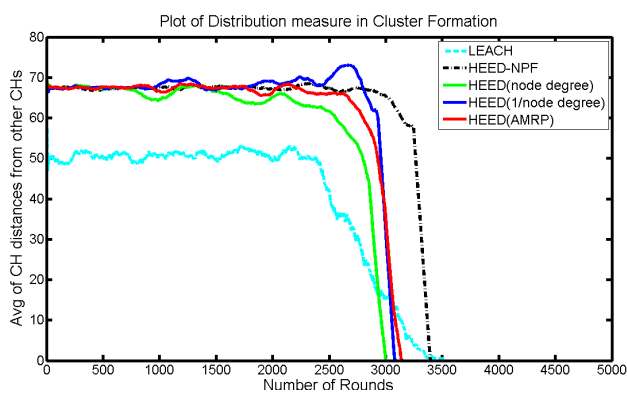
شکل (۳) بار کاری سرخوشه‌ها را نشان می‌دهد. شکل گواه این مطلب است که پروتکل HEED-NPF بار کاری یکنواخت‌تری به سرخوشه‌ها تحمیل می‌کند.

شکل (۴) معیار مجاورت را ارزیابی می‌کند، در اینجا LEACH بهتر عمل می‌کند زیرا هر گره عضو نزدیک‌ترین سرخوشه‌اش می‌شود. در صورتی که در دو پروتکل دیگر، هر گره عضو سرخوشه با کمترین هزینه در همسایگی‌اش می‌شود. شکل (۵) تعداد سرخوشه‌ها و شکل (۶) تعداد گره‌های زنده (طول عمر شبکه) را نشان می‌دهد.

شکل (۷) نیز ارزیابی را بر اساس معیارهای ^{18}HNA ، ^{17}FND و ^{19}LND نشان می‌دهد. در این شکل، پروتکل HEED-NPF در هر سه معیار برتری خود را نشان می‌دهد. این موضوع کاملاً قابل پیش‌بینی بود



شکل (۱): نمودار نشان‌دهنده مرکزیت سرخوشه در خوشه.

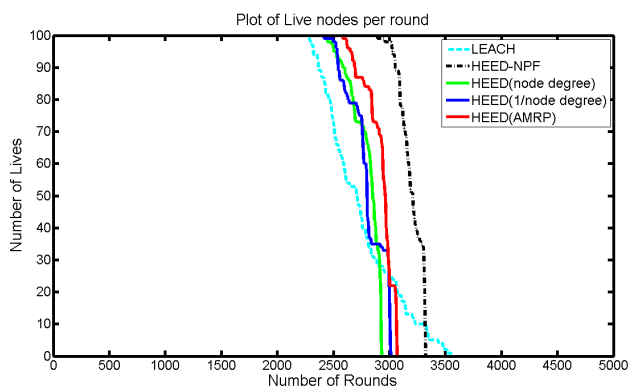


شکل (۲): نمودار نشان‌دهنده توزیع سرخوشه‌ها در محیط.

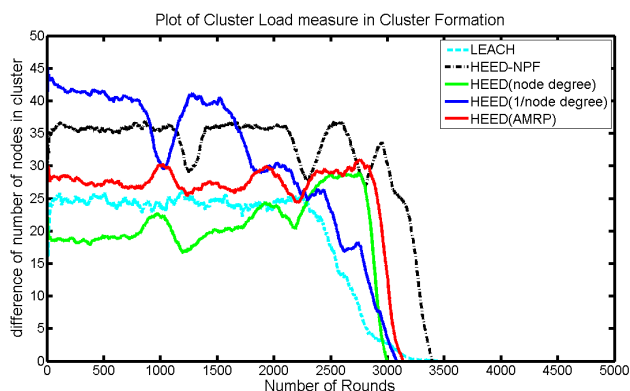
¹⁷ First Node Dies

¹⁸ Half of Nodes Alive

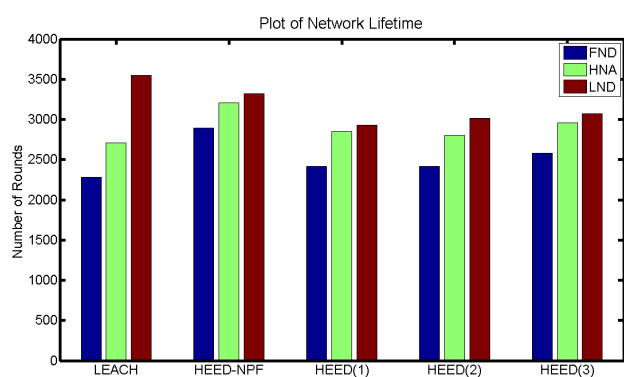
¹⁹ Last Node Dies



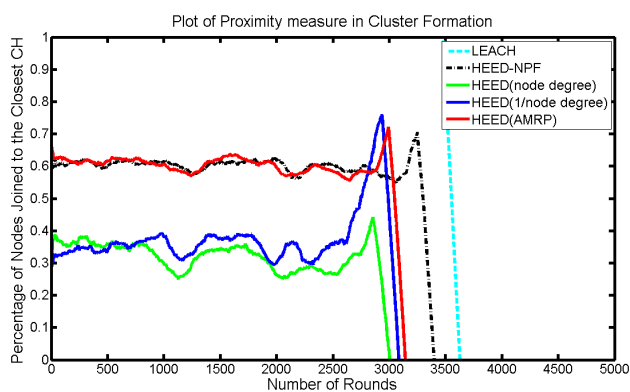
شکل (۶): نمودار نشان‌دهنده تعداد گره‌های زنده.



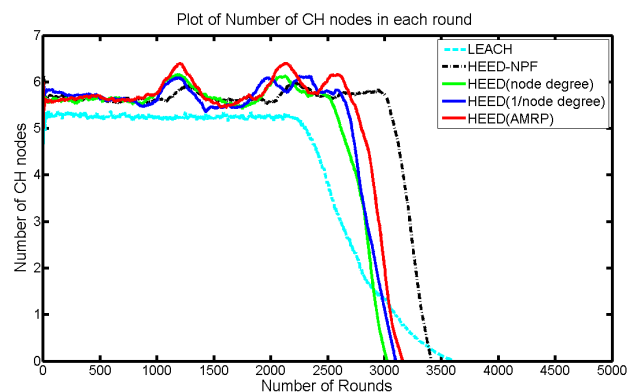
شکل (۳): نمودار نشان‌دهنده بار کاری تحمیل شده به سرخوشه‌ها.



شکل (۷): نمودار تعاریف گوناگون طول عمر شبکه.



شکل (۴): نمودار نشان‌دهنده نزدیکی گره‌های عضو به سرخوشه‌ها.



شکل (۵): نمودار نشان‌دهنده تعداد سرخوشه‌ها در هر دوره.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، ما پس از مرور چندین پروتکل ارائه شده و معرفی معیارهای ارزیابی، چند پروتکل انرژی-کارآمد متفاوت را از لحاظ معیارهای کیفی خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بیسیم با هم مقایسه کردیم. خوشه‌بندی بهتر نودهای شبکه باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود، بنابراین پروتکل‌ها باید بر هرچه بهتر انجام شدن خوشه‌بندی اهتمام ورزند.

۶- مراجع

- [1] W. B. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," *Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology*, June 2000.
- [2] I. Akiyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 1, no. 4, pp. 660–670, Oct. 2002.
- [4] O. Younis, S. Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed clustering approach for Ad Hoc sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366–379, 2004.

- Approach and Fuzzy Logic (HEED-NPF),” *IST’10*, Dec. 2010.
- [11] L. A. Zadeh, “Fuzzy Sets,” *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, Jun 1965.
- [12] L. A. Zadeh, “Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes,” *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, SMC-3*, vol. 1, pp. 28-44, Jan. 1973.
- [13] G. Ran, H. Zhang, S. Gong, “Improving on LEACH protocol of Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic,” *Journal of Information & Computational Science*, pp. 767-775, 2010.
- [14] S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, “Power-aware routing in mobile ad hoc networks,” in *Proc. 4th Annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing Networking (MobiCom)*, Oct. 1998.
- [15] M. C. M. Thein, T. Thein, “An Energy Efficient Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks,” *International Conference on Intelligent Systems, Modeling and Simulation*, pp. 287-291, 2010.
- [5] J. Greunen, J. Rabaey, “Lightweight Time Synchronization for Sensor Networks,” *WSNA’03*, Sept. 2003.
- [6] K. Akkaya, M. Younis, “A survey on routing protocols for wireless sensor networks,” *Elsevier Journal of Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, 325–349, 2005.
- [7] S. Soro, W. Heinzelman, “Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks”, *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 955–972, July 2009.
- [8] A. A. Abbasi, M. Younis, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” *Computer Communications*, vol. 30, pp. 2826–2841, June 2007.
- [9] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, “Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges,” *IEEE Network*, May/June 2006.
- [10] H. Taheri, P. Neamatollahi, M. Naghibzadeh, M. H. Yaghmaee Moghadam, “Improving on HEED Protocol of Wireless Sensor Networks using Non Probabilistic