

پروتکل خوشه بندی نابرابر توزیع شده انرژی آگاه بهبود یافته برای شبکه های

حسگر بی سیم ناهمگن

چکیده

در این مقاله، یک نسخه بهبود یافته از پروتکل خوشه بندی نابرابر توزیع شده انرژی آگاه (EADUC) ارائه شده است. پروتکل EADUC معمولاً برای حل مشکل فقدان انرژی در شبکه های حسگر بی سیم چند هاپی استفاده می شود. در EADUC، به محل ایستگاه پایه و انرژی باقی مانده به عنوان پارامترهای خوشه بندی اهمیت داده می شود. براساس این پارامترها، شعاع رقابت مختلفی به گره اختصاص داده می شود. در اینجا، یک رویکرد جدید به منظور بهبود کار EADUC، با انتخاب سخوشه با توجه به تعداد گره همسایگی علاوه بر دو پارامتر بالا مطرح شده است. گنجایش اطلاعات همسایگی برای محاسبه شعاع رقابت، تعادل انرژی بهتری در مقایسه با روش های موجود فراهم می کند. علاوه بر این، برای انتخاب گره هاپ بعدی، متریک به طور مستقیم از نظر هزینه انرژی به جای اطلاعات از راه دور مورد استفاده در EADUC و فاز انتقال داده در هر دور با گسترش تعداد جمع آوری داده ها از طریق استفاده از اسلات های بزرگ و کوچک تعریف می شود. روش مورد استفاده، جهت حفظ خوشه یکسان برای چند دور و در نتیجه کاهش سربار خوشه موثر است. عملکرد پروتکل ارائه شده تحت سه سناریو مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و از طریق شبیه سازی با پروتکل های موجود مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که این طرح پیشنهادی از نظر طول عمر شبکه در تمام حالات بهتر از پروتکل های موجود است.

کلیدواژه ها: EADUC، فقدان انرژی، مسیریابی چند هاپ، طول عمر شبکه، شبکه های حسگر بی سیم

1. معرفی

شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) براساس بسیاری از محدودیت‌های مشخص منابع مانند انرژی، قدرت پردازش، ذخیره‌سازی و محدوده انتقال مشخص می‌شوند. علاوه بر این عوامل، انرژی حسگرها، از محدودیت‌های اساسی منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. بسیاری از کارهای تحقیقاتی در دهه گذشته برای رسیدگی به این چالش انجام شده است [1-3]. WSN ها برای جمع‌آوری داده‌های کاربردی که شامل مقدار زیادی از منطقه از جمله مناطق زراعی، جنگل‌ها، معادن زغال سنگ، نظارت تونل راه‌آهن، نظارت سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک در یک شبکه و غیره هستند کاربرد دارد و WSN ها نیاز به داده‌هایی از تمام مکان‌ها دارند [4، 2-6]. ایستگاه پایه (BS) در بسیاری از موارد دور از حسگرها قرار دارد. در چنین شبکه‌هایی، داده‌ها به‌صورت دوره‌ای توسط BS جمع می‌شوند. خوشه‌بندی با توپولوژی سلسله‌مراتبی برای تحقق نظارت مستمر شبکه‌ها پرکاربرد است [7-11]. که نشان داده است خوشه‌بندی شبکه، طول عمر بیشتری از شبکه با انتقال مستقیم داده‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. نشان داده شده است که طول عمر شبکه توسط یک عامل حدودا 2 یا 3 بار با خوشه‌بندی بهبود می‌یابد [12].

مزایای بسیاری برای استفاده از پروتکل‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های جمع‌آوری داده‌ها وجود دارد. در شبکه‌ی متراکم، به‌طور معمول حجم زیادی از ترافیک بین سنسورها وجود دارد، که منجر به دخالت و پس از آن برخورد می‌شود. انتظار می‌رود که گروه‌بندی سنسورها تعداد مسافت‌های طولانی را به‌حداقل برساند و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. در خوشه‌بندی، زمان بیکاری گره‌های سنسور طبیعی (اعضای خوشه) استخراج می‌شود، در حالی که سرخوشه‌ها موجب هماهنگی فعالیت‌های گره‌های عضو و در نتیجه صرفه‌جویی انرژی [13] می‌شوند. برنامه‌ریزی فعالیت تا حد زیادی از طریق TDMA براساس برنامه‌ریزی اجرا می‌شود [5، 11، 14، 15]. همچنین خوشه‌بندی، جمع‌آوری داده‌ها در سرخوشه (CH) را با کاهش تعداد بسته داده‌های منتقل شده تسهیل می‌کند، که به کاهش مصرف انرژی در گره‌های حسگر کمک می‌کند [13].

ارتباطات در پروتکل‌های خوشه‌بندی در دو مرحله انجام می‌گیرد، ابتدا درون خوشه، به‌عنوان مثال در داخل خوشه، و دوم بین خوشه، به‌عنوان مثال بین خوشه‌ها و BS. علاوه بر این، ارتباطات در پروتکل خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر

بی سیم را می توان یا با به کارگیری انتقال هاپ و یا مسیریابی چند هاپ انجام داد [16,17]. بسیاری از پروتکل های خوشه بندی از ارتباطات تک هاپ برای برقراری ارتباط در داخل خوشه استفاده می کنند، همانگونه که فاصله بین سنسورها در داخل خوشه نسبتا کوتاه است، به عنوان مثال، [11] LEACH، [15] LEACH-DT، [18] HEED، و غیره. تحقیقات مطرح شده در کارهای گذشته بیان می کند که ارتباطات چند هاپ بین گره های حسگر و سرخوشه بیش از ارتباطات تک هاپ برای مصرف موثر انرژی کارآمد است. این زمانی اتفاق می افتد که گره های حسگر در مناطق با پوشش گیاهی متراکم و یا ساختمان یا کارخانه مستقر شده باشد [1,16]. در چنین مواردی، ارتباطات چند هاپ در غلبه بر دشواری انتشار سیگنال موفق است [1,7]. با این حال، انتقال مستقیم نه تنها به دلیل پراکندگی انرژی رادیو بلکه به دلیل پذیرش نیز مفید است. ولی یک محدودیت در انتقال مستقیم وجود دارد. این مورد فقط برای استفاده از آن تا فاصله آستانه ی خاصی خوب است [19]. به این خاطر در صورت انتقال از راه دور فراتر از فاصله آستانه، هزینه انرژی با توجه به توان چهارم فاصله افزایش می یابد [15,20]. همانگونه که گره های حسگر انرژی محدود هستند، آنها معمولا محدودی انتقال محدود دارند. بنابراین، به منظور افزایش مقیاس پذیری شبکه، ارتباطات چند هاپ ترجیح داده می شود [21]. در صورت ارتباط از گره سرخوشه به BS، اگر BS دور از میدان سنسور باشد بهتر است از ارتباطات چند هاپ استفاده شود [19]. تعدادی پروتکل خوشه بندی توسعه یافته وجود دارد که از ارتباطات چند هاپ برای ارتباطات درون خوشه با انرژی کارآمد استفاده می کند. چند هاپ [22] LEACH، [23] EADC، [24] EDUC، و غیره برخی از این پروتکل ها هستند.

یکی از نگرانی های اصلی در شبکه های حسگر بی سیم افزایش طول عمر شبکه است چرا که پس از ناکارآمدی شبکه، مقدار قابل توجهی از انرژی نباید در گره ها باقی بماند، در غیر این صورت ائتلاف انرژی است. بسیاری از کارهای تحقیقاتی، طول عمر شبکه را به زمانی که اولین گره می میرد (FND) تعریف کرده اند. ایده پشت این فرض این است که تمام گره های شبکه تقریبا در زمان یکسانی به منظور جلوگیری از دست رفتن زودرس پوشش سنجش و پارتیشن بندی شبکه می میرند [8,11,15,18]. اما، همان گونه که طول عمر به برنامه ها بستگی دارد، اولین گره مرده به عنوان طول عمر تعریف می شود [25]. انواع مختلف برنامه های کاربردی برای حسگر وجود دارد [26] و در نتیجه، جهت فراهم نمودن

نیازمندی‌های مختلف نرم‌افزار، طول عمر شبکه طی مراحل مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، به‌عنوان مثال زمانی که اولین گره می‌میرد، و یا درصد معینی از گره‌ها شکست می‌خورند [27]. در هر صورت، شبکه باید مستقل عمل کند و اعمال خود را در طول عمرش تضمین کند [28].

در یک پروتکل خوشه‌بندی، CH برای انجام کارهای مختلف مانند تشکیل خوشه‌بندی، جمع‌آوری داده‌ها و انتقال داده‌ها به‌شدت سنگین است. بنابراین سر خوشه مصرف انرژی بیشتری نسبت به گره غیر CH دارد. در انتقال درون خوشه برای هر دو نوع ارتباطات، تک‌هاپ و چند هاپ، مشکل اجتناب‌ناپذیر عدم تعادل انرژی در میان گره‌های سنسور وجود دارد [24]. برای ارتباطات تک‌هاپ، سر خوشه‌هایی که دور از BS هستند به دلیل انتقال از راه دور تخلیه انرژی می‌شوند. اما هنگام استفاده از ارتباطات چند هاپ در پروتکل‌های خوشه‌بندی، سرخوشه‌های نزدیک پایگاه به دلیل بار اضافی ترافیک به‌سرعت تخلیه انرژی می‌کنند. بار نامتعادل ارتباطات در فقدان انرژی و یا منطقه داغ نتیجه می‌شود. با توجه به این، از دست دادن پوشش سنسورها و پارتیشن‌بندی شبکه رخ می‌دهد و در نهایت بر کارایی شبکه تاثیر می‌گذارد. تحقیقات قبلی [29] نشان داده است که اگر سنسورها به‌طور یکنواخت در منطقه مورد علاقه توزیع شوند، زمانی که طول عمر شبکه به پایان می‌رسد 90 درصد از کل انرژی سنسور بدون استفاده می‌ماند، یعنی زمانی که اولین گره مرده است. این مورد در مرجع 30 ثابت شده است که به دلیل پارادایم ارتباطات چند به یک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تخلیه انرژی نامتعادل در میان تمام سنسورها غیر قابل اجتناب است. برای به‌حداکثر رساندن طول عمر شبکه، مصرف انرژی در میان تمام گره‌های شبکه باید تعدیل شود. به‌تازگی، تحقیقات زیادی برای نشان دادن عدم تعادل انرژی و مسئله کاهش انرژی برای شبکه گیرنده بی‌سیم انجام شده است. تعدادی از استراتژی‌ها مانند استفاده از تحرک گره [31,32]، همزمانی تلفن‌همراه [33-36]، به‌کارگیری سلسله مراتبی [37]، خوشه‌بندی غیریکنواخت [8,24,38]، فشرده‌سازی داده و تجمع ترافیک [36,39]، توزیع گره [2,29,30,40] و غیره برای حل مشکل فقدان انرژی ارائه شده است.

در این مقاله، تلاشی برای بهبود عمر شبکه در پروتکل EADUC مورد استفاده در نظارت مستمر برنامه‌های کاربردی صورت گرفته است [38]. EADUC الگوریتم خوشه‌بندی غیریکنواخت را برای کاهش مشکل فقدان انرژی به‌کار برده

است. ایده اصلی در طرح پیشنهادی ما این است که در طول انتخاب سرخوشه، انتساب شعاع رقابتی گره نه تنها براساس عامل فاصله و انرژی باقی مانده گره که در EADUC استفاده شده است، بلکه بنا به یک عامل سوم، تعداد گره همسایه، نیز صورت می گیرد. اطلاعات همسایگی به عنوان پارامتر خوشه بندی برای گسترش طول عمر شبکه در نظر گرفته می شود. یکی دیگر از ایده های کلیدی مورد استفاده در این مقاله، بهبود پروتکل EADUC در طول روند انتخاب از ترافیک است. هزینه های درگیر در تقویت، از نظر انرژی، به عنوان معیارهایی برای انتخاب یکی از گره های ممکن به عنوان گره تقویتی به جای اطلاعات مسافت مورد استفاده در EADUC مشخص می شوند. طرح پیشنهادی به مصرف انرژی گره ها در شبکه برای توزیع یکنواخت همانند توزیع غیر یکنواخت اشاره دارد. به منظور افزایش طول عمر شبکه، ایده ی گسترش مرحله انتقال داده ها با تقسیم به اسلات های عمده و اسلات های کوچک به طور موثر با خوشه بندی پیشنهادی و روش تقویتی استفاده شده در مرجع 41 ترکیب می شود. جمع آوری داده ها در هر حافظه کوچک با استفاده از خوشه های یکسان تشکیل می شود. بعد از هر حافظه بزرگ، چرخش سرخوشه در محدوده ی خوشه فعلی و تحویل اعضای خوشه صورت می گیرد. رویکرد پیشنهادی سربار خوشه را کاهش می دهد و در نتیجه موجب افزایش طول عمر شبکه می شود. کارایی پروتکل ارائه شده با پروتکل های موجود با استفاده از طول عمر شبکه به عنوان متریک کارایی مقایسه می شود.

ادامه این مقاله به شرح زیر است: بخش 2 بررسی کارهای مرتبط و بخش 3 ارائه مدل سیستم است. بخش 4 توصیف عملیات پروتکل ارائه شده با جزئیات و بخش 5 تجزیه و تحلیل ویژگی های پروتکل را بیان می کند. بخش 6 نتایج شبیه سازی طرح های سنسور ما را انجام می دهد و آن را با پروتکل های موجود مقایسه می کند. بخش 7 شامل نتیجه گیری مقاله است.

2. کارهای مرتبط

کار پژوهش های پیشین در مورد الگوریتم های خوشه بندی براساس چرخش نقش سرخوشه ها در هر دور، و انتخاب سرخوشه با انرژی بیشتر به منظور افزایش طول عمر شبکه می باشد. پروتکل PIONEER موجود در این دسته، پروتکل

خوشه‌بندی سلسله مراتبی با تطبیق کم انرژی است (LEACH) [20]. پروتکل LEACH ارتباطات تک هاپی را بین گره‌ها و به پایه ایستگاه فرض می‌کند. این باعث می‌شود تا برای شبکه‌های در مقیاس بزرگ نامناسب باشد. بسیاری از پروتکل‌های مبتنی بر LEACH که در گذشته توسعه یافته‌اند بر روی پروتکل LEACH، مانند LEACH-DT [15] و یا نوع چند هاپ از LEACH، به نام M-LEACH [1] بهبود یافته‌اند. الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده‌ی ترکیبی با انرژی کارآمد (HEED) در مرجع 18 مطرح شده است، که سرخوشه را نه تنها با توجه به انرژی باقی‌مانده گره بلکه هزینه ارتباطات داخل خوشه انتخاب می‌کند. آن از ارتباطات چند هاپ در میان سرخوشه برای ارتباط بین خوشه استفاده می‌کند. این مورد در طولانی‌تر شدن طول عمر شبکه موفقیت‌آمیز عمل می‌کند اما در تعادل بار ارتباطات موثر نیست و همانند گره نزدیک به BS هنوز هم سریع‌تر می‌میرند. پروتکل دیگر، الگوریتم خوشه‌بندی کارآمد انرژی و توزیع شده (DEEC) است [42]. در DEEC، سرخوشه‌ها توسط یک احتمال که براساس نسبت انرژی باقی‌مانده از یک گره و به‌طور متوسط براساس انرژی شبکه می‌باشد انتخاب می‌شوند. در تمام این طرح خوشه‌بندی با انرژی کارآمد، هر چند چرخش متناوب تابع سرخوشه می‌بیند که گره از طریق انرژی به طور مساوی اجرا می‌شود، اما در اجتناب از مشکل فقدان انرژی داده شبکه‌های حسگر بی‌سیم موثر نیست. بسیاری از روش‌ها در کارهای گذشته برای غلبه بر مشکل فقدان انرژی مطرح شده‌اند و در نتیجه طول عمر شبکه را به‌حد اکثر می‌رسانند. روش‌هایی برای غلبه بر مشکل فقدان انرژی به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند [43]. روش‌های اول رویکرد رسیدگی دارند، مانند گسترش رسیدگی [35]، به‌عنوان مثال TTDD [44]، فشرده‌سازی ترافیک و تجمع [39]. گره‌های انرژی اولیه بزرگتر را می‌توان در منطقه مصرف انرژی بزرگتر مستقر کرد، به‌عنوان مثال با استفاده از ناهمگنی انرژی [35]، و یا همانند TTDD [44]، که استقرار سلسله مراتبی نامیده می‌شود. در طرح TTDD، تعدادی از گره‌های اختصاص داده شده با داشتن ظرفیت باتری بزرگتر و محدوده انتقال بزرگتر مستقر می‌شوند. این گره‌های اختصاص داده شده یک منطقه در سمت بالای سنسور به‌طور منظم ایجاد می‌کنند که انرژی اولیه کمتری دارند و در نتیجه در کاهش مشکل فقدان انرژی کمک می‌کنند. نوع دوم که براساس استراتژی توزیع گره است در مراجع [29]، [30]، [45] و [46] مورد مطالعه قرار گرفته است. بیشترین تعداد گره را می‌توان در نزدیکی BS مستقر کرد. همچنین در مرجع [47]، گره‌ها با کمک تابع توزیع از پیش

مشخص شده تعیین شده‌اند. رویکرد سوم براساس تنظیم محدوده انتقال است [35,43,48]. طرح محدوده انتقال به تنظیم برای به حداکثر رساندن سنسور طول عمر شبکه در مرجع 43 پرداخته است. مشکل فقدان انرژی با تنظیم شعاع محدوده‌ی سنسور ارتباطات در مرجع 35 حل شده است. اما این راه‌حل یک محدودیت شدید در اندازه میدان سنسور دارد. تحرک همزمانی، جایگزین دیگری برای حل مشکل فقدان انرژی است [36,48]. در مرجع 36، تحرک ایستگاه پایه برای شبکه رویداد محور در نظر گرفته شده است. نویسندگان در مرجع 33 تحرک ایستگاه پایه و روش مسیریابی چند هاپ برای گسترش طول عمر در WSN را پیشنهاد کرده‌اند. اشکال عمده این روش امکان‌پذیر نبودن آن است. این روش‌ها مستلزم هزینه بالا و پایین در بهره‌وری انرژی هستند [46].

در چند سال گذشته محققان، استراتژی برای بررسی مشکل فقدان انرژی به صورت سلسله‌مراتبی (براساس خوشه) در شبکه گیرنده بی‌سیم بیان کردند. الگوریتم‌های کارآمد انرژی بسیاری با استفاده از روش خوشه‌بندی با اندازه برابر و نابرابر توسعه یافته‌اند. در اینجا ما خوشه‌بندی با اندازه نابرابر برای مقابله با مشکل مصرف انرژی میان گره‌های حسگر از شبکه تعریف می‌کنیم. اولین الگوریتم ارائه شده در استفاده از اندازه نابرابر، مدل خوشه‌بندی با اندازه نابرابر است (UCS) [8]، که خوشه‌هایی نابرابر برای کاهش سرخوشه‌ها و حصول اطمینان از تعادل بهتر اتلاف انرژی در میان گره‌ها ایجاد می‌کند. در این کار شبکه ناهمگن و استقرار قطعی سرخوشه‌ها در مکان‌های از پیش محاسبه شده برای کنترل اندازه خوشه انجام می‌گیرد. که بهبود بیش از 10-30 درصدی در اندازه خوشه، بسته به بهره‌وری تجمع گره CH به دست می‌آورد. در EEUC [49]، یک الگوریتم خوشه‌بندی و توزیع شده برای برنامه‌های کاربردی جمع‌آوری داده‌ها طراحی می‌کند، که گره‌های شبکه با استفاده از خوشه‌بندی نابرابر و مسیریابی چند هاپ را به‌طور موثر سازماندهی می‌کند. اما در این روش انتخاب سرخوشه به صورت احتمالاتی است بنابراین گره انفرادی می‌تواند تولید شود.

علاوه‌براین با استفاده از خوشه‌بندی نابرابر برای حل عدم تعادل انرژی، کار با استفاده از انرژی کارآمد مسیریابی چند هاپ برای صرفه‌جویی در انرژی گره‌ها انجام شده است. در این گروه، EEMR [50]، یک پروتکل مسیریابی چند هاپ انرژی آگاه طراحی شده است. که از BS برای انتخاب مسیر بهینه برای انتقال داده‌ها بین گره منبع و گره همزمان

استفاده می‌کند. با استفاده از انرژی BS برای انتخاب مسیر با مسیریابی و دیگر پیام‌های کنترل، انرژی گره‌های شبکه محفوظ است. پروتکل مسیریابی براساس خوشه نابرابر (UCR) [51] الگوریتم دیگری برای در نظر گرفتن مشکل نقطه داغ در شبکه‌های سنسور چند هاپ ارائه شده است. همچنین خوشه‌های نابرابری با استفاده از محدوده رقابت و برای ارتباطات درون خوشه تشکیل می‌دهد، که از پروتکل مسیریابی حریص جغرافیایی و انرژی آگاه استفاده می‌کند. استراتژی مسیریابی در این مقاله از هر دو روش انرژی باقی‌مانده و انتقال پارامترهای فاصله برای تعادل مصرف انرژی در سراسر شبکه استفاده می‌کند.

روش دیگر، پروتکل خوشه‌بندی نابرابر انرژی محور (EDUC) [24]، یک الگوریتم خوشه‌بندی نابرابر توزیع‌شده و روش چرخش سر خوشه تطبیقی انرژی محور است. در این روش، انرژی مصرف شده در چرخش سرخوشه با سر خوشه قرار گرفتن گره تنها یک بار در طول طول شبکه کاهش می‌یابد. بنابراین، با کاهش هزینه‌های انرژی استفاده شده در چرخش سرخوشه، به بهره‌وری انرژی می‌رسیم. اما محدودیت‌هایی دارد که فقط برای شبکه‌های تک هاپ مفید است. در مرجع 52، یک پروتکل مسیریابی چند هاپ خوشه‌بندی نابرابر (UCMR) پیشنهاد شده است، که در آن هر خوشه، اندازه‌های مختلف براساس فاصله تا BS و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دیکسترا دارد و برای ارتباطات داخل خوشه و درون خوشه استفاده می‌شود. اما برخلاف پروتکل‌های دیگر که محل ناآگاه هستند، UCMR متکی به اطلاعات فیزیکی مکان است. نویسندگان مرجع [53] مشکل عدم تعادل انرژی را از طریق الگوریتم خوشه‌بندی نابرابر براساس انرژی و نزدیکی معرفی کردند (EPUC). سرخوشه‌ها براساس انرژی باقی‌مانده و نزدیکی آنها به BS انتخاب می‌شوند. این روش بر روی مناطق نزدیک BS برای مقابله با عدم تعادل انرژی همانگونه که منطقه دارای سربار با توجه به فعالیت است انتخاب می‌شود.

به‌تازگی پروتکل خوشه‌بندی نابرابر بر اساس تعادل انرژی (SMEBUC) در مرجع [54] ارائه شده است، که از الگوریتم بهبودیافته جهش قورباغه برای خوشه‌بندی شبکه و استراتژی جایگزینی سرخوشه استفاده می‌کند. سرخوشه یک بار به طور مداوم و با کاهش فرکانس، جایگزینی برای سرخوشه انتخاب می‌شود و موجب صرفه‌جویی در انرژی است. بسته به وزن، زمان تبادل سرخوشه تعیین می‌شود و سرخوشه‌ها از الگوریتم حریص برای تعیین گره مربوط به آن استفاده

می‌کنند. ارتباطات درون خوشه با استفاده از مسیریابی چندهاپ انجام می‌شود و یک آستانه برای جلوگیری از زنجیره واحد طولانی تشکیل می‌دهد. یکی دیگر از روش‌های جمع‌آوری کارآمد داده‌های انرژی در مرجع 41 با بهره‌گیری از خوشه‌بندی ترکیبی نابرابر ارائه شده است. در این روش، شبکه به لایه‌ها و خوشه‌ها تقسیم می‌شود. لایه ندی برای ارتباط بین خوشه، که چندهاپ در طبیعت است استفاده می‌شود. خوشه‌ها مستقل از لایه‌ها هستند و رویکرد ترکیبی از خوشه‌بندی ایستا و پویا مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس خوشه کاهش می‌یابد، که باعث کاهش سربار خوشه‌بندی می‌شود. همچنین از الگوریتم فشرده‌سازی داده‌ها در شبکه استفاده می‌کند که باعث بهبود طول عمر شبکه می‌شود.

3. مقدمات

الگوریتم EADUC بهبود یافته در این بخش ارائه شده است. شبکه در نظر گرفته شده شامل N گره حسگر تصادفی در یک میدان سنسور $M \times M$ است. گره‌ها و ایستگاه پایه پس از استقرار استاتیک می‌باشند. گره‌ها دارای انرژی جنبشی هستند، یعنی گره مستقر انرژی اولیه متفاوت دارد. BS دور از فیلد سنسور است و محل آن برای هر گره به فرض ناشناخته است. گره‌ها از کنترل قدرت برای تنظیم قدرت انتقال بسته در فاصله انتقال استفاده می‌کنند. گره‌ها محل آگاه نیستند، اما می‌توانند تخمینی از فاصله به گره توسعه یافته‌ی دیگر با قدرت سیگنال دریافت شده ارائه کنند. به‌صورت پیش فرض گره‌ها متقارن هستند [49,55]. سرخوشه‌ها می‌توانند داده‌های خود را به‌طور مستقیم با BS منتقل کنند. پیام‌های داده (DM) و پیام‌های کنترل (CM) از طریق لینک‌های بی‌سیم منتقل می‌شوند. علاوه بر این، فرض بر این است که داده‌های حس شده توسط گره‌ها بسیار در ارتباط هستند.

3.1. مدل انرژی

فرستنده انرژی را در حال اجرا الکترون‌های رادیویی و مدار تقویت کننده انتقال تلف می‌کند، درحالی‌که مصرف انرژی گیرنده تنها در بخش الکترونیک [11,20] است. همچنین بسته به فاصله انتقال، هر دو فضای آزاد و مدل‌های کانال

استفاده می‌شود. اگر فاصله کمتر از یک سطح آستانه باشد، مدل فضای آزاد استفاده می‌شود؛ در غیر این صورت مدل چندمسیری استفاده می‌شود. به هنگام انتقال داده l بیتی به فاصله d ، رادیو با توجه به معادله (1) قابل محاسبه است.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \\ = \begin{cases} l * E_{elec} + l * \epsilon_{fs} * d^2, & d < d_{th} \\ l * E_{elec} + l * \epsilon_{mp} * d^4, & d \geq d_{th} \end{cases} \quad (1)$$

هنگام دریافت داده‌ی یک بیتی، رادیو با توجه به معادله (2) قابل محاسبه است.

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) \\ = lE_{elec} \quad (2)$$

3.2. مدل تجمع داده

در کار حاضر، مدل تراکم بی‌نهایت برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است [7,20]. فرض بر این است که سر خوشه‌ها، داده‌ها را از گره‌های عضو آن جمع‌آوری می‌کنند و آن‌ها را در یک بسته واحد با طول ثابت بدون در نظر گرفتن تعداد بسته‌ها ادغام می‌کنند.

4. بهبود مکانیزم پروتکل EADUC

روش خوشه‌بندی مورد استفاده در عملیات مشابه به پروتکل EADUC است [38]. پروتکل در یک دور عمل می‌کند. پس از استقرار گره‌ها، هر گره ابتدا فاصله خود از BS را محاسبه می‌کند. برای این کار، BS یک سیگنال پخش می‌کند، که توسط تمام گره‌ها شنیده می‌شود. براساس دریافت قدرت سیگنال، هر گره فاصله‌اش تا BS را تخمین می‌زند. هر یک دور شامل مرحله تنظیم خوشه و مرحله حالت ثابت است که انتقال داده‌ها در آن صورت می‌گیرد. مرحله تنظیم کردن به سه زیر مرحله با مدت زمان 1T، 2T و 3T تقسیم می‌شود. اولین زیرمرحله مجموعه اطلاعات گره همسایه است. در آغاز جمع‌آوری اطلاعات زیر مرحله، هر گره پخش Node_Msg را تقسیم می‌کند، که شامل انرژی باقی‌مانده

خود را همراه با شناسه آن است. تمام گره‌ها، که در برد رادیویی آن قرار دارند، Node_Msg را از تمام همسایگان خود دریافت می‌کنند. پس از آن هر گره با متوسط انرژی باقی‌مانده، E_{avg_res} ، خوشه مطابق معادله (3) کار می‌کند.

$$E_{avg_res} = \left(\sum_{j=1}^m s_j \cdot E_r \right) / nb \quad (3)$$

که در آن S_r یکی از گره‌ها است. E_r انرژی باقی‌مانده از S_r است و NB تعداد همسایگان است. پس از پایان $1T$ عملیات روش بعدی از زیرمرحله، به‌عنوان مثال رقابت سرخوشه، شروع می‌شود که مدت زمان آن $2T$ است. در این زیرمرحله سرخوشه انتخاب شده است. در پایان مرحله جمع‌آوری اطلاعات، هر گره زمان انتظار خود برای پخش Head_Msg را مطابق معادله (4) محاسبه می‌کند.

$$t = \begin{cases} \frac{E_{avg_res}}{E_r} T_2 V_r, & E_r \geq E_{avg_res} \\ T_2 V_r, & E_r < E_{avg_res} \end{cases} \quad (4)$$

که در آن E_r انرژی باقی‌مانده در آن گره باشد. V_r یک مقدار تصادفی در توزیع $[0.9, 1]$ است، که برای کاهش احتمال این‌که دو گره Head_Msg را در زمان یکسانی ارسال کنند استفاده می‌شود [37]. اگر هیچ‌گره‌ی Head_Msg دریافت نکند، Head_Msg را در R_c برای تبلیغ حالت آن به‌عنوان سرخوشه پخش می‌کند.

EADUC بهبودیافته براساس پروتکل EADUC است [38]؛ باین‌حال، در مقابل EADUC، از شعاع‌های رقابتی مختلفی برای تولید خوشه‌های نابرابر استفاده می‌کند. در اصل پروتکل EADUC، برای بیان شعاع رقابت، تنها فاصله بین گره‌ها و BS و انرژی باقی‌مانده گره را در نظر می‌گیرد. به‌منظور محاسبه هزینه تجمع، طرح پیشنهادی علاوه بر دو عامل فوق، تعداد همسایگان را درحین تصمیم‌گیری شعاع رقابت در نظر می‌گیرد. شعاع رقابت برای روش پیشنهادی تابعی از فاصله به BS، انرژی باقی‌مانده از CH و تعداد گره همسایه است. گره‌ها با انرژی باقی‌مانده نسبتاً بالاتر، با فاصله بیشتر از BS و تعداد کمی از گره‌های همسایه باید شعاع رقابت بزرگتری داشته باشند. برای دستیابی به آن، فرمول زیر در معادله (5) استفاده شده است.

$$R_c = \left[1 - \alpha \left(\frac{d_{max} - d(s_j, BS)}{d_{max} - d_{min}} \right) - \beta \left(1 - \frac{E_r}{E_{max}} \right) + \gamma \left(1 - \frac{S_j(nb)}{nb_{max}} \right) \right] R_{max} \quad (5)$$

که در آن α ، β ، γ وزن‌هایی در $(0, 1)$ هستند، R_{max} حداکثر مقدار شعاع انتقال، D_{MAX} و d_{min} حداکثر و حداقل فاصله گره‌ها از BS، $d(s_j, BS)$ فاصله گره j ام از BS، E_r انرژی باقی‌مانده گره و E_{max} حداکثر انرژی اولیه گره‌ها در شبکه، $s_j(nb)$ تعداد گره‌های همسایه گره j ام و nb_{max} حداکثر تعداد گره‌های همسایه است. بنابراین، ترکیب فاصله گره‌ها از BS، انرژی باقی‌مانده آن‌ها، اطلاعات همسایه آن و اندازه خوشه رسیدگی می‌شود.

ایده گنجاندن اطلاعات همسایه برای انتخاب سرخوشه همراه با انرژی موجود و فاصله تا همزمانی در برخی از پروتکل‌های موجود استفاده شده است، یعنی پروتکل مسیریابی خوشه‌بندی چند هاپ نابرابر (UCMR) [52]، و خوشه‌بندی ترکیبی نابرابر با پروتکل لایه‌بندی (HUCL) [41]. با این حال، در پروتکل‌های UCMR و HUCL، تعداد همسایگان در حین محاسبه شعاع رقابتی در نظر گرفته نشده است. محاسبه شعاع رقابت در این مقالات با استفاده از پارامتر فاصله همانند انرژی مکانیسم خوشه‌بندی نابرابر انرژی آگاه (EEUC) [49] و یا پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نابرابر (UCR) [51] استفاده می‌شود. در پروتکل UCMR، تعداد گره‌های همسایه در محاسبه وزن که یکی از پارامترها در انتخاب سرخوشه است گنجانیده می‌شود. در پروتکل HUCL، اطلاعات همسایگی، همانند تعداد همسایگان در طول محاسبه زمان انتظار استفاده می‌شود، که یک گام حین راه‌اندازی خوشه است.

پس از زیرمرحله رقابت سرخوشه، در جایی که سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند، شکل‌گیری خوشه شروع می‌شود، که مدت زمان آن $3T$ است. در این مرحله، گره‌های عادی نزدیکترین سرخوشه را انتخاب می‌کنند. با ارسال Join_Msg، خوشه تشکیل می‌شود. سرخوشه، به نوبه خود، TDMA Schedule_Msg را برای داده‌های عضو خوشه پخش می‌کند. در نتیجه گره عضو می‌تواند تنها در طول زمان خود کار کند و در زمان‌های دیگر در حالت خواب باقی می‌ماند. این مورد به صرفه‌جویی انرژی کمک می‌کند.

پس از راه‌اندازی شبکه به عنوان خوشه، فاز حالت پایدار آغاز می‌شود. در این فاز، انتقال داده‌ها صورت می‌گیرد. اول گره عضو با توجه به زمان‌بندی تهیه شده توسط سرخوشه مربوطه داده‌های دریافتی خود را انتقال می‌دهد. این انتقال تک هاپ است و به عنوان ارتباطات داخل خوشه‌ها شناخته شده است. سرخوشه داده‌های دریافتی از گره‌های عضو را

جمع‌آوری و نگهداری می‌کند. اعضای انتخاب شده در یک خوشه، به سرخوشه مربوطه نزدیکتر می‌باشند، بنابراین جمع کردن داده‌های ورودی در یک بسته مناسب است. وظیفه ارتباطات داخل خوشه‌ها در تمام خوشه‌ها انجام شده است. سرخوشه‌ها بسته‌های داده به BS را مستقیماً و یا از طریق واسطه انتقال می‌دهند. اگر فاصله سرخوشه‌های مربوطه به BS بیشتر از فاصله آستانه ($dist_th$) باشد، ارتباطات داخل خوشه‌ای انجام می‌شود. در غیر این صورت انتقال مستقیم اجرا شده است. برای ارتباط درون خوشه‌ای، انتخاب سرخوشه به‌عنوان گره بعدی است. در پروتکل اصلی EADUC، انتخاب گره به‌عنوان یکی از گره‌های همسایه از حمل‌کنندگی برای مجموعه مطابق با یکی از پارامتر E_{relay} انجام می‌گیرد. پارامتر E_{relay} به‌عنوان مصرف انرژی هنگام انتخاب S_i از S_j به‌عنوان هاپ بعدی، از معادله (6) محاسبه می‌شود.

$$E_{relay} = d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) \quad (6)$$

بنابراین، در پروتکل EADUC، گره‌ای با کوچکترین E_{relay} به‌عنوان گره‌ای برای انتقال داده‌ها به BS انتخاب می‌شود. ما استدلال می‌کنیم که رابطه بین فاصله و انرژی خطی نیست، مصرف انرژی E_{relay} ممکن است تنها متریک مهم برای تنظیم مسیر باشد. در طرح پیشنهادی ما انتخاب گره انتقال براساس برآورد انرژی در هر یک از گره‌های احتمالی ممکن است. در نهایت یکی از گره‌های امکان‌پذیر با توجه به عبارت داده شده در معادله (7) به‌عنوان گره انتقال انتخاب می‌شود. در روش پیشنهادی، برای فرایند ارتباطات درون خوشه، هر سرخوشه ابتدا یک پیام متشکل از شناسه گره، انرژی باقی‌مانده، تعداد زیادی از اعضای خوشه و فاصله تا BS را پخش می‌کند. S_i CH، S_j CH را به‌عنوان گره انتقال انتخاب می‌کند، اگر انرژی باقی‌مانده آن بزرگترین مقدار باشد، پس از ترکیب انرژی بین خوشه‌ای، هزینه انتقال درون خوشه و هزینه انتقال داده‌ها از S_j به BS قابل محاسبه است.

$$relay = \frac{s_j \cdot E_{jr} - s_j \cdot count * ER_x * DM - (s_j \cdot count + 1) * EDA * DM - ET_x * DM}{E_{max}} \quad (7)$$

که در آن $s_j \cdot E_{jr}$ نشان‌دهنده انرژی باقی‌مانده گره S_j ؛ $count$ نشان‌دهنده تعداد عضو گره S_j ؛ ER_x نشان‌دهنده هزینه انرژی در دریافت داده‌ها از اعضای آن با طول بسته DM؛ EDA نشان‌دهنده هزینه‌های انرژی در جمع داده‌های

دریافت شده و ET_x هزینه انرژی در انتقال بسته داده از $CH S_i$ به $CH S_j$ نسبت به $relay_dist$ و در نهایت به BS . E_{MAX} حداکثر انرژی ابتدایی باقی مانده در شبکه است. $CH S_j$ پیام را به طور مستقیم به BS در هر یک از موارد انتقال می دهد، به عنوان مثال اگر S_j در داخل $dist_th$ از پیش تعیین شده باشد و یا حتی اگر شرط اول درست نباشد، هیچ گره CH دیگری برای مسیریابی بسته موجود نیست. بنابراین، S_j سرخوشه را بنا به حداکثر مقدار انتقال انتخاب می کند، یعنی پیوندی که بالاترین انرژی باقی مانده را دارد. با انتخاب گره انتقال با انتقال بالاتر موجب تعادل انرژی و گسترش طول عمر شبکه خواهیم شد.

به منظور بهبود بیشتر عملکرد، چرخش سرخوشه در هر دور انجام نشده است. به جای راه اندازی یک بار خوشه، برای چند دور باقی می ماند. در یک دور از عملیات پروتکل، فاز انتقال داده ها چندبار اجرا می شود. برای این کار، مرحله حالت پایدار شامل یک تعداد اسلات بزرگ، 'M' است. هر اسلات بزرگ شامل تعدادی مینی اسلات، 'm' است. در هر اسلات کوچک، کل فرایند انتقال داده انجام می گیرد. در آخرین اسلات کوچک، گره عضو انرژی باقی مانده خود را همراه با داده ها ارسال می کند. پس از اسلات بزرگ، چرخش سرخوشه در مرز خوشه انجام می گیرد. سرخوشه های قدیمی با سرخوشه جدید در یک خوشه بنا به انرژی باقی مانده از گره و فاصله از سرخوشه جاری جایگزین می شود. گره عضوی که انرژی باقی مانده بالاتر و حداقل فاصله را دارد به عنوان سرخوشه جدید انتخاب می شود. سرخوشه های قدیمی لیست اعضا را به سرخوشه تحویل می دهند. زمانی که انتخاب سرخوشه جدید و تحویل رخ می دهد، اسلات بزرگ دیگری آغاز می شود. بعد از اتمام تعداد اسلات بزرگ، دور دیگری از پروتکل متشکل از فاز راه اندازی و فاز حالت پایدار اجرا می شود.

5. تجزیه و تحلیل پروتکل

در زیر ویژگی های پروتکل EADUC بهبود یافته است.

(1) سرخوشه براساس نسبت متوسط انرژی باقی مانده و انرژی باقی مانده از گره های داده شده در معادله (4) انتخاب می شود. که به طولانی شدن طول عمر شبکه همانند گره هایی که با انرژی باقی مانده بیشتر انتخاب می شوند کمک می کند.

(2) مجموعه سرخوشه پوشش تمام شبکه را انتخاب می‌کند. همانند معادله (4)، پارامتر V_r تضمین می‌کند که برای هر مورد از انرژی باقی‌مانده گره، زمان انتظار کمتر یا مساوی $2T$ از زیرمرحله رقابت سرخوشه است. بنابراین، هر گره می‌تواند قبل از زمان $2T$ تبدیل به یک سرخوشه شود. علاوه‌براین، هر گره $Head_Msg$ دریافت نمی‌کند و خود را به سرخوشه پخش می‌کند.

(3) قانون رقابت شعاع مورد استفاده برای تولید خوشه نابرابر براساس فاصله تا BS، انرژی باقی‌مانده گره و تعداد همسایه‌ها است. که به بهتر شدن انرژی در شبکه به‌عنوان اطلاعات همسایه با در نظر گرفتن هزینه‌های تجمع انرژی کمک می‌کند.

(4) متریک مربوطه به‌طور مستقیم از نظر انرژی تعریف می‌شود، که به طولانی‌تر شدن طول عمر با انتخاب مسیر موثر برای ارسال داده‌ها به BS کمک می‌کند.

(5) سربار خوشه‌بندی به‌عنوان راه‌انداز خوشه برای چند دور است. بنابراین، مصرف انرژی و مدت طول عمر شبکه تغییر می‌کند.

6. ارزیابی عملکرد

6.1. محیط شبیه‌سازی

سه سناریو برای شبیه‌سازی انتخاب شده است:

سناریو 1: 100 گره به‌طور یکنواخت به مساحت 200×200 مترمربع در شکل 1 (الف) نشان داده شده است.

سناریو 2: 100 گره غیریکنواخت با بیشترین تعداد گره‌های حسگر که با هم در سمت راست فیلد سنسور گروه‌بندی

شده‌اند، به‌عنوان مثال در نزدیکی BS، بیش از یک منطقه با 200×200 مترمربع همانطور که در شکل 1 (ب) نشان داده شده است.

سناریو 3: 100 گره غیریکنواخت با بیشترین تعداد گره‌های حسگر که با هم در سمت چپ فیلد سنسور گروه‌بندی شده‌اند، به‌عنوان مثال دورتر از BS، بیش از یک منطقه با 200×200 مترمربع همانطور که در شکل 1 (ج) نشان داده شده است.

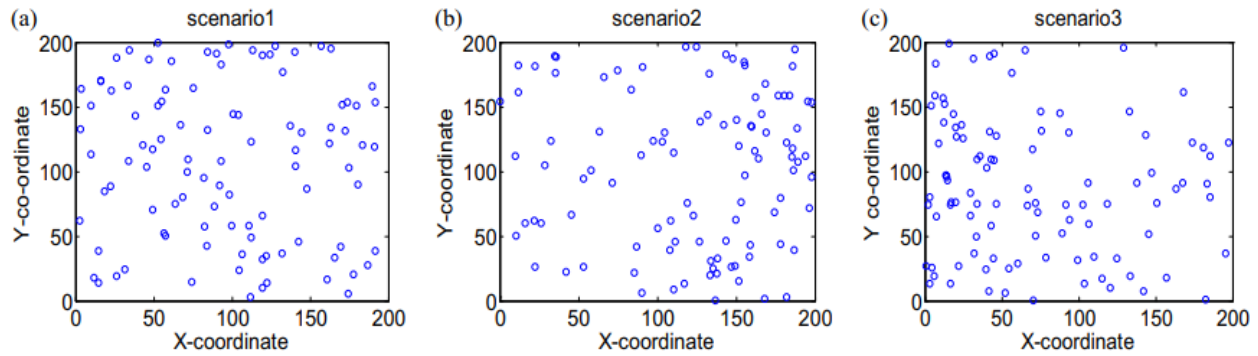


Fig. 1. Network topology in the three scenarios.

Table 1
Simulation parameters.

Parameter	Value
Network area	200 m \times 200 m
Base station location	(250,100)
No. of nodes	100
Initial energy of nodes	0.5–1.5J
Data packet size	500 bytes
E_{elec}	50 nJ/bit
E_{fs}	10 pJ/bit/m ²
E_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
R_{max}	110 m
Threshold distance	87.7 m
α, β, γ	0.3333

به منظور مشاهده اثر روش پیشنهادی محاسبات شعاع رقابت و حفاظت و تکنیک تقسیم مرحله انتقال داده‌ها به اسلات‌های بزرگ و کوچک به‌طور جداگانه، نتایج حاصل از پروتکل ارائه شده، EADUC بهبود یافته، در دو مرحله و در بخش بعدی نشان داده شده است. در اولین پیاده‌سازی، یعنی 1EADUC بهبود یافته، پروتکل ارائه شده از روش‌های خوشه‌بندی تنها بدون ترکیب تقسیم مرحله انتقال داده‌ها استفاده می‌کند. در دومین پیاده‌سازی، یعنی 2EADUC بهبود یافته، روش‌های خوشه‌بندی همراه با روش تقسیم فاز انتقال داده‌ها گنجانیده شده است. در حالی که در شبیه‌سازی پروتکل 2EADUC تعداد مینی اسلات با 3 و اسلات بزرگ با 2 در نظر گرفته می‌شود. انرژی بهره‌وری پروتکل ارائه

شده با پروتکل EADUC و پروتکل HUCL مقایسه می‌شود. برای مقایسه، پارامترهای شبیه‌سازی و سناریوهای در نظر گرفته شده در تمام پروتکل‌ها و مکانیسم اصلی عملیات پروتکل HUCL بدون فشرده‌سازی در نظر گرفته شده است.

6.2. پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترهای شبیه‌سازی مورد استفاده در مقاله‌ی حاضر در جدول 1 ذکر شده است.

7. نتایج و بحث

شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. در نتایج شبیه‌سازی، مدل انرژی و مدل جمع‌آوری داده‌ها در بخش‌های 3.1 و 3.2 به ترتیب استفاده می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی به‌طور متوسط در چند آزمایش انجام می‌شود. معیارهای عملکرد زیر در این مقاله استفاده می‌شوند:

- تعداد سرخوشه‌ها: این متریک تاثیر توزیع گره در هر سناریو است.
- میانگین مصرف انرژی در هر دور: این متریک مصرف متوسط انرژی توسط تمام گره‌های شبکه در یک دور است.
- انرژی باقی‌مانده شبکه: این متریک نشان‌دهنده کل انرژی باقی‌مانده از شبکه با توجه به دورها است.
- طول عمر شبکه FND-: این متریک، داده‌های جمع‌آوری شده‌ی دورها و نشان‌دهنده‌ی زمان است زمانی که اولین گره در شبکه می‌میرد.
- طول عمر شبکه PNA-: این متریک مربوط به دوره زمانی از عملکرد لحظه‌ای شروع شبکه، زمانی که 10 درصد از گره‌ها مرده‌اند می‌شود.
- تعداد گره‌های زنده: این متریک تعداد گره‌های زنده با توجه به دورها را نشان می‌دهد.

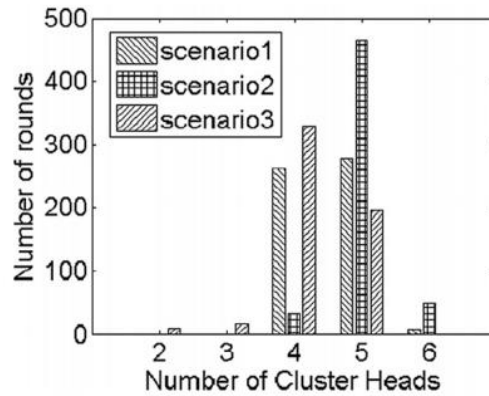


Fig. 2. Average number of cluster heads generated in different scenarios.

7.1. ارزیابی توزیع CH

شکل 2 متوسط تعداد سرخوشه‌های تولید شده در هر سناریو را نشان می‌دهد. سرخوشه‌ها توزیع شده و تعداد سرخوشه‌ها نیز کنترل می‌شود. پروتکل بهبود یافته EADUC، تعدادی پایدار از سرخوشه‌ها را همانطور که در شکل 2 دیده می‌شود تولید می‌کند. دلیل این مورد بررسی شعاع رقابت است که تنها یک سرخوشه در هر شعاع رقابت وجود دارد. در سناریو 1، به‌عنوان مثال مقایسه سنسورهای توزیع یکنواخت، چهار یا پنج عدد سرخوشه در هر دوره از عملیات پروتکل تولید شده و تقریباً احتمال یکسانی دارند. در سناریو 2، پنج سرخوشه محتمل‌تر وجود دارد، در حالی که در سناریوی 3، چهار سرخوشه محتمل‌تر وجود دارد. در طول عملیات پروتکل، گره نزدیک به BS با شعاع رقابت کوچکتر اختصاص داده می‌شود. همانطور که در سناریو 2، بیشترین تعداد گره در نزدیکی منطقه BS مستقر شده است؛ این احتمال وجود دارد تعداد بیشتری از سرخوشه‌ها نسبت به سناریو 3 تولید شود، که در آن منطقه نزدیک BS پراکنده است.

7.2. ارزیابی مصرف انرژی

متوسط مصرف انرژی EADUC و پروتکل بهبود یافته EADUC برای سه سناریو در نظر گرفته شده ارزیابی شد. شکل 3 به‌طور متوسط مصرف انرژی در هر دور از شبکه را هنگام اجرای هر پروتکل در طول عمر خود برای سه سناریو

مختلف نشان می‌دهد. مصرف انرژی هر دور شامل انرژی مصرف شده در طول خوشه جهت تشکیل توپولوژی و اطلاعات انتقال است.

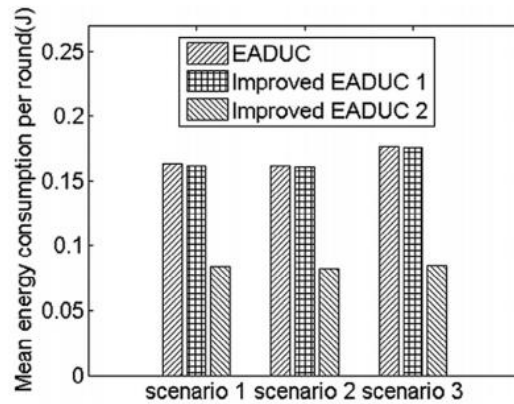


Fig. 3. Average energy consumption of network in different scenarios.

مصرف انرژی متوسط در پروتکل بهبودیافته EADUC 1 کمی کمتر از پروتکل EADUC و خیلی کمتر از پروتکل بهبودیافته EADUC 2 است. علاوه بر این مصرف انرژی متوسط شبکه در سناریو 3 کمی نسبت به سناریو 2 بزرگ است، چرا که در سناریو 3، منطقه نزدیک به BS است، بنابراین این احتمال وجود دارد که گره انتقال نهایی در فاصله بیشتر نسبت به BS در سناریو 2، توزیع شده باشد.

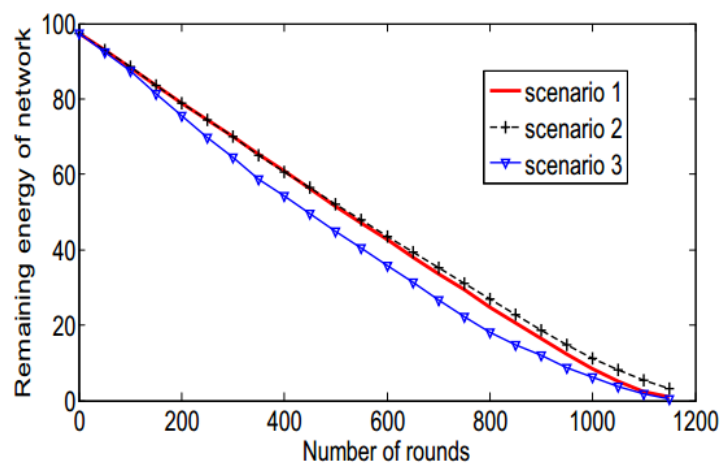


Fig. 4. Average residual energy of network in different rounds.

7.3. ارزیابی انرژی باقی مانده شبکه

شکل 4 کل انرژی باقی مانده از شبکه در پروتکل بهبودیافته 2EADUC را با توجه به تعداد دور در هر سناریو نشان می دهد.

مشاهده شده است که انرژی باقی مانده گره ها در شبکه تقریباً با نرخ یکسانی نسبت به سناریوهای 1 و 2 کاهش می یابد. اما کل انرژی باقی مانده از شبکه در سناریو 3 نسبت به سناریو 1 و 2 کمتر است. این مورد به دلیل مصرف انرژی بیشتر در گره های شبکه در سناریو 3 است و این به دلیل نزدیکی به منطقه BS در سناریوی 3 اتفاق می افتد.

7.4. ارزیابی طول عمر شبکه

طول عمر شبکه به دو روش ارزیابی شده است. یک حالت برای اندازه گیری دور زمانی که اولین گره می میرد (FND) و دیگری برای اندازه گیری دور زمانی که 90 درصد از گره ها زنده (PNA) هستند... EADUC اصلی، HUCL و پروتکل 1EADUC و 2 بهبود یافته در سه سناریو اجرا شدند. همانطور که در شکل 5 و 6 نشان داده شده است بهبودی در طول عمر شبکه رخ داده است، FND و PNA در 1EADUC و 2 بهبود یافته در هر سه سناریو نسبت به پروتکل های EADUC و HUCL بهبود یافته اند. پروتکل بهبود یافته 1EADUC طول عمر شبکه را هنگامی که FND به ترتیب 12٪، 6٪ و 2 درصد است و هنگامی که PNA به ترتیب 4٪، 5٪، و 2 درصد برای حالات 1، 2، و 3 در مقایسه با پروتکل EADUC است افزایش می دهد. طول عمر شبکه در پروتکل بهبود یافته 1EADUC افزایش می یابد چرا که تعادل انرژی در شبکه بهتر است. همچنین وظیفه مسیریابی داده ها به BS در پروتکل بهبود یافته EADUC خیلی موثر است. میانگین به دست آمده در طول عمر شبکه در پروتکل بهبود یافته 2EADUC، FND را به عنوان متریک در 134٪ موارد برای سناریوی 1، 118٪ موارد برای سناریوی 2 و 75٪ موارد برای سناریوی 3 در مقایسه با EADUC در نظر می گیرد. با اشاره به PNA به عنوان متریک ارزیابی طول عمر، متوسط بهبود به دست آمده در حالات 1 و 2 و 3 حدوداً به ترتیب 180٪، 167٪ و 126٪ است. طول عمر شبکه در پروتکل 2EADUC به طور قابل توجهی افزایش یافته است زیرا علاوه بر خوشه و روش انتقال، سربار خوشه با حفظ خوشه برای چند دور بسته به تعداد اسلاتهای کوچک

و بزرگ به حداقل رسیده است. نتایج نشان داده شده، با 2 اسلات بزرگ و 3 اسلات کوچک مشخص شده‌اند. علاوه بر این، پروتکل بهبود یافته 2EADUC ما در مقایسه با پروتکل HUCL، دارای طول عمر بهتری از نظر FND و PNA است. طول عمر شبکه، FND و PNA، به ترتیب 109٪، 166٪ و 55٪ و به ترتیب 28٪، 10٪ و 9٪، در سناریوهای 1، 2 و 3 افزایش می‌یابد. این افزایش بنا به مغایرت در انتخاب سرخوشه و مسیریابی داده‌ها احساس می‌شود. تعداد پیام‌های کنترل تولید شده در پروتکل ارائه شده ما نسبت به پروتکل HUCL که از خوشه‌بندی نابرابر ترکیبی با روش لایه‌بندی استفاده می‌کند کمتر است. همچنین در طول شبیه‌سازی این چنین به دست می‌آید که HUCL تعداد بیشتری سرخوشه در هر دور تولید می‌کند. مقدار معمول به ترتیب 9، 11، و 6 خوشه برای سناریوهای 1، 2، و 3 در نظر گرفته شده است.

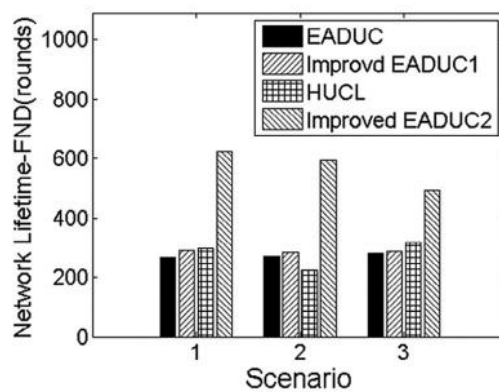


Fig. 5. Network lifespan when first node dies.

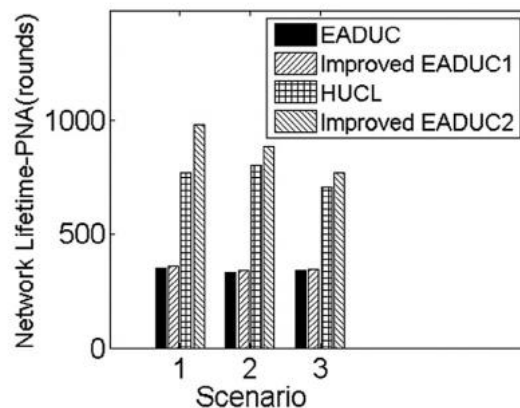


Fig. 6. Network lifespan when 90 percent nodes are alive.

این بهبود تاثیر پروتکل پیشنهاد EADUC را از نظر حفظ تعادل انرژی و توزیع خوشه نشان می‌دهد.

7.5. ارزیابی تعداد گره‌های زنده

بهبود به دست آمده از طریق پروتکل بهبودیافته EADUC بیشتر در هر سه سناریو دیده می‌شود. شکل 7، 8 و 9، به ترتیب، تعداد گره زنده را با توجه به دور در سناریوهای 1، 2 و 3 نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود، پروتکل بهبودیافته EADUC، به عنوان مثال 2EADUC، به بهره‌وری انرژی بهتر برای حفظ تعادل پروتکل‌های EADUC و HUCL رسیده است. زیرا پروتکل بهبودیافته EADUC تاثیر هر دو ارتباط داخل خوشه‌ای و درون خوشه‌ای را حین کار در نظر می‌گیرد. از نتایج چنین به دست می‌آید که پروتکل بهبودیافته EADUC قادر به رسیدگی به توزیع‌های غیریکنواخت، عدم تجانس گره و مشکل فقدان انرژی است.

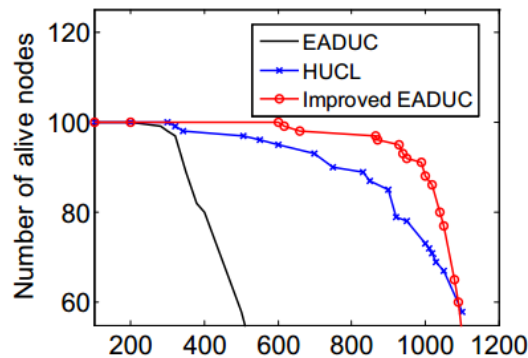


Fig. 7. Number of alive nodes with respect to rounds for scenario 1.

8. نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک پروتکل خوشه‌بندی نابرابر توزیع شده و انرژی آگاه (EADUC) در جهت بهبود WSN توسعه یافته است. رویکرد خوشه‌بندی غیریکنواخت است در این مقاله به کار گرفته شده است. خوشه‌ی ایجاد شده، اندازه‌ای نابرابر با استفاده از رقابت شعاع دارد. خوشه‌های نزدیک به BS نسبت به خوشه‌هایی که از BS دور هستند اندازه‌ی کوچکتری دارند. گره‌ها به شعاع رقابت نابرابری از طریق استفاده از عوامل متعدد مانند فاصله تا BS، انرژی باقی مانده و تعداد همسایه‌ها تخصیص یافته‌اند. در نتیجه، مصرف انرژی در میان سرخوشه‌ها به طور موثرتری متعادل است. علاوه بر این، روش انتخاب گره‌ها برای انتقال داده به سمت BS براساس هزینه انرژی است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد طول

عمر شبکه به طور موثر در هر سناریو طولانی مدتی به پروتکل EADUC و HUCL بستگی دارد نتیجه این مطالعه باید برای حل مشکل فقدان انرژی در شبکه های جمع آوری داده ها مفید باشد.

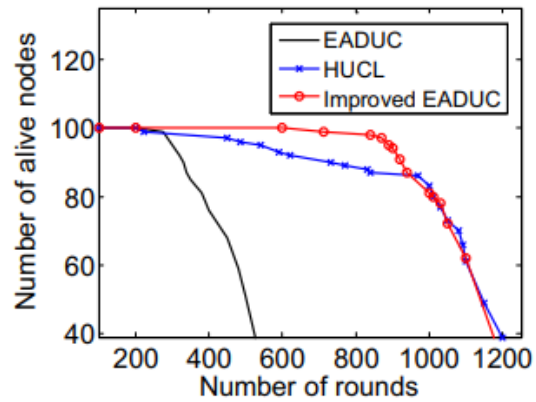


Fig. 8. Number of alive nodes with respect to rounds for scenario 2.

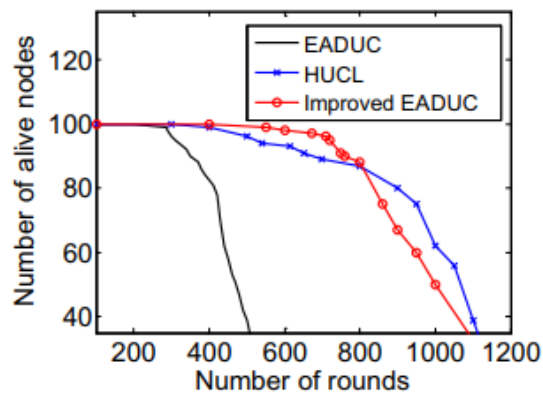


Fig. 9. Number of alive nodes with respect to rounds for scenario 3.

References

- [1] V. Mhatre, C. Rosenberg, Homogeneous vs. heterogeneous clustered networks: a comparative study, *Proc. IEEE, ICC 6* (2004) 3646–3651.
- [2] C.Y. Chang, H.R. Chang, Energy aware node placement, topology control and MAC scheduling for wireless sensor networks, *Comp. Netw.* 52 (2008) 2189–2204.
- [3] X. Gu, J. Yu, D. Yu, G. Wang, Y. Lv, ECDC: an energy and coverage-aware distributed clustering protocol for wireless sensor networks, *Comp. Electr. Eng.* 40 (2014) 384–398.
- [4] J. Mao, Z. Wu, X. Wu, A TDMA scheduling scheme for many-to-one communications in wireless sensor networks, *Comp. Commun.* 30 (2007) 863–872.
- [5] P. Ayona, A. Rajesh, Investigation of energy efficient sensor node placement in railway systems, *Eng. Sci. Technol. Int. J.* (2015), doi:10.1016/j.jestch.2015.10.009.
- [6] V. Kaundal, A.K. Mondal, P. Sharma, K. Bansal, Tracing of shading effect on underachieving SPV cell of an SPV grid using wireless sensor network, *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 18 (2015) 475–484.
- [7] S. Bandyopadhyay, E.J. Coyle, An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks, *IEEE INFOCOM*, 2003, pp. 1713–1723.
- [8] S. Soro, W.B. Heinzelman, Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering. *Proc. of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, USA, 2005, doi:10.1109/IPDPS.2005.365.
- [9] M. Ye, C. Li, G. Chen, J. Wu, EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks, *IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications*, 2005, pp. 535–540.
- [10] S. Soro, W.B. Heinzelman, Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks, *Ad Hoc Netw.* 7 (2009) 955–972.
- [11] W.B. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *Proc. 33rd Hawaii Intl Conference on System Sciences (HICSS'00)*, 2000, pp. 8020–8029.
- [12] A.F. Liu, W.X. You, C.Z. Gang, G.W. Hua, Research on the energy hole problem based on unequal cluster-radius for wireless sensor networks, *Comp. Commun.* 33 (2010) 302–321.
- [13] N. Vljajic, D. Xia, Wireless sensor networks: to cluster or not to cluster? *Proc. of the International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, 2006.
- [14] M. Liu, J. Cao, G. Chen, X. Wang, An energy aware routing protocol in wireless sensor networks, *Sensors* 9 (2009) 445–462.
- [15] S.H. Kang, T. Nguyen, Distance based thresholds for cluster head selection in wireless sensor networks, *IEEE Commun. Lett.* 16 (9) (2012) 1396–1399.
- [16] V. Mhatre, C. Rosenberg, Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation, *Ad Hoc Netw.* 2 (1) (2004) 45–63.
- [17] M. Perillo, Z. Cheng, W. Heinzelman, On the problem of unbalanced load distribution in wireless sensor networks. *Proc. of IEEE GLOBECOM Workshops on Wireless Ad hoc and sensor networks*, Dallas, TX, 2004, pp. 74–79.
- [18] O. Younis, S. Fahmy, HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks, *IEEE Trans. Mobile Comput.* 3 (4) (2004) 366–379.
- [19] B. Tavli, Energy-efficient relaying in wireless networks, *Int. J. Electron. Commun.* 63 (2009) 695–698.
- [20] W.B. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks, *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 1 (4) (2002) 660–670.
- [21] R.C. Carrano, D. Passons, L.C.S. Magalhaes, V.N. Albuquerque, Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks, *IEEE Commun. Surv. Tut.* 16 (1) (2014) 181–192.
- [22] F. Xiangning, S. Yulin, Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network. *Proceedings of International Conference on Sensor Technologies and Applications (Sensor Comm)*, 2007, pp. 260–264, doi:10.1109/SENSORCOMM.2007.4394931.

- [23] J. Yu, Y. Qi, G. Wang, X. Gu, A cluster-based routing protocol for wireless sensor networks with non-uniform node distribution, *Int. J. Electron. Commun.* 66 (2012) 54–61.
- [24] J. Yu, Y. Qi, G. Wang, An energy driven unequal clustering protocol for heterogeneous wireless sensor networks, *J. Control Theory Appl.* 9 (1) (2011) 133–139.
- [25] I. Dietrich, F. Dressler, On the lifetime of wireless sensor networks, *ACM Trans. Sensor Netw.* 5 (1) (2009) 1–38, doi:10.1145/1464420.1464425.
- [26] D. Puccinelli, M. Haenggi, Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing, *IEEE Circuits Syst. Mag.* (2005) 19–29.
- [27] N.H. Mak, How long is the lifetime of wireless sensor network? *Proc. IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2009, pp. 763–770.
- [28] M. Haenggi, Energy-balancing strategies for wireless sensor networks, *Proc. IEEE Symp. Circuit. Syst. (ISCAS)* 4 (2003) 828–831, doi:10.1109/ISCAS.2003.1206348.
- [29] J. Lian, K. Naik, G. Agnew, Data capacity improvement of wireless sensor networks using non-uniform sensor distribution, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2 (2) (2006) 121–145.
- [30] X. Wu, G. Chen, S.K. Das, Avoiding energy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution, *IEEE Trans. Parall. Distr. Syst.* 19 (5) (2008) 710–720.
- [31] Y. Yang, M. Cardei, Movement-assisted sensor redeployment scheme for network lifetime increase, 10th ACM / IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWIM), 2007, pp. 13–20, doi:10.1145/1298126.1298132 .
- [32] W. Wang, V. Srinivasan, K. Chua, Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor networks. *Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2005, pp.270–283, doi:10.1145/1080829.1080858.
- [33] J. Luo, J.P. Hubaux, Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless sensor networks. *Proc. of IEEE, INFOCOM 2005*, pp. 1735–1746.
- [34] M. Marta, M. Cardei, Improved sensor network lifetime with multiple mobile sinks, *Pervasive Mob. Comput.* 5 (5) (2009) 542–555.
- [35] H.M. Ammari, S.K. Das, Promoting heterogeneity, mobility, and energy-aware Voronoi diagram in wireless sensor networks, *IEEE Trans. Parall. Distr. Syst.* 19 (7) (2008) 995–1008.
- [36] D. Vass, Z. Vincze, R. Vida, A. Vidacs, Energy efficiency in wireless sensor networks using mobile base station, *EUNICE 2005: Networks and Applications towards a Ubiquitously Connected World*, 2005, pp. 173–186.
- [37] J. Li, P. Mohapatra, An analytical model on the energy hole problem in many-to-one sensor networks. *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conf.*, Fall 2005, pp. 2721–2725.
- [38] J. Wu, Y. Qi, G. Wang, Q. Guo, X. Gu, An energy aware distributed unequal clustering protocol for wireless sensor networks, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* (2011) doi:10.1155/2011/202145.
- [39] J. Li, P. Mohapatra, Analytical modeling and mitigation techniques for the energy hole problem in sensor networks, *Pervasive Mob. Comput.* 3 (2007) 233–254.
- [40] J. Jia, X. Wu, J. Chen, X. Wang, Exploiting sensor redistribution for eliminating the energy hole problem in mobile sensor networks, *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.* 1 (2012) 1–11.
- [41] L. Malathi, R.K. Gnanamurthy, K. Chandrasekaran, Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks, *Comp. Electr. Eng.* (2015) 1–13.
- [42] L. Qing, Q. Zhu, M. Wang, Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks, *Comp. Commun.* 29 (2006) 2230–2237.
- [43] C. Song, M. Liu, J. Cao, Y. Zheng, H. Gong, G. Chen, Maximizing network lifetime based on transmission range adjustment in wireless sensor networks, *Comp. Commun.* 32 (2009) 1316–1325.
- [44] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks. *Proceedings of IEEE / ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, 2002, pp.148– 159.

- [45] S. Olariu, I. Stojmenovic, Design guidelines for maximizing lifetime and avoiding energy holes in sensor networks with uniform distribution and uniform reporting. INFOCOM, 2006, pp.1–12.
- [46] G. Ma, Z. Tao, A nonuniform sensor distribution strategy for avoiding energy holes in wireless sensor networks, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* (2013) 1– 14.
- [47] S. Halder, A. Ghosal, S.D. Bit, A pre-determined node deployment strategy to prolong network lifetime in wireless sensor network, *Comp. Commun.* 34 (2011) 1294–1306.
- [48] A. Jarry, P. Leone, O. Powell, J. Rolim, An optimal data propagation algorithm for maximizing the lifespan of sensor networks, *Proc. IEEE Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. LNCS 4026* (2006) 405–421.
- [49] C. Li, M. Ye, G. Chen, J. Wu, An energy efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks. *Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS)*, 2005, pp. 596–604.
- [50] J. Yu, W. Liu, J. Song, B. Cao, EEMR: An energy-efficient multi-hop routing protocol for wireless sensor networks. *Proc. IEEE*, 2008, pp. 291–298.
- [51] G. Chen, C. Li, M. Ye, J. Wu, An unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks, *Wirel. Netw.* 15 (2009) 193–207, doi:10.1007/s11276-007- 0035-8.
- [52] U. Hari, B. Ramachandran, C. Johnson, An unequally clustered multihop routing protocol for wireless sensor networks. *Proceedings of International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2013, pp. 1007–1011.
- [53] M.M. Afsar, M. Younis, An energy- and proximity-based unequal clustering algorithm for wireless sensor networks. *Proc. of the IEEE Conference on Local Computer Networks*, Edmonton, Canada, 2014, pp. 262–269.
- [54] X. Fan, F. Du, Shuffled frog leaping algorithm based unequal clustering strategy for wireless sensor networks, *Appl. Math. Inform. Sci. Int. J.* 9 (3) (2015) 1415–1426.
- [55] X. Min, S. Wei-ren, J. Chang-jiang, Z. Ying, Energy efficient clustering algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor networks, *Int. J. Electron. Commun.* 64 (2010) 289–298.