



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

الگوریتم ژنتیک برای خوشه بندی و مسیریابی مقرون به صرفه از لحاظ انرژی در

شبکه های سنسور بی سیم

چکیده:

شبکه های حسگر بی سیم به طور گسترده ای در زمینه های مختلف از جمله نظامی، مراقبت های بهداشتی و کاربردهای ساخت و تولید به کار گرفته شده اند. با این حال، گره های حسگر از نظر تامین انرژی، توانمندی ذخیره سازی و توان محاسباتی خود محدود هستند. بنابراین، به منظور بهبود بهره وری (مقرون به صرفگی) انرژی و طولی شدن چرخه عمر شبکه، یک رویکرد خوشه بندی و مسیریابی مقرون به صرفه از لحاظ انرژی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به نام GECC ارائه می دهیم. ما راه حل بهینه به دست آمده در دور شبکه قبلی را به جمعیت اولیه برای دور کنونی اضافه می کنیم و به این ترتیب کارایی جستجو را بهبود می بخشیم. علاوه بر این، طرح خوشه بندی و مسیریابی در یک کروموزوم تک به منظور محاسبه کل مصرف انرژی ترکیب می شود. ما تابع تناسب را مستقیماً بر اساس مصرف انرژی کلی می سازیم و بدین ترتیب بهره وری انرژی را بهبود می بخشیم. علاوه بر این، تعادل بار در هنگام ساخت تابع تناسب در نظر گرفته می شود. بنابراین، مصرف انرژی در میان گره ها می تواند متعادل شود. نتایج تجربی نشان داد که GECC بهتر از سایر پنج روش عمل نمود. GECC بهترین تعادل بار را با کمترین واریانس ها در بارها در سرهای خوشه تحت سناریوهای مختلف حاصل نمود. علاوه بر این، GECC، بیشترین بهره وری (مقرون به صرفگی) انرژی را با کمترین انرژی متوسط مصرف شده توسط سرهای خوشه و کمترین انرژی مصرف شده توسط تمام گره ها در برداشت.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم؛ الگوریتم خوشه بندی؛ الگوریتم ژنتیک؛ بهره وری انرژی؛ چرخه عمر شبکه؛ مسیریابی

شبکه های حسگر بی سیم (WSNS) ، فناوری سنسور، فناوری محاسبات جاسازی شده، فناوری پردازش اطلاعات توزیع شده و فناوری ارتباطات را ادغام می کنند. WSN ها در زمینه های مختلف، از جمله نظامی، دفاع ملی، نظارت بر محیط زیست، مدیریت ترافیک، مراقبت های بهداشتی، تولید و برنامه های پیشگیری از بلایا، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند [۱]. در یک WSN ، گره های حسگر به طور همکارانه، اطلاعات فیزیکی و زیست محیطی را از منطقه تحت پوشش شبکه جمع آوری و پردازش می کنند و اطلاعات را به ناظران ارسال می کنند [۲]. یک ناحیه نظارت اغلب نیاز به استقرار تعداد زیادی از گره های حسگر دارد، اما گره های حسگر از لحاظ ظرفیت های محاسباتی، ذخیره سازی و توانایی های ارتباطی خود در کاهش هزینه ها محدود هستند. به عنوان مثال، [3] Micaz که توسط CrossBow توسعه داده شده است، یک نوع نماینده از گره حسگر است که با میکروپروسسور (ریزپردازنده) Atmega128L ، تراشه CC2420 ، 128 کیلوبایت فلش و ۴ کیلوبایت RAM مجهز شده است. گره حسگر با قدرت باتری محدودی تامین می شود و فراهم نمودن ثانویه انرژی برای گره ها دشوار است. بنابراین، پس از مردن بیشتر از یک درصد معینی از گره ها، خرابی شبکه رخ می دهد. بنابراین، کاهش مصرف انرژی گره های حسگر و افزایش چرخه عمر شبکه، چالشی کلیدی برای WSN ها است.

مطالعات قبلی نشان داده اند که مصرف انرژی مورد نیاز برای انتقال ۱ بیت، بسیار بیشتر از مصرف انرژی مورد نیاز برای پردازش داده ۱ بیتی است [۴]. بنابراین، کاهش اندازه داده های ارسال شده یا دریافت شده برای گره های حسگر و بهینه سازی مسیریابی انتقال داده ها بین گره ها می تواند به طور موثر انرژی مصرف شده توسط شبکه را کاهش دهد. الگوریتم خوشه بندی [۵]، شبکه را به چند خوشه مستقل تقسیم می کند، جایی که هر خوشه شامل یک گره سر خوشه ای (CH) و گره های عضو چند خوشه ای (CM) می باشد. گره CH ، مسئول دریافت داده ها از گره های CM است. با استفاده از الگوریتم های جمع آوری داده موثر، CH می تواند داده های بیش از حد یا نادرست را حذف کند، بنابراین مقدار زیادی از داده های جمع آوری شده به مقدار کمی از اطلاعات معنی دار ادغام می شوند. بنابراین، الگوریتم های خوشه بندی کارآمد می توانند ترافیک داده را کاهش داده و توپولوژی را بهینه سازی کنند، و در نتیجه بهره وری انرژی WSN ها را بهبود بخشند.

WSN های مبتنی بر خوشه معمولاً مشتمل بر دو نوع هستند: (i) دارای CH های موقت [6] و (ii) دارای CH ها دائمی [7]. در اولین نوع، گره های حسگر دارای منبع انرژی نسبتاً منصفانه و وضعیت مساوی هستند و تمام گره ها دارای شانس اینست هستند که به عنوان CH انتخاب شوند. برای مثال، در لحظه t_1 ، گره A برای تبدیل شدن به CH انتخاب می شود. با این حال، در لحظه t_2 ، گره A فقط می تواند به عنوان CM عمل کند. در نوع دوم، گره های CH و گره های CM، دائمی هستند. گره های CH نیز گره های دروازه یا گره های رله نامیده می شوند که دارای منبع انرژی بیشتری هستند. در طول عملیات شبکه، CH های دائمی همه گره های حسگر را در خوشه های متناظر خود مدیریت می کند. وضعیت CH ها پایدار است، اما روابط بین هر CH و CM های آن ممکن است در طول زمان تغییر کند. به عنوان مثال، در لحظه t_1 ، CH از CM a، گره A است. با این حال، در لحظه t_2 ، گره a احتمالاً به CH B متصل می شود. ما باید الگوریتم های خوشه بندی با مکانیزم های مختلف را با توجه به دو نوع مختلف از WSN های مبتنی بر خوشه به کار بگیریم. در این مطالعه، ما یک الگوریتم خوشه بندی برای نوع دوم را در نظر می گیریم: WSN ها با CH های دائمی. بیشتر مطالعات قبلی در مورد الگوریتم های خوشه بندی، نوع اول را در نظر گرفته اند و نوع دوم به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. نوع دوم WSN ها به علت دلایل زیر برای جامعه تحقیقاتی مهم هستند: (i) آنها مقرون به صرفگی بیشتری از لحاظ انرژی دارند؛ چون گره های CH با یک ظرفیت محاسباتی بالاتر می توانند به طور کارآمد الگوریتم های پیچیده جمع آوری داده ها را اداره کنند؛ (ii) آنها امن تر هستند، زیرا CH ها دارای ذخیره سازی بیشتری هستند و ظرفیت بالاتری دارند و از این رو الگوریتم های رمزنگاری پیچیده می توانند اجرا شوند و برخی از مازول های سخت افزاری قابل اعتماد می توانند تجهیز شوند [8]. و (iii) گره های عادی تنها نیاز به ارسال داده های جمع آوری شده به گره های مربوطه خود بدون انجام کار CH ها دارند و در نتیجه چرخه عمر شبکه می تواند طویل شود.

باید توجه داشت که طراحی یک الگوریتم خوشه بندی موثر با بهره وری انرژی و متعادل سازی بار بالا برای نوع دوم WSN های مقیاس-بزرگ یک مشکل سخت-NP است. اگر شبکه دارای تعداد a از گره CH و b گره عادی باشد،

آنگاه a^b طرح خوشه بندی وجود خواهد داشت. اگر مسیریابی در نظر گرفته شود و میانگین تعداد گره های

همسایه هر CH، C باشد، آنگاه C^a طرح مسیریابی وجود خواهد داشت. بنابراین، برای WSN های بزرگ در مقیاس بزرگ، طرح خوشه بندی و مسیریابی بهینه دارای پیچیدگی زمانی بالا است. الگوریتم های فراابتکاری [۹] مانند الگوریتم های ژنتیک (10) [GAS] می توانند این مشکل را به سرعت و به طور کارآمد حل کنند.

در این مطالعه، ما یک الگوریتم خوشه بندی و مسیریابی کارآمد در انرژی (GECR) مبتنی بر GA را پیشنهاد می دهیم که یک GA برای به دست آوردن یک راه حل بهینه را به کار می گیرد. سهم اصلی این مطالعه به شرح زیر است:

- زمان شبکه به چندین دور تقسیم می شود. گره سینک نیاز به اجرای GA به طور جداگانه در هر دور دارد. هدف بهینه سازی برای برنامه خوشه بندی و مسیریابی مربوط به فواصل بین گره ها است. مکان های گره ها تثبیت می شوند، بنابراین راه حل بهینه برای یک دور شبکه خاص مربوط به راه حل بهینه برای دور قبلی است. برخلاف برخی از الگوریتم های خوشه بندی و مسیریابی مبتنی بر GA که توسط [11-13] GA ساخته شده است، ما راه حل بهینه از دور قبلی شبکه را به جمعیت اولیه در دور شبکه فعلی اضافه می کنیم تا کارایی جستجو را بهبود بخشیم.

- برای تضمین کارایی انرژی، توابع تناسب برخی از الگوریتم ها [۱۴-۱۶] براساس فواصل انتقال کل بین گره ها هستند. مصرف انرژی مرتبط با اما نه مطلقاً مساوی با فاصله است. الگوریتم هایی که تابع تناسب را براساس فاصله کل ایجاد می کنند، می توانند راه حل نهایی را با کوتاهریت فاصله کلی حاصل نمایند. در روش پیشنهادی، طرح خوشه بندی و مسیریابی را روی یک کروموزوم تک را ترکیب می کنیم و کل میزان انرژی مصرف شده برای خوشه بندی و مسیریابی را با هم محاسبه می کنیم. تابع تناسب به طور مستقیم بر اساس مصرف انرژی کل شبکه ساخته می شود. به این ترتیب، نهایتاً می توانیم راه حل را با کمترین مصرف انرژی بدست آوریم، و به این ترتیب می توان بهره وری انرژی نهایی را بهبود بخشید.

- تعادل بار یک معیار مهم برای ارزیابی الگوریتم های خوشه بندی و مسیریابی است. بسیاری از الگوریتم های مبتنی بر [15-18] GA [تعادل بار را در نظر نمی گیرند. علاوه بر این، اگر چه برخی از الگوریتم ها [۱۴؛ ۱۹؛ ۲۰] توازن بار را در نظر می گیرید، آنها فقط تعداد CM ها را در هنگام محاسبه بار روی CH ها شمارش می کنند. با این حال، CH

باید داده ها از گره های هاپ قبلی خود علاوه بر داده ها از CM های آن انتقال دهد. در روش پیشنهادی، ما هاپ های قبلی را به بارهای روی هر CH اضافه می کنیم و بنابراین دقت محاسبات بار را بهبود می دهیم.

- شبیه سازی نشان داد که عملکرد الگوریتم پیشنهادی ما [۱۴-۱۷؛ ۲۰] از لحاظ تعادل بار، چرخه عمر شبکه و مصرف انرژی، بهتر از برخی از الگوریتم های موجود است. بنابراین، GECCR پیشنهادی همیشه دارای کمترین واریانس بار در CH های در سناریوهای مختلف بود. از لحاظ چرخه عمر شبکه، GECCR اغلب گره های را در بیشتر مواقع داشته است. علاوه بر این، GECCR، کوچکترین مقدار انرژی در تمام دوره های شبکه را مصرف کرد. باقی مانده این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲، درباره تحقیق مرتبط بحث و بررسی می کنیم. در بخش ۳، ما مدل شبکه و برخی اصطلاحات را ارائه می دهیم. در بخش ۴، ما برخی از جزئیات اولیه مورد استفاده در این مطالعه را ارائه می دهیم. در بخش ۵ و ۶، الگوریتم پیشنهادی و نتایج تجربی را ارائه می کنیم. در بخش ۷ ما نتیجه گیری می کنیم.

۲. کار مرتبط

۲.۱ WSN ها با CH های موقت

بسیاری از مطالعات [۲۵-۲۱]، الگوریتم های خوشه بندی و مسیریابی را برای WSN ها با CH های موقت بررسی کرده اند. الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی کم-انرژی (LEACH) [6] یکی از بهترین پروتکل های مسیریابی سلسله مراتبی شناخته شده بر اساس خوشه بندی است که در آن، زمان شبکه را به چندین دور تقسیم می کند. در هر دور، تمام گره های حسگر شروع به محاسبه یک مقدار احتمال می کنند که تعیین می کند که آیا گره حسگر می تواند یک CH باشد یا نه. گره هایی که می توانند CH شوند، اطلاعات خودشان را برای اطلاع دادن به گره های دیگر برای پیوستن به خوشه های متناظر خود پخش می کنند. با این حال، LEACH فقط یک مدل شبکه تک-هاپ را در نظر می گیرد و تنها برای WSN های مقیاس-کوچک مناسب است. علاوه بر این، LEACH، انرژی باقیمانده گره ها را در نظر نمی گیرد. بعضی از گره ها با مقدار کم انرژی باقی مانده ممکن است به یک CH تبدیل شوند و بنابراین

این پروتکل می تواند خرابی شبکه را تسریع نماید. به منظور بهبود الگوریتم LEACH [6]، تعداد زیادی از الگوریتم های خوشه بندی و مسیریابی مبتنی بر LEACH [26-31] پیشنهاد شده اند، مانند خوشه بندی متمرکز LEACH (LEACH-C) [26]، خوشه بندی توزیع شده ترکیبی مقرون به صرفه-از نظر انرژی (HEED) [27]، الگوریتم خوشه بندی متوازن با خودسازماندهی توزیع شده (DSBCA) [19]، الگوریتم کنترل دسترسی به رسانه LEACH [28] (LEACH-MAC)، و خوشه بندی انتشار پیوستگی [29] (LEACH (LEACH-AP)). اولین نوع WSN ها با CH های موقت می توانند مطابق با انرژی اولیه گره ها به گونه های همگن و ناهمگن تقسیم شوند. همه این الگوریتم های فوق الذکر فرض می کنند که گره های سنسور، همگن هستند و برای WSN های ناهمگن، مناسب نیستند. بنابراین، بسیاری از مطالعات تلاش کرده اند تا الگوریتم های مناسبی برای WSN های ناهمگن را توسعه دهند. خوشه بندی توزیع شده مقرون به صرفه در-انرژی [۳۲] یک الگوریتم خوشه بندی مناسب برای شبکه های چندگانه ناهمگن است. این الگوریتم، با در نظر گرفتن تمام گره ها در شبکه، قبل از انتخاب CH ها بر اساس نسبت بین انرژی متوسط و انرژی باقی مانده گره های حسگر، انرژی متوسط را برآورد می کند. ساینی و همکاران [۳۳]، یک مدل شبکه ناهمگونی را پیشنهاد کردند که با محاسبه یک مقدار پارامتر، شبکه را به پنج سطح تقسیم می کند. این مدل، چرخه زندگی را برای سطوح مختلف به عنوان سطح ۰، سطح ۱، سطح ۲، سطح ۳ و سطح ۴ برآورد می کند. البیری و همکاران [۳۴]، یک الگوریتم کنترل درخت خوشه بندی مبتنی بر پیش بینی انرژی را پیشنهاد داد که کیفیت لینک و نرخ تلفات بسته را به عنوان دو عامل مهم که می توانند بر میزان مصرف انرژی تأثیر بگذارند، در نظر می گیرد.

الگوریتم های فراابتکاری مانند GA ها، راه حل های خوبی برای مسائل خوشه بندی و مسیریابی در WSN ها هستند. بسیاری از مطالعات قبلی [۱۱؛ ۱۶-۱۸؛ ۳۵] بر روشهای خوشه بندی و مسیریابی مبتنی بر GA برای WSN ها با CH های موقت متمرکز شده اند. لیو و همکاران [۱۷]، یک روش خوشه بندی LEACH با GA (LEACH-GA) را پیشنهاد کردند، که در آن هر گره حسگر نیاز به تولید یک عدد تصادفی در مرحله راه اندازی دارد. اگر عدد تصادفی یک گره کمتر از یک آستانه باشد، گره می تواند یک CH نامزد باشد. تمام گره های نامزد، اطلاعات

خود را به گره سینک ارسال می کنند. سپس گره سینک GA را برای تعیین نتیجه خوشه بندی با کمترین مصرف انرژی اجرا می کند. با این حال، LEACH-GA فقط مصرف کل انرژی را در نظر می گیرد و نه انرژی باقی مانده گره ها. الهوسنی و همکاران [۱۱]، یک روش مبتنی بر GA را پیشنهاد کرد که نتیجه خوشه بندی WSNهای ناهمگن را بهینه سازی می کند، که در آن انرژی باقی مانده، مصرف انرژی کل و فاصله انتقال داده ها، همگی در تابع تناسب در نظر گرفته می شوند. Peiravi و همکاران. [۱۸] یک روش بهینه خوشه بندی را پیشنهاد کرد که از یک GA دو-سطحی چند هدفه استفاده می کند. سطح بالا، طرح های خوشه بندی را کسب می کند که در آن چرخه عمر شبکه بهینه سازی می شود و هدف از سطح پایین استفاده شده در هر خوشه، به دست آوردن کارآمدترین توپولوژی برای انتقال داده ها است. شکوهی فر و همکاران [۱۶]، یک پروتکل ترکیبی مسیریابی مبتنی بر خوشه بندی به نام مسیریابی کم توان " ویژه-کاربرد " (ASLPR) را معرفی نمود که می تواند به طور بهینه، مصرف انرژی در میان سنسورها را متوازن نماید. به منظور انتخاب CHهای بهینه، ASLPR، همه عوامل را که می توانند عملکرد شبکه را تحت تاثیر قرار دهند، به عنوان مثال، فاصله از سنسور ها تا سینک، انرژی باقی مانده و فاصله بین CHها را در نظر می گیرد. با این حال، ASLPR نیاز به این دارد که تمام گره های حسگر، موقعیت های دیگر گره ها را که انرژی و ظرفیت ذخیره سازی را تلف می کنند، بدانند.

۲،۲ WSNها با CHهای دائمی

چندین الگوریتم خوشه بندی و مسیریابی برای WSNها با CHهای دائمی پیشنهاد شده اند. یونیس و همکاران [۳۶]، الگوریتم خوشه بندی با بار متعادل (LBC) را ارائه می دهند که گره های دروازه را به عنوان مرکز مدیریت برای پردازش داده ها از گره های عادی استفاده می کند و به گره های راه دور ارسال می کند. بر اساس LBC، Kuila و همکاران. [۳۷] یک الگوریتم LBC با مقرون به صرفگی انرژی به نام EELBCA پیشنهاد کرد که انرژی باقیمانده گره های CH را با تعداد گره های همسایه خود به عنوان پارامتر خوشه بندی ترکیب می کند. Low و همکاران [۳۸]، یک الگوریتم خوشه بندی را ایجاد کردند که از یک درخت جستجوی اولین-عرض استفاده می کند

تا CH با حداقل بار را پیدا کند. سایر مطالعات [۳۹-۴۳] نشان داده اند که الگوریتم های فراابتکاری (به عنوان مثال، [10] GA)، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات [۴۴]، الگوریتم کلونی مورچه [۴۵]، می تواند مسئله خوشه بندی و مسیریابی برای WSN ها را حل کند.

در برخی مطالعات، الگوریتم های فراابتکاری را برای WSN ها با CH های دائمی [۱۴؛ ۱۵؛ ۲۰؛ ۴۶] اعمال نموده اند. در یک روش [۴۶]، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای تعیین خوشه بندی بهینه از نظر انرژی و طرح های مسیریابی استفاده می شود. تابع تناسب طرح خوشه بندی بر اساس نسبت چرخه عمر تخمین زده شده و فاصله متوسط انتقال است. فاصله کلی و هاپ ها برای انتقال داده ها به منظور ساختن تابع تناسب در طرح مسیریابی استفاده می شود.

گوپتا و همکاران [۱۵] یک الگوریتم مسیریابی بهینه از نظر انرژی به نام مسیریابی مبتنی بر GA (مبتنی بر GA) را با استفاده از یک GA برای محاسبه یک برنامه ریزی مسیریابی جدید ایجاد کردند. گره های دروازه به یک کروموزوم در شبکه گروه بندی می شوند. جمعیت آماری اولیه، مجموعه ای از کروموزوم های به طور تصادفی تولید شده است، که در آن، هر ژن نشان دهنده هاپ بعدی گره دروازه متناظر است. انرژی مصرف شده توسط گره های حسگر مربوط به فاصله های انتقال داده ها است، بنابراین GAR از تابع تناسب مبتنی بر فاصله زیر استفاده می کند:

$$Fitness(k) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N-1} Dist(C_i, Crom(k,i))} \quad (1)$$

که در آن، $Fitness(k)$ ، مقدار تناسب کروموزوم k ام در جمعیت را نشان می دهد، $Crom(k, i)$ ،

مقدار ژن k ام در کروموزوم k است، و $Dist(C_i, Crom(k, i))$ فاصله بین گره i و هاپ بعدی آن را

نشان می دهد. بنابراین، کروموزوم با بالاترین مقدار تناسب می تواند انتخاب شود. برنامه ریزی مسیریابی نهایی انتخاب شده دارای مصرف انرژی کم است زیرا فاصله انتقال، بهینه است. با این حال، GAR فقط مصرف انرژی بین دروازه ها را در نظر می گیرد، در حالی که مصرف انرژی بین گره ها و دروازه های عادی را نادیده می گیرد.

به منظور متعادل نمودن بارهای شبکه، Kuila و همکاران. یک روش خوشه بندی مبتنی بر GA به نام الگوریتم خوشه بندی متعادل بار مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GALBCA) را پیشنهاد کرد [20]، که در آن، هر کروموزوم، یک برنامه ریزی خوشه بندی در جمعیت را نشان می دهد. در یک کروموزوم، مقدار ژن μ ، نشان دهنده CH برای گره i است. الگوریتم می تواند یک برنامه ریزی خوشه بندی با بار متوازن را با مینیمم نمودن انحراف معیار (σ) CHها حاصل نماید که توسط عبارت زیر نشان داده می شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\mu - W_j)^2}{m}}, \quad (2)$$

که در آن $\mu = \sum_{i=1}^n d_i / m$ ، d_i ، بار روی گره حسگر s_i است، m ، تعداد CHها است و W_j ، بار کلی g_j CH است. GALBCA، متعادل سازی بار را در نظر می گیرد، اما عامل مصرف انرژی را نادیده می گیرد که در WSNها بسیار مهم است.

یک الگوریتم مسیریابی و خوشه بندی مبتنی بر GA (GACR) [14] برای حل انرژی ترکیبی و مسئله متعادل سازی بار پیشنهاد شد. GACR برای یک GA به منظور خوشه بندی و مسیریابی اعمال می شود. تابع تناسب برای خوشه بندی مرتبط با فاصله انتقال متوسط و انحراف معیار نسبت انرژی باقیمانده است. تابع تناسب برای مسیریابی بر اساس کلیه فاصله های انتقال و هاپ ها بین CHها ساخته می شود. GACR، برنامه های زمانبندی خوشه بندی و مسیریابی بهینه را به صورت جداگانه محاسبه می کند و بنابراین بار روی هر CH فقط می تواند شامل تعداد گره های CM باشد. با این حال، CHها در شبکه نیز باید داده ها را از CHهای هاپ پیشین علاوه بر جمع آوری داده ها از CMها منتقل نماید. بنابراین، بار روی CHها به طور کامل متوازن نیست.

متعادل سازی بار، معیار مهمی برای ارزیابی الگوریتم های خوشه بندی و مسیریابی است. با این حال، هنگام محاسبه بار روی یک CH، اکثر الگوریتم های فوق الذکر [۱۴؛ ۱۹؛ ۲۰] که توازن بار را در نظر می گیرند، فقط CMها را به حساب می آورند. علاوه بر این، برخی از الگوریتم های مبتنی بر GA [14-16] سعی می کنند تا فاصله انتقال را

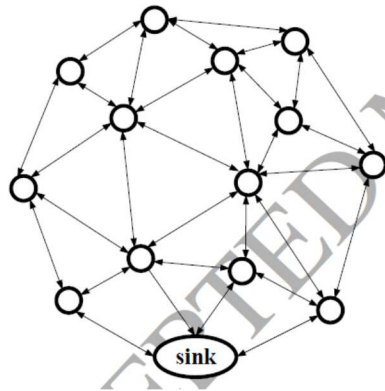
کاهش دهند تا مصرف انرژی کاهش یابد. با این حال، در برخی موارد، فاصله با مصرف انرژی در شبکه برابر نیست. علاوه بر این، این الگوریتم ها به طور جداگانه خوشه بندی و مسیریابی را کدگذاری می کنند. بنابراین، مصرف انرژی را نمی توان به طور سراسری تخمین زد. در مقابل، این الگوریتم پیشنهاد شده GECR ما، خوشه بندی و مسیریابی در یک کروموزوم را کدگذاری می کند و به طور مستقیم از میزان انرژی مصرف شده به عنوان یکی از پارامترها برای تابع تناسب استفاده می کند. علاوه بر این، در هنگام تعادل بار روی CHها، GECR، تعداد هاپ های قبلی (CHهای قبلی) را اضافه می کند.

۳. مدل شبکه و اصطلاحات

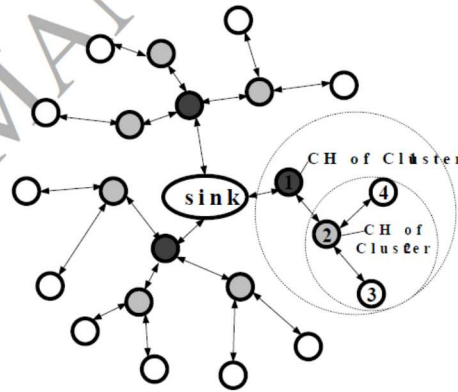
در این بخش، ابتدا توپولوژی شبکه و مدل انرژی الگوریتم پیشنهادی GECR را قبل از ارائه اصطلاحاتی که در این مطالعه استفاده شوند، معرفی می کنیم.

۳.۱ توپولوژی شبکه

بر اساس مشخصات اتصالات مسیریابی، توپولوژی های WSN ها را می توان بر اساس دو رده، طبقه بندی کرد: مسطح و سلسله مراتبی [۴۷]. یک شبکه مسطح شامل یک گره سینک و چند گره عادی می شود، همان طور که در شکل (a) نشان داده شده است. گره های عادی، وضعیت و توابع یکسان دارند. در پروتکل مسیریابی مسطح [۴۸-۵۰]، این گره ها به طور مستقیم یا از طریق چندین هاپ به گره سینک، داده ها را منتقل می کنند. توپولوژی مسطح، ساده و بسیار قوی است. با این حال، تمام حسگرها در این توپولوژی باید به روز رسانی جداول مسیریابی را ادامه دهند، بنابراین شبکه، مقیاس پذیری ضعیف و راندمان کم دارد. علاوه بر این، انرژی گره ها گاهی ممکن است هدر رود، چون هیچ مدیری (به عنوان مثال، CHها) در توپولوژی مسطح وجود ندارد.



(الف) توپولوژی مسطح



(ب) توپولوژی سلسله مراتبی

شکل ۱ مثال هایی از شبکه توپولوژی مسطح و شبکه توپولوژی سلسله مراتبی

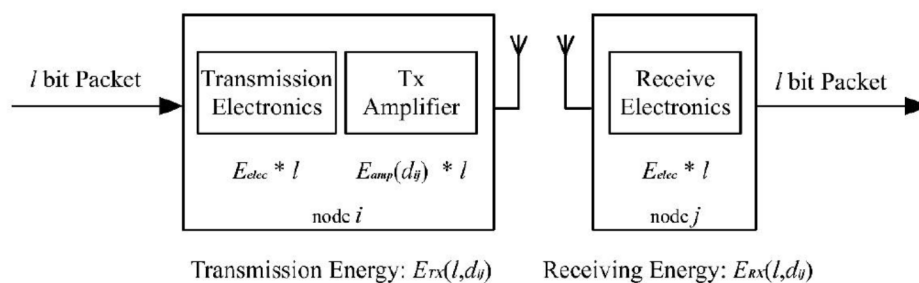
در شبکه توپولوژی سلسله مراتبی، گره های حسگر به چندین خوشه تقسیم می شوند. هر خوشه شامل یک CH و چند CM می باشد. CH، مسئول مدیریت خوشه آن توسط جمع آوری و جمع آوری اطلاعات از CM ها، و سپس ارسال داده های ترکیبی به گره هاپ بعدی و یا گره سینک آن است. شکل (b) ۱، یک مثال از یک شبکه توپولوژی سلسله مراتبی را نشان می دهد، که در آن، خوشه های بزرگ به چند خوشه کوچک تقسیم می شوند و خوشه های کوچک می توانند به زیر مجموعه های کوچکتر تقسیم شوند. فرآیند تقسیم بندی تا زمانی تکرار می شود که خوشه ها، شرایط خاصی را برآورده کنند. در شکل (b) ۱، گره های ۳ و ۴ حسگر، داده های جمع آوری شده را به CH 2 ارسال می کنند که داده ها را از خوشه ۲ (گره های ۲، ۳ و ۴) جمع می کنند و داده های ترکیبی را به CH 1 منتقل می کنند. سپس CH 1 داده ها را از خوشه ۱ (گره های ۱، ۲، ۳ و ۴) جمع می کند و داده های ترکیبی را به گره سینک منتقل می کند. توپولوژی سلسله مراتبی دارای مزایای زیر است: (۱) به واسطه اجرای یک الگوریتم موثر تجمیع داده ها، CHها می توانند مقدار داده های زاید و معیوب را کاهش دهند، و در نتیجه موجب کاهش مصرف انرژی شوند؛ و (۲) CMها فقط باید با CHهای خودشان ارتباط برقرار کنند. علاوه بر این، CHها تنها نیاز به برقراری ارتباط با CMهای خود و هاپ های بعدی دارند. بنابراین، طرح مسیریابی سلسله مراتبی می تواند تعاملات غیر ضروری بین گره ها را برای بهبود ثبات شبکه حذف کند. به طور کلی، توپولوژی های سلسله مراتبی می توانند

عملکرد بهتر را در مقایسه با توپولوژی های مسطح حاصل نمایند [۵۱]. الگوریتم پیشنهاد شده GECR ما، یک توپولوژی سلسله مراتبی را به کار می گیرد.

در روش پیشنهادی، دروازه ها با قدرت محاسباتی بیشتر، مقادیر بیشتری از ذخیره سازی و تامین انرژی بهتر مجهز می شوند و در نتیجه آنها نقش CHها را بازی می کنند. با این حال، تامین انرژی هنوز برای CHها محدود است، زیرا گره ها با باطری کار می کنند. پس از مرگ یک CH، هیچ گره نمی تواند جایگزین آن شود. بنابراین، CHها در شبکه، اهمیت بیشتری نسبت به گره های معمولی دارند. در روش ما، شبیه به پروتکل LEACH، زمان شبکه به چندین دور تقسیم می شود. هر دور شامل یک فاز راه اندازی (تنظیم) و یک مرحله حالت-پایدار می شود. در مرحله تنظیم، طرح خوشه بندی و مسیریابی بهینه برای دور کنونی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی GECR در گره سینک محاسبه می شود. در مرحله حالت-پایدار، با توجه به طرح بهینه محاسبه شده خوشه بندی و مسیریابی، CHها جمع آوری و تجمیع داده ها را از CMها انجام می دهند و داده های جمع شده را از طریق چند هاپ به گره سینک ارسال می کنند.

۳،۲ مدل انرژی

انرژی، نقش مهمی در ساخت و بهره برداری شبکه ها دارد، زیرا چرخه عمر شبکه وابسته به انرژی باقی مانده هر گره حسگر است. گره های حسگر، انرژی محدودی دارند و در هنگام ارسال یا دریافت اطلاعات، باید مقداری از این انرژی را مصرف کنند. ما نیاز به اتخاذ یک مدل مصرف انرژی مناسب برای محاسبه مصرف انرژی گره ها داریم. در تحقیق خوشه بندی و مسیریابی در WSN ها، مدل رادیویی مرتبه اول [۶] رایج ترین مدل مصرف انرژی است و در بسیاری از روش ها، مثلاً [14] GACR، [20] GALBCA، [27] HEED و [28] LEACH-MAC به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، در روش پیشنهادی، ما از مدل رادیویی مرتبه اول به عنوان مدل مصرف انرژی استفاده می کنیم، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. مدل مصرف انرژی

میزان انرژی مصرف شده در زمان انتقال یک بسته بیتی از گره i به گره j را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$E_{TX}(l, d_{ij}) = E_{elec} * l + E_{amp}(d_{ij}) * l = \begin{cases} E_{elec} * l + \epsilon_{fs} * l * d_{ij}^2 & \text{if } d_{ij} < d_0 \\ E_{elec} * l + \epsilon_{mp} * l * d_{ij}^4 & \text{if } d_{ij} \geq d_0 \end{cases} \quad (3)$$

که در آن E_{elec} , انرژی مورد نیاز برای هدایت و کنترل اجزای الکترونیکی، $E_{amp}(d_{ij})$, انرژی مصرف شده توسط

تقویت سیگنال در زمان انتقال داده های ۱-بیتی، ϵ_{fs} و ϵ_{mp} ، به ترتیب ضرایب برای مدل فضای آزاد و مدل چندین مسیره هستند و d_0 , آستانه فاصله است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs} / \epsilon_{mp}} \quad (4)$$

بر طبق معادله ۳، $E_{TX}(l, d_{ij})$ به d_{ij} بستگی دارد، که فاصله اقلیدسی بین گره i و گره j است. اگر فاصله d_{ij} کمتر

از آستانه d_0 باشد، انتشار سیگنال بی سیم از مدل فضای آزاد پیروی می کند و انرژی انتقال، متناسب با مربع d_{ij}

است؛ در غیر این صورت، انتشار سیگنال بی سیم از مدل چند-مسیره پیروی می کند و انرژی انتقال متناسب با توان

چهارم d_{ij} است. اگر فرض کنیم که مختصات گره های i و گره j به ترتیب (x_i, y_i) و (x_j, y_j) هستند،

فاصله بین آنها می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

گره، میزان انرژی زیر را در هنگام دریافت یک بسته l - بیت مصرف می کند.

$$E_{Rx}(l) = E_{elec} \times l. \quad (6)$$

۳,۳ اصطلاح شناسی

برخی از اصطلاحات مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی در زیر فهرست شده است.

(۱) مجموعه CH ها توسط $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{nH}\}$ نشان داده می شود و nH , تعداد CH ها را نشان می دهد.

گره سینگ، مقصد نهایی داده ها است، بنابراین به عنوان یک CH ویژه عمل می کند و توسط h_{nH+1} نشان داده می شود.

(۲) مجموعه گره های عادی توسط $M = \{m_1, m_2, \dots, m_{nM}\}$ نشان داده می شود و nM نشاندهنده تعداد گره های عادی است.

(۳) n تعداد تمام گره ها در شبکه است:

$$n = nH + nM + 1. \quad (7)$$

(۴) $sumE$, میزان کلی انرژی مصرف شده در دور 2 ام را نشان می دهد که شامل انرژی مورد استفاده برای خوشه بندی و مسیریابی است:

$$sumE = cluteringE + routingE. \quad (8)$$

(۵) mhE_{ij} , انرژی مصرف شده در طی برقراری ارتباط بین CM m_i و CH h_j را نشان می دهد. اگر انرژی مورد

نیاز برای ارسال داده ها از m_i به h_j توسط $sendmhE_{ij}$ نشان داده شود و انرژی مورد نیاز برای دریافت داده

ها از m_i به h_j توسط $recmhE_{ji}$ نشان داده شود، آن گاه mhE_{ij} به صورت زیر فرموله می شود:

$$mhE_{ij} = sendmhE_{ij} + recmhE_{ij}, 1 \leq i \leq nM, 1 \leq j \leq nH. \quad (9)$$

(6) نشان‌دهنده انرژی مصرف شده در طی برقراری ارتباط بین $CH\ h_i$ و $CH\ h_j$ می باشد. اگر داده

از h_i به h_j منتقل شوند، انرژی مورد نیاز برای ارسال داده ها توسط $sendhhE_{ij}$ نشان داده می شود و انرژی

مورد نیاز برای دریافت داده توسط $rechhhE_{ji}$ نشان داده می شوند، بنابراین hhE_{ij} به صورت زیر فرموله می

شود:

$$hhE_{ij} = sendhhE_{ij} + rechhhE_{ji}, 1 \leq i \leq nH, 1 \leq j \leq nH + 1. \quad (10)$$

d_{max} حداکثر دامنه برقراری ارتباط گره های حسگر را نشان می دهد.

(8) فاصله بین گره های $CH\ h_i$ و h_j را نشان می دهد. $d(m_i, h_j)$ فاصله بین $CM\ m_i$ و $CH\ h_j$ را

نشان می دهد.

(9) مجموعه CH های بالقوه برای $CM\ m_i$ است. CH ها در محدوده برقراری ارتباط m_i است. از این

رو،

$$pCH(m_i) = \{h_j | \forall h_j \in H \wedge 0 < d(m_i, h_j) < d_{max}\}. \quad (11)$$

(10) CH_m_i نشان دهنده CH انتخاب شده برای CH است. بنابراین، ما می توانیم

$$CH_m_i \in pCH(m_i)$$

را به دست آوریم

(11) $rCH(h_i)$ مجموعه ای از تمام CH ها در محدوده ارتباطات $CH\ h_i$ است. گره سینک نیز می تواند یک

عضو از $rCH(h_i)$ باشد. بنابراین،

$$rCH(h_i) = \{h_j | \forall h_j \in H \cup h_{nH+1} \wedge 0 < d(h_i, h_j) < d_{max}\}. \quad (12)$$

(۱۲) $nextHops(h_i)$ مجموعه گره های هاپ بالقوه بعدی $CH\ h_i$ است. برای جلوگیری از هدر رفتن

انرژی، هاپ بعدی باید نزدیکتر از h_i به گره سینک باشد، یعنی،

$$nextHops(h_i) = \{h_j | \forall h_j \in rCH(h_i) \wedge d(h_j, h_{nH+1}) < d(h_i, h_{nH+1})\}. \quad (13)$$

(۱۳) $nextHop_h_i$ نشانگر هاپ بعدی برای گره $CH\ h_i$ است. بنابراین می توانیم

را بدست آوریم. اگر گره سینک در محدوده ارتباطی h_i قرار

داشته باشد، آن گاه می تواند به هاپ بعدی h_i تبدیل شود

(۱۴) $nL(h_i)$ تعداد بارهای موجود روی $CH\ h_i$ را نشان می دهد. اگر تعداد گره های عضو h_i توسط

$nCM(h_i)$ مشخص شود و $nHops(h_i)$ تعداد CH هایی را نشان دهد که h_i به عنوان هاپ بعدی

انتخاب می کند، آن گاه $nL(h_i)$ به صورت زیر فرموله می شود:

$$nL(h_i) = nCM(h_i) + nHops(h_i). \quad (14)$$

(۱۵) $\hat{E}_{h_i h_{nH+1}}$ انرژی کل مصرف شده در هنگام انتقال داده از $CH\ h_i$ به گره سینک از طریق چند هاپ است.

(۱۶) $E_{residual}(h_i)$ نشان دهنده انرژی باقی مانده $CH\ h_i$ و $E_{residual}(m_i)$ انرژی باقیمانده CM

m_i است.

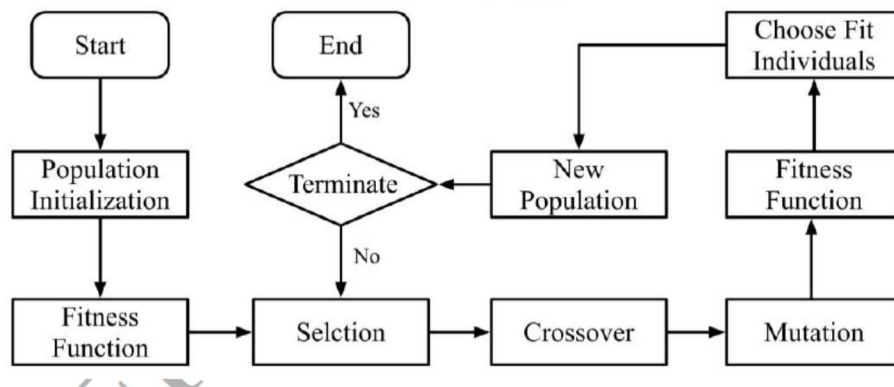
۴. مقدمات

۴.۱ مرور اجمالی بر GA

GA، یک نوع فراابتکار است که با شبیه سازی فرآیند طبیعی تکامل، یک راه حل بهینه را جستجو می کند. شکل ۳،

فرآیند کلی استفاده شده توسط یک GA را نشان می دهد. اولاً، بعضی از راه حل ها به طور تصادفی برای تشکیل یک

جمعیت اولیه راه اندازی می شوند. این راه حل ها، افراد نامیده می شوند و هر راه حل شامل یک یا چند کروموزوم ساخته شده از مجموعه ای از کاراکترها یا رشته ها می شوند. در یک کروموزوم فردی، هر واحد (یک شخص یا یک رشته)، یک ژن نامیده می شود. پس از تولید جمعیت اولیه، برای انتخاب افراد با عملکرد بالاتر، یک تابع تناسب استفاده می شود. سپس دو نفر به طور تصادفی به عنوان والدین انتخاب می شوند تا دو فرد جدید را به عنوان فرزند بر اساس یک عملیات متقاطع بزنند. یک عملیات جهشی برای تولید کودکان جدید اجرا می شود. سپس، تابع تناسب برای ارزیابی تناسب اندام کودکان و والدین جدید استفاده می شود. لازم به ذکر است که کودکان جدید بعد از جهش تولید می شوند و پس از انتخاب، والدین تولید می شوند. در نهایت، الگوریتم نیمی از افراد با عملکرد بهتر را انتخاب می کند و آنها را به جمعیت جدید می افزاید. اگر جمعیت جدید، شرط خاتمه را برآورده سازد، الگوریتم به پایان می رسد؛ در غیر این صورت، الگوریتم به نسل بعدی وارد می شود.



شکل ۳. فرایند کلی به کار گرفته شده توسط یک GA

۴,۲ فرمولاسیون مسئله

گره های حسگر با انرژی محدودی ارائه می شوند، و بنابراین موجب بهبود بهره وری انرژی می شوند و به حداکثر رساندن چرخه عمر شبکه، هدف اصلی الگوریتم خوشه بندی و مسیریابی است. در روش پیشنهادی ما، زمان شبکه به چندین دور تقسیم می شود. اگر مصرف انرژی در طی هر دور به حداقل برسد، آن گاه بازده انرژی درون چرخه

عمر قابل تضمین است. یک متغیر بولی c_{ij} برای ارزیابی این مورد تعریف می شود که آیا گره mi CM به گره CH h_j اختصاص داده شود یا خیر. سپس، c_{ij} را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{If } m_i \text{ is assigned to } h_j \\ \forall i, j: 1 \leq i \leq nM, 1 \leq j \leq nH \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

معادله ۸ نشان می دهد که کل انرژی مصرف شده در هر دور شامل $routingE$ و $clusteringE$

می شود. $clusteringE$ ، انرژی برقراری ارتباط مصرف شده بین تمام اعضا و CH های متناظر آنها است:

$$clusteringE = \sum_{i=1}^{nM} \sum_{j=1}^{nH} m_i h_j c_{ij} \quad (16)$$

$routingE$ ، انرژی مصرف شده در هنگام انتقال داده ها از تمام CH ها به گره سینک است:

$$routingE = \sum_{i=1}^{nH} E_{h_i h_{nH+1}} \quad (17)$$

بنابراین، هدف بهینه سازی برای مسائل خوشه بندی و مسیریابی به صورت زیر است:

$$\text{minimize: } sumE = \sum_{i=1}^{nM} \sum_{j=1}^{nH} m_i h_j c_{ij} + \sum_{k=1}^{nH} E_{h_k h_{nH+1}} \quad (18)$$

$$\text{subject to: } \sum_{j=1}^{nH} c_{ij} = 1, 1 \leq i \leq nM \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^{nH} d(m_i, h_j) * c_{ij} < d_{max}, 1 \leq i \leq nM, m_i \in M, h_j \in H. \quad (20)$$

معادله ۱۹ بیان می کند که هر گره CM می تواند تنها به یک گره h_j CH وصل شود. معادله ۲۰ بیان می کند که فاصله بین mi و h_j باید در محدوده حداکثر ارتباط از mi باشد، اگر mi به h_j اختصاص یابد.

۵. الگوریتم پیشنهاد شده

سپس، طراحی مفصلی الگوریتم پیشنهادی $GEGR$ را ارائه می کنیم. نمایش کروموزوم (بخش ۵،۱) در ابتدا معرفی می شود. سپس روش مقدار دهی (راه اندازی) جمعیت (بخش ۵،۲) و تابع تناسب (بخش ۵،۳) را در ابتدا ارائه می دهیم. در نهایت اپراتور متقاطع و اپراتور جهش در بخش ۵،۴ توضیح داده شده است.

۵.۱ نمایندگی کروموزوم

قبل از طراحی کروموزوم، هویت های گره ها باید بررسی و به روز شود. $ID(h_i)$ هویت جدید گره های CH را نشان می دهد:

$$ID(h_i) = \begin{cases} i, & \text{if } i \leq nH \\ n, & \text{if } i = nH + 1 \end{cases} \quad (21)$$

جایی که i ، هویت اصلی گره های CM است. اگر گره h_i یک $CH (i \leq nH)$ عادی باشد، هویت جدید آن تغییر نمی کند؛ در غیر این صورت، اگر h_i یک گره سینک ($i = nH + 1$) باشد، هویت جدید آن n است. به عنوان مثال، در WSN در شکل ۴، هویت جدید CH گره h_3 هنوز ۳ است، اما هویت جدید گره سینک h_5 به ۱۷ می رسد. هویت جدید گره CM توسط mi مشخص می شود:

$$ID(mi) = i + nH \quad (22)$$

جایی که هویت اصلی گره های CM است. به عنوان مثال، هویت جدید گره m_5 CM تبدیل به ۹ می شود. در الگوریتم پیشنهاد شده GECR، ما طرح خوشه بندی و طرح مسیریابی در یک کروموزوم کدگذاری می کنیم، که یک طرح نامیده می شود. طول کروموزوم طرح $n-1$ است که تعداد همه ی گره های حسگر به جز گره سینک است. $scheme[k]$ ، ژن k ام کروموزوم طرح را نشان می دهد و k هویت گره های حسگر جدید را نشان می دهد، که با استفاده از معادله ۲۱ و معادله ۲۲ محاسبه می شود. کروموزوم طرح شامل دو بخش می شود. بخش اول، طرح مسیریابی و $k \leq nH$ است. همانطور که در معادله ۲۳ نشان داده شده است، گام بعدی CH گره h_k دارای دو گزینه است:

$$nextHop_{h_k} = \begin{cases} h_{jaaa}, & \text{if } scheme[k] = j, k \leq nH, j \leq nH, \\ h_{nH+1}, & \text{if } scheme[k] = n, k \leq nH. \end{cases} \quad (23)$$

اگر ژن k به ترتیب j باشد و هر k و j کمتر از یا برابر با nH باشد، سپس گره بعدی انتهای گره h_k h_j است.

با این حال، اگر ژن k ام، z باشد و هر دوی k و z برابر یا کمتر از nH باشد، آن گاه گره هاپ-بعدی hk گره سر، h_j است. هرچند، اگر ژن k ام، n باشد و k برابر یا کمتر از nH باشد، آن گاه گره هاپ-بعدی hk گره سینک، h_{nH+1} است.

بخش دوم از کروموزوم طرح، طرح خوشه بندی است و $nH < k < n$. گره CH از گره عضو m_{k-nH} به صورت زیر محاسبه می شود:

$$CH_{m_{k-nH}} = h_j, \text{ if } scheme[k] = j, nH < k < n, j \leq nH. \quad (24)$$

اگر ژن k ام، z باشد و z برابر یا کمتر از nH باشد، آنگاه گره $CM^{m_{k-nH}}$ با هویت k به گره z اختصاص داده می شود. مهم است که توجه داشته باشید که اگر ژنهای متعددی با یک مقدار در این بخش وجود داشته باشد، گره های CM متناظر با ژن ها به یک گره CH اختصاص داده می شوند.

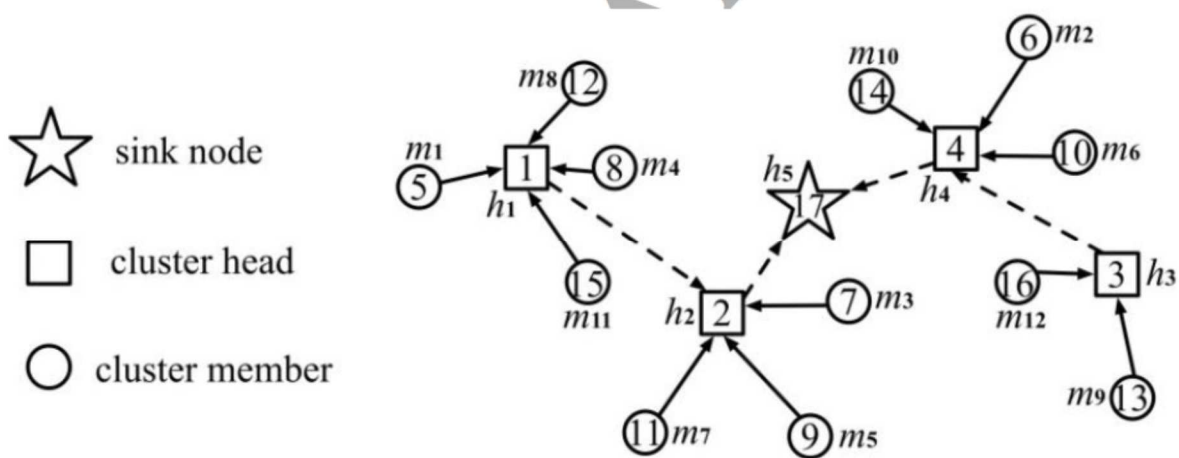
یک مثال از خوشه بندی WSN و طرح مسیریابی در شکل ۴ نشان داده شده است. شماره های داخلی گره ها، هویت گره های حسگر را نشان می دهد. انتقال از گره های CM به گره های CH متناظر آنها توسط فلش های توپر نشان داده می شود و مسیریابی بین گره های CH با فلش های تکه تکه نشان داده شده است. در کل WSN دارای

۱۷ گره حسگر است که متشکل از یک گره سینک، چهار گره CH و ۱۲

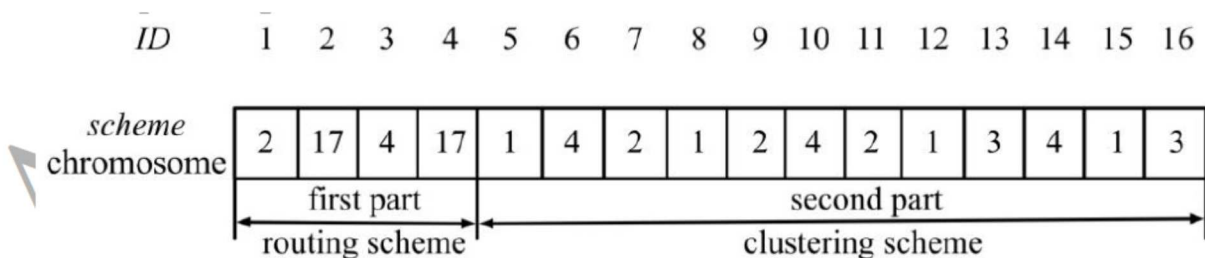
گره $(M = \{m_1, m_2, \dots, m_{12}\})$ است. شکل ۵ طرح کروموزوم متناظر برای طرح خوشه بندی و

مسیریابی در شکل ۴ را نشان می دهد. در شکل ۵، اعداد در ردیف «ID»، هویت گره های حسگر را نشان می دهند که مربوط به موقعیت ژن مربوطه است. طرح کروموزوم متشکل از دو بخش است: طرح مسیریابی و طرح خوشه بندی. موقعیت های ژن در بخش اول، نشان دهنده هویت CH ها در شبکه می باشد. آل موقعیت یک ژن، هویت هاپ بعدی در CH متناظر است. به عنوان مثال، آل موقعیت ژن ۲ در طرح، ۱۷ است، که نشان می دهد که هاپ بعدی CH (هویت: ۲، مربوط به CH h_2 در شکل ۴) گره ای است که هویت آن، ۱۷ است (مربوط به گره سینک h_5

در شکل ۴؛ آل موقعیت ژن ۳ در طرح، ۴ است، که نشان می دهد که مرحله بعدی CH (هویت: ۳، مربوط به CH h3 در شکل ۴) گره ای است که هویت آن، ۴ است (مربوط به CH h4 در شکل ۴). موقعیت های ژن در بخش دوم، نشان دهنده هویت های CM ها در شبکه می باشد. آل یک موقعیت ژن، هویت CH در CM های متناظر است. به عنوان مثال، آل موقعیت ژن ۷ در طرح، ۲ است، که نشان می دهد که CM (هویت: ۷، مربوط به CM m3 در شکل ۴) به CH اختصاص داده می شود که هویت آن، ۲ است (متناظر به CH h2 در شکل ۴)؛ الگوی موقعیت ژن ۱۲ در طرح، ۱ است، که نشان می دهد که CM (هویت: ۱۲، مربوط به CM h8 در شکل ۴) به CH اختصاص داده می شود که هویت آن، ۱ است (مربوط به CH h1 در شکل ۴).



شکل ۴. مثالی از یک طرح خوشه بندی و مسیریابی WSN



شکل ۵ کروموزوم طرح

۵.۲ راه اندازی (مقداردهی) جمعیت

جمعیت اولیه شامل چندین کروموزوم طرح می شود که به طور تصادفی تولید شده اند. با این حال، با توجه به طیف ارتباط محدود گره های حسگر، اعتبار هر کروموزوم طرح باید تضمین شود. برای بخش اول کروموزوم، تمام ژن ها باید شرط زیر را برآورده سازند:

$$scheme[k] \in nextHops(h_k), \text{ If } k \leq nH, \quad (25)$$

که در آن مقدار طرح ژن k باید متعلق به مجموعه گره های هاپ بعدی بالقوه برای $h_k \in CH$ k باشد. به علاوه، اگر ژن k در بخش دوم کروموزوم واقع شود، آنگاه مقدار آن باید به مجموعه CH های بالقوه برای

CM m_{k-nH} : متعلق باشد:

$$scheme[k] \in pCH(m_{k-nH}), \text{ If } nH < k < n. \quad (26)$$

الگوریتم ۱ مقدار دهی اولیه جمعیت

```

1: Procedure Scheme = Init_Population(previous_scheme, flag, H, M, nP)
2:   Scheme = [];
3:   n = length(H) + length(M) + 1;
4:   nH = length(H);
5:   for i = 1 to nP do
6:     if i == 1 && flag == 1 do
7:       Scheme(1,:) = previous_scheme;
8:     else
9:       for j = 1 to n-1 do
10:        if j <= nH do
11:          nextHop_hj = rand(nextHops(h_j));
12:          Scheme(i, j) = nextHop_hj;
13:        else
14:          CH_mj-nH = rand(pCH(m_j-nH));
15:          Scheme(i, j) = CH_mj-nH;
16:        end if
17:      end for
18:    end if
19:  end for
20: end Procedure

```

شکل ۶ الگوریتم مقداردهی جمعیت

در این مقاله، زمان شبکه به چندین دور شبکه تقسیم می شود. در هر دور شبکه، طرح خوشه بندی و مسیریابی بهینه از طریق روش پیشنهادی GEGR محاسبه می شود. طرح بهینه برای هر دور شبکه با تغییر انرژی گره های حسگر متفاوت است. معادله ۱۸ نشان می دهد که هدف بهینه سازی، مربوط به مصرف انرژی است که توسط فاصله بین گره ها تعیین می شود. مکان های جغرافیایی گره های حسگر در شبکه، ثابت هستند، بنابراین طرح خوشه بندی و مسیریابی بهینه برای دور $r+1$ ام مربوط به طرح بهینه برای دور r ام شبکه می باشد. بنابراین، برای کاهش تعداد تکرارها در GA، طرح بهینه برای دور r ام شبکه به جمعیت اولیه برای دور $r+1$ ام شبکه اضافه می شود. الگوریتم ۱ در شکل ۶، فرایند دنبال شده برای مقداردهی اولیه را توضیح می دهد. در الگوریتم ۱، طرح بهینه ای که در دور قبلی به دست آمده است، به صورت *previous_scheme* نشان داده می شود. برای یادآوری اینکه دو مورد

وجود دارند که *previous_scheme* نباید به جمعیت اولیه اضافه شود: (۱) شبکه در دور اول قرار دارد؛

و (۲) یک یا چند گره شکست در دور قبلی شبکه وجود دارد. در الگوریتم ۱، از متغیر *flag (flag=0)* برای نشان دادن این دو مورد استفاده می کنیم. H مجموعه ای از تمام گره های CH به جز گره سینک را مشخص می کند و M مجموعه تمام گره های CM را نشان می دهد. H و M قبل از عملیات شبکه از پیش تعیین می شوند. تعداد کروموزوم ها در جمعیت توسط NP مشخص می شود. خروجی الگوریتم، طرح اولیه جمعیت است که شامل تمام کروموزومهای طرح است. در الگوریتم ۱، خط ۲، طرح جمعیت را به صورت یک مجموعه خالی مقداردهی اولیه می کند و خطوط ۳ و ۴، تعداد تمام گره ها و تعداد گره های CH را به ترتیب محاسبه می کنند. بعد از خط ۵، الگوریتم، کروموزوم های NP را اختصاص می دهد. اگر شی اختصاص داده شده، اولین کروموزوم باشد و مقدار پرچم، ۱ (خط ۶) باشد، پس اولین کروموزوم در جمعیت به *previous_scheme* قبلی (خط ۷) تنظیم می شود؛ در

غیر این صورت، از خط ۸، الگوریتم، ژن نام از کروموزوم نام را در جمعیت اختصاص می دهد. در قسمت اول

$nextHops(h_j)$

کروموزوم (بخش طرح مسیریابی) یک گره از مجموعه به صورت تصادفی به عنوان

هاپ بعدی برای CH_{h_j} انتخاب می شود و به $Scheme(i, j)$ (خطوط ۱۰-۱۲) اختصاص داده می شود. در

قسمت دوم کروموزوم (بخش طرح خوشه بندی)، یک گره به صورت تصادفی از مجموعه

به عنوان CH برای CM_{m_j-nH} انتخاب می شود؛ ، و $p \square\square(m_j-nH)$

به CH_{m_j-nH} $Scheme(i, j)$ (خطوط ۱۳-۱۵) اختصاص داده می شود.

۵.۳ تابع تناسب

در WSN ها، تمام گره های حسگر دارای منبع تغذیه محدودی هستند و هر گره در هنگام ارسال و دریافت اطلاعات

از گره های دیگر نیاز به مصرف انرژی دارد. اگر مقدار کل مصرف انرژی کاهش یابد، انرژی می تواند ذخیره شود.

بنابراین، ما باید کل مقدار مصرف انرژی را برای تمام گره ها کاهش دهیم. در این مقاله روش پیشنهادی GECR

برای WSN ها با CH های دائمی اعمال می شود. در این نوع WSN ها، CH های مسئول دریافت و انتقال داده ها از

CM های آن و هاپ های قبلی هستند. تعادل بار برای CH ها در این شبکه، یکی دیگر از عوامل مهم است که می

تواند چرخه عمر شبکه را تحت تاثیر قرار دهد. اگر یک CH ، به دلیل بار بیش از حد آن، انرژی را بیش از حد سریع

مصرف کند، گره قبل از موعد تخلیه خواهد شد و ثبات و بهره وری انرژی شبکه نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت.

بنابراین، ما همچنین نیاز به متعادل سازی انرژی مصرف شده توسط هر CH داریم. طرح های مختلف خوشه بندی و

مسیریابی می توانند منجر به مقدار مختلف مصرف انرژی و متعادل سازی بارهای مختلف CH ها شوند. بنابراین، در

این مقاله، تناسب یک کروموزوم تک در جمعیت به کل مصرف انرژی و تعادل بار CH ها مربوط می شود.

مصرف انرژی کل تحت طرح خوشه بندی و مسیریابی مربوط به آن توسط $sumE'$ نشان داده شده است. معادله

۱۸ نشان می دهد که $sumE'$ به mhE_{ij} و $\dot{E}_{n_k}h_{nH+1}$ بستگی دارد. معادله ۹ نشان می دهد که

مجموع mhE_{ij} و $recmhE_{ij}$ است. اگر طول داده های ارسال شده، l بیت

باشد، ما می توانیم $sendmhE_{ij}$ را از معادله ۳ محاسبه کنیم:

با استفاده از معادله ۶، می توانیم انرژی مصرف شده توسط h_j را برای دریافت داده های l بیت از mi به دست آوریم:

$$recmhE_{ij} = E_{elec} * l. \quad (28)$$

آن گاه، معادله ۲۷ و معادله ۲۸ را برای محاسبه mhE_{ij} ترکیب می کنیم:

$$recmhE_{ij} = E_{elec} * l. \quad (28)$$

انرژی مصرف شده در طی انتقال داده ها از h_k به سینک h_{nH+1} از طریق چندین هاپ به صورت محاسبه می شود:

$$\dot{E}_{h_k h_{nH+1}} = \begin{cases} h h E_{k nH+1}, & \text{If } nextHop_{h_k} = h_{nH+1}, \\ h h E_{k y} + \dot{E}_{h_y h_{nH+1}}, & \text{If } nextHop_{h_k} = h_y. \end{cases} \quad (30)$$

اگر هاپ بعدی h_k ، گره سینک باشد، آن گاه $\dot{E}_{h_k h_{nH+1}}$ برابر با انرژی مصرف شده توسط h_k است

، هنگامی که ارسال مستقیم داده ها به گره سینک صورت می گیرد. در غیر این صورت، $\dot{E}_{h_k h_{nH+1}}$ برابر مجموع انرژی برقراری ارتباط است که بین تمام CH ها موردنیاز می باشد و انرژی مورد استفاده توسط CH قبلی برای انتقال داده به گره سینک.

گره سینک h_{nH+1} دارای منبع انرژی کافی است بنابراین انرژی مصرف شده توسط h_{nH+1} برای دریافت

داده ها نادیده گرفته می شود. بنابراین، انرژی ارتباطی بین h_k و h_{nH+1} تنها شامل انرژی استفاده شده توسط

برای انتقال داده ها می باشد. اگر طول داده های منتقل شده l -بیت باشد، روش مورد استفاده برای محاسبه h_k

به صورت زیر است: $hhE_{k nH+1}(l')$

$$hhE_{k nH+1}(l') = \begin{cases} E_{elec} * l' + \epsilon_{fs} * l' * d^2(h_k, h_{nH+1}), & \text{If } d(h_k, h_{nH+1}) < d_0, \\ E_{elec} * l' + \epsilon_{mp} * l' * d^4(h_k, h_{nH+1}), & \text{If } d(h_k, h_{nH+1}) \geq d_0. \end{cases} \quad (31)$$

معادله ۱۰ نشان می دهد که انرژی برقراری ارتباط بین h_k و هاپ بعدی آن h_y شامل انرژی مورد استفاده

توسط h_k برای انتقال داده ها $(sendhhE_{ky})$ و انرژی مورد استفاده توسط h_y برای دریافت داده

ها $(rechhhE_{yk})$ می باشد. به طور مشابه، اگر طول داده های منتقل شده l' -بیت باشد، آنگاه

به صورت زیر محاسبه می شود: $hhE_{ky}(l')$

$$hhE_{ky}(l') = \begin{cases} 2E_{elec} * l' + \epsilon_{fs} * l' * d^2(h_k, h_y), & \text{If } d(h_k, h_y) < d_0, \\ 2E_{elec} * l' + \epsilon_{mp} * l' * d^4(h_k, h_y), & \text{If } d(h_k, h_y) \geq d_0. \end{cases} \quad (32)$$

کروموزوم $scheme$ برای شکل ۵، به عنوان مثال برای محاسبه کل مصرف انرژی تحت طرح خوشه بندی و

مسیریابی متناظر استفاده می شود. ما فرض می کنیم که فواصل بین تمام گره های حسگر کمتر از d_0 است و طول

داده های منتقل شده از گره های CM به گره متناظر آنها، l -بیت است. علاوه بر این، طول داده های منتقل شده از

CH ها به هاپ های بعدی آنها l' -بیت است و داده های منتقل شده را می توان توسط جمع کردن داده های جمع

آوری شده از گره های CM محاسبه کرد. بر اساس شکل ۴ تعداد گره های CM، nM است و تعداد گره های CH

به ترتیب ۱۲ و ۴ هستند. با استفاده از معادله ۱۸، می توانیم مصرف انرژی کل $sumE(l, l')$ را به دست

آوریم

$$sumE(l, l') = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^4 mhE_{ij}(l) * c_{ij} + \sum_{k=1}^4 \dot{E}_{h_k h_{nH+1}}(l'). \quad (33)$$

بخش قبلی $\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^4 mhE_{ij}(l) * c_{ij}$ انرژی خوشه بندی (که توسط E_1 نشان داده می شود)

است که شامل انرژی مصرف شده توسط تمام CMها در زمان انتقال داده های جمع آوری شده و انرژی مورد

استفاده توسط تمام CHها به منظور دریافت داده ها است. E_1 به بخش دوم کروموزوم scheme در شکل ۵

مرتبط می شود و به صورت زیر قابل محاسبه است

$$\begin{aligned} E_1 &= mhE_{11}(l) + mhE_{24}(l) + mhE_{32}(l) + mhE_{41}(l) + mhE_{52}(l) + mhE_{64}(l) \\ &\quad + mhE_{72}(l) + mhE_{81}(l) + mhE_{93}(l) + mhE_{104}(l) + mhE_{111}(l) + mhE_{123}(l) \\ &= 24lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(m_1, h_1) + d^2(m_2, h_4) + d^2(m_3, h_2) + d^2(m_4, h_1) \\ &\quad + d^2(m_5, h_2) + d^2(m_6, h_4) + d^2(m_7, h_2) + d^2(m_8, h_1) + d^2(m_9, h_3) \\ &\quad + d^2(m_{10}, h_4) + d^2(m_{11}, h_1) + d^2(m_{12}, h_3)). \end{aligned} \quad (34)$$

باقی مانده معادله ۳۳، $\sum_{k=1}^4 \dot{E}_{h_k h_{nH+1}}(l')$ انرژی مسیریابی (که توسط E_2 مشخص می شود) می

باشد که شامل کل انرژی ارتباطی مورد استفاده در انتقال داده ها از تمام CHها به گره سینک است. E_2 مربوط به

قسمت اول کروموزوم طرح (scheme) در شکل ۵ است و می توان آن را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\begin{aligned} E_2 &= \dot{E}_{h_1 h_5}(l') + \dot{E}_{h_2 h_5}(l') + \dot{E}_{h_3 h_5}(l') + \dot{E}_{h_4 h_5}(l') \\ &= hhE_{12}(l') + hhE_{25}(l') + hhE_{25}(l') + hhE_{34}(l') + hhE_{45}(l') + hhE_{45}(l') \\ &= 8lE_{elec} + l'E_{fs}(d^2(h_1, h_2) + 2d^2(h_2, h_5) + d^2(h_3, h_4) + 2d^2(h_4, h_5)). \end{aligned} \quad (35)$$

با توجه به انرژی محدود گره های حسگر در شبکه، ما باید انرژی مورد استفاده در هر دور را به حداقل برسانیم تا

طول عمر شبکه را افزایش دهیم. بنابراین کروموزوم ها باید طوری انتخاب شوند که مقادیر کمتری از انرژی مصرف

کنند. در واقع، یک کروموزوم با مصرف انرژی پایین تر معمولاً دارای مقدار تناسب کمتر است. بنابراین، تابع تناسب،

متناسب با مصرف انرژی کل، $sumE$ است:

$$Fit \propto sumE. \quad (36)$$

سپس ما پارامتری را محاسبه می کنیم که به توازن بار CHها مرتبط می شود. می توانیم $Avrg_i$ را به صورت میانگین انرژی باقیمانده منسوب به هر بار روی CH hi تعریف می کنیم که به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Avrg_i = \frac{E_{residual}(h_i)}{nL(h_i)}. \quad (37)$$

مقدار متوسط μ برای $Avrg_i$ برای تمام CHها به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{nH} Avrg_i}{nH}. \quad (38)$$

بر اساس مقدار μ و $Avrg_i$ می توانیم انحراف معیار متوسط انرژی باقیمانده را به دست آوریم

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nH} (\mu - Avrg_i)^2}{nH}}. \quad (39)$$

یک مقدار کوچکتر برای انحراف معیار σ ، مصرف انرژی را متعادل خواهد کرد و چرخه عمر شبکه را افزایش خواهد داد. بنابراین، σ متناسب با مقدار تناسب است:

$$Fit \propto \sigma. \quad (40)$$

با ترکیب معادله ۳۶ و معادله ۴۰، می توانیم تابع تناسب زیر را به دست آوریم:

$$Fit \propto sumE + \sigma. \quad (41)$$

و σ و $sumE$ در یک طیف نیستند، بنابراین این دو مقدار باید به صورت زیر نرمالسازی شوند:

$$sumE = \frac{sumE - sumE_{min}}{sumE_{max} - sumE_{min}}, \quad (42)$$

$$\sigma = \frac{\sigma - \sigma_{min}}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}. \quad (43)$$

و σ_{max} و $sumE$ هستند و $sumE_{min}$ و $sumE_{max}$ به ترتیب ماکزیمم و مینیمم هستند و

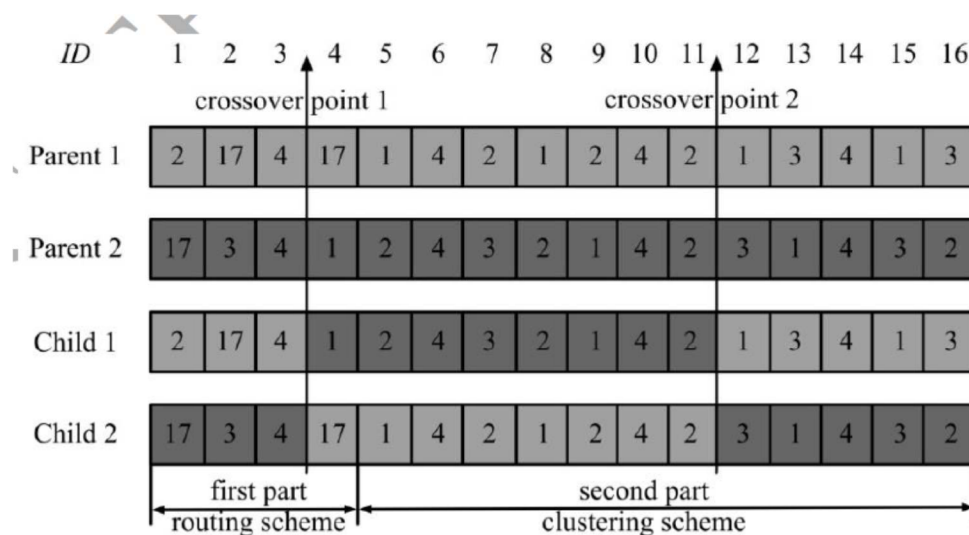
σ_{min} ، به ترتیب ماکزیمم و مینیمم هستند. σ و $sumE$ با درجات مختلف بر تناسب تاثیر می

گذارند، بنابراین یک وزن λ به تابع تناسب اضافه می کنیم:

$$Fit \propto \lambda * sumE + (1 - \lambda) * \sigma. \quad (44)$$

۵.۴ تقاطع و جهش

طراحی اپراتورهای عام، یک مرحله حیاتی در GA است. اپراتورهای ژنتیک شامل اپراتورهای تقاطع و جهش می شوند. بعد از ورود یک نسل جدید، کروموزوم ها با تناسب کمتر با استفاده از الگوریتم چرخ رولت انتخاب می شوند. این کروموزوم های انتخاب شده، کروموزوم های والد برای اپراتور تقاطع هستند و آنها برای تولید کروموزوم های جدید کودکان استفاده می شوند



شکل ۷. تقاطع بین دو کروموزوم والد

در الگوریتم GEGR پیشنهادی، تنها یک طرح کروموزوم برای افراد در جمعیت وجود دارد. شکل ۵ نشان می دهد که این کروموزوم شامل دو بخش می شود که برای تولید طرح مسیریابی بهینه و طرح خوشه بندی بهینه استفاده می شوند. به منظور تولید ژن های بهتر در دو بخش در یک زمان، ما از یک تقاطع دو-نقطه ای استفاده می کنیم و به طور تصادفی یک نقطه تقاطع در بخش اول و قسمت دوم طرح را انتخاب می کنیم. شکل ۷ نشان دهنده تقاطع بین دو کروموزوم والد. در این مطالعه، اپراتور تقاطع همیشه اتفاق می افتد. همانطور که در بخش ۴,۱ معرفی شده است، الگوریتم، کروموزوم ها با عملکردی بالاتر از کروموزوم های والد و کروموزوم کودکان جدید را انتخاب می کند. بنابراین، بهترین راه حل ها می توانند برای نسل آینده به این شکل حفظ شوند.

باید توجه داشت که کروموزوم های کودک تولیدشده توسط عملیات تقاطع هنوز معتبر هستند. در اولین بخش طرح،

معادله ۲۵ نشان می دهد که ژن k ام به طور تصادفی از مجموعه $nextHops(h_k)$ انتخاب می شود. بعد

از تقاطع، ژن k ام هنوز متعلق به $nextHops(h_k)$ است. به طور مشابه، اگر ژن k ام متعلق به بخش دوم

طرح باشد، معادله ۲۶ نشان می دهد که ژن k ام متعلق به مجموعه $pCH(m_{k-nH})$ است.

جهش برای تولید کروموزوم های بهتر در GA استفاده می شود. در روش پیشنهادی GEGR، ما از اپراتور جهش پایه بیتی استفاده می کنیم. هر ژن در کروموزوم ممکن است جهش کند. فرض می کنیم که ژن k ام باید جهش یابد. اگر ژن k ام در قسمت اول کروموزوم باشد، آنگاه باید به طور تصادفی یک آلل جدید را از مجموعه

$nextHops(h_k)$ برای جایگزینی آلل k ام پیشین انتخاب کنیم. اگر ژن k ام در قسمت دوم کروموزوم قرار

گیرد، آنگاه باید یک آلل جدید به صورت تصادفی از مجموعه $pCH(m_{k-nH})$ انتخاب شود تا جایگزین آلل

قبلی شود.

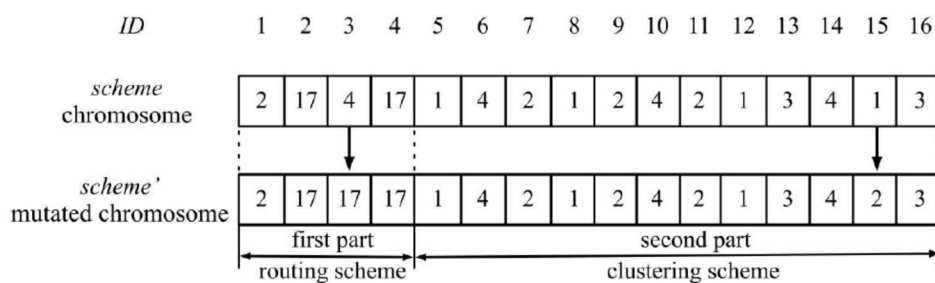
شکل ۸، جهش طرح کروموزوم را نشان می دهد. در این شکل، کروموزوم پس از جهش، طرح است! دو ژن (ژن ۳ و

ژن ۱۵) وجود دارند که نیاز به جهش دارند. ژن سوم در قسمت اول کروموزوم، مجموعه

$nextHops(h_3) = \{2, 4, 17\}$, واقع شده است. بنابراین, شماره ۱۷ برای جایگزینی آل ۴ قبلی انتخاب می شود. در

همین حال, ژن ۱۵ در بخش دوم, مجموعه $pCH(m_{11}) = \{1, 2\}$ واقع شده است. بنابراین عدد ۲ برای

جایگزینی آل قبلی ۱ انتخاب می شود



شکل ۸. جهش طرح کروموزوم

۶. نتایج تجربی

در آزمایشات, الگوریتم GEGR پیشنهادی را با ۵ الگوریتم خوشه بندی و مسیریابی مقایسه می کنیم:

GALBCA [20], GACR [14], GAR [15], ASLPR [16], LEACH-GA [17] و این الگوریتم ها.

همگی بر اساس GA هستند.

۶.۱ تنظیمات پارامتری

MATLAB R2014a و زبان برنامه نویسی C برای شبیه سازی الگوریتم های خوشه بندی استفاده می شوند.

MATLAB R2014a روی یک سیستم با یک Intel CPU Core i7-3770, 16 GB RAM و

ویندوز سون بهره برداری شد. ما از همین مدل انرژی و پارامترهای نوعی متناظر استفاده کردیم که در بیشتر

الگوریتم های مسیریابی کنونی برای WSN ها به کار گرفته می شوند (مثلاً [6; 14; 16; 28]). جدول ۱,

پارامترهای شبیه سازی را نشان می دهد که در آن E_{DA} , E_{elec} , ϵ_{fs} , ϵ_{mp} و پارامترهای مرتبط با

مصرف انرژی هستند. اندازه بسته کنترل, طول برخی از پیام های اطلاع رسانی است. اندازه بسته پیام, طول پیام

های داده های جمع آوری شده توسط گره های حسگر است. دو زمینه حس کردن وجود دارند: **Area1** و

Area2. **Area1** کوچکتر با ۱۰۰ گره مستقر می شود و **Area2** بزرگتر دارای ۲۰۰ گره حسگر است. گره

سینک در مرکز منطقه شبکه است و مختصات آن در **Area1** و **Area2**، به ترتیب **(50, 50)** و

(100, 100) هستند. **dmax** نشاندهنده ماکزیمم طیف برقراری ارتباط گره های حسگر است. گره ها به دو

دسته تقسیم می شوند: **CM** ها و **CH** ها. انرژی اولیه **CM** های عادی، **0.1 J** است. **CH** ها به عنوان دروازه ها

استفاده می شوند، بنابراین به انرژی اولیه بیشتر نیاز دارند. و تنظیم نسبت و انرژی اولیه برای **CH** ها ممکن است

متفاوت باشد **[14; 15; 20]**.؛ برای ارزیابی قابلیت تطبیق با نواحی مختلف و تنظیم متفاوت برای **CH** ها

توسط الگوریتم ها، ما چهار حالت شبیه سازی را آزمایش نمودیم: **WSN#1, WSN#2, WSN#3** و

WSN#4، که به صورت زیر تنظیم می شوند:

$$WSN\#1 = (Area1, 20 CHs, 0.6 J/CH), WSN\#2 = (Area1, 40 CHs, 0.3 J/CH), WSN\#3 =$$

$$(Area3, 40 CHs, 0.6 J/CH)$$

و

WSN#4 = (Area1, 80 CHs, 0.3J/CH). برای تضمین این که مقایسه ها منصفانه

باشند، تمام الگوریتم ها **GAR, GACR, GALBCA, LEACH-GA, ASLPR** و **GECR** پیشنهادی، از

تنظیمات پارامتری یکسان استفاده نمودند. مطابق با مرجع [52]، در روش **GECR** پیشنهادی و احتمال جهش به

صورت $1/(n-1)$ ، تنظیم می شود که در آن $(n-1)$ ، طول کروموزوم است.

جدول ۱ تنظیمات پارامتری آزمایشی

پارامتر

مقدار ارزش لگممم

انرژی برای جمع آوری داده ها	50 (nJ/bit) 10 (pJ/bit/m ²) 0.0013(pJ/bit/m ⁴)
اندازه بسته پیام	5 (nJ/bit) 200 (bits) 4000 (bits)
Area1 (L*L)	100*100 (m ²) and 100 nodes
Area2 (L*L)	200*200 (m ²) and 200 nodes
موقعیت گره سینک	مرکز مساحت شبکه
d_{max}	$L/2$
انرژی اولیه CHs	0.1 J
نسبت CH ها	20%/40%
انرژی اولیه CH ها	0.6 J/0.3 J

۶،۲ مقایسه وزن λ

الگوریتم GEGR از یک GA برای تعیین طرح خوشه بندی و مسیریابی برای WSNها استفاده نمودند. تناسب یک فرد در جمعیت وابسته به مصرف انرژی و وایرانس در بارها روی CHها تحت طرح خوشه بندی و مسیریابی متناظر

است. معادله ۴۴ نشان می دهد که وزن λ ، نسبت مصرف انرژی و وایرانس در بار را تعیین می کند. بنابراین،

مقدار λ بر محاسبه طرح خوشه بندی و مسیریابی بهینه تاثیر می گذارد. ما یک مقدار مناسب λ

را انتخاب نمودیم که بهترین نتایج را در آزمایشات مقایسه ای به دست آوردند. هدف اصلی الگوریتم GEGR،

گسترش چرخه عمر شبکه است، بنابراین یک مقدار λ را با یک چرخه طول عمر شبکه طویل تر انتخاب نمودیم.

برای تعریف چرخه عمر WSNها، ما از سه ماتریس [53-55] استفاده می کنیم:

اولین مرگ گره (FND)، نیم گره های زنده (HNA)، و آخرین مرگ گره (LND). سه معیار برای حالات مختلف

مناسب هستند. در بعضی از سناریوها (نفوذ و تشخیص آتش)، کیفیت شبکه به طور قابل توجهی کاهش می یابد به

محض اینکه یک گره می میرد، بنابراین تمام گره ها باید تا زمانی که ممکن است زنده بمانند. در این موارد، دانستن مقدار FND مهم است. در ضمن، در بعضی از سناریوها، سنسورها را می توان در نزدیکی یکدیگر قرار داد و سنسورهای مجاور می توانند داده های مرتبط یا یکسان را ثبت کنند، بنابراین از دست دادن یک گره یا یک یا چند به طور خودکار کیفیت خدمات شبکه را کاهش نمی دهد. در این موارد، HNA و LND در تجزیه و تحلیل چرخه عمر شبکه موثر هستند.

به منظور کاهش زمان اجرای الگوریتم، ما سطوح اولیه انرژی گره های حسگر در آزمایشات را در زمان تعیین مقدار λ کاهش دادیم: λ : WSN#1 and WSN#3 (0.12 J/CH; 0.02 J/CM), و

WSN#2, WSN#4 (0.06 J/CHs; 0.02 J/CM). جدول ۲، چرخه های عمر شبکه

را برای مقادیر مختلف λ در سناریوهای مختلف نشان می دهد. شکل ۹، تعداد گره های زندگی را با مقادیر مختلف λ در سناریوهای مختلف نشان می دهد. سه مقدار بالا در هر ردیف جدول ۲ به صورت پررنگ برجسته شده اند. تعداد بیشتر مقادیر پررنگ نشان دهنده عملکرد بهتر برای یک مقدار خاص است. جدول ۲ نشان دهنده $\lambda = 0.8$

و $\lambda = 0.9$ به دست آمده مقادیر پررنگ تر با ۱۰ است. در شکل ۹، منحنی برای $\lambda = 0.8$ به رنگ

سیاه نشان داده شده است و منحنی برای $\lambda = 0.9$ به رنگ قهوه ای نشان داده شده است. برای WSN # 4،

منحنی سیاه و منحنی قهوه ای، مجاور یکدیگر هستند. برای WSN # 2، منحنی سیاه بالاتر از منحنی قهوه ای در بیشتر نقاط زمانی است، اما منحنی قهوه ای به طور مختصر درون یک دوره زمانی کوتاه نزدیک به ۳۰۰ دور بهتر

است. برای WSN#1 و WSN#3، منحنی سیاه به طور چشمگیری بالای منحنی قهوه ای است. بنابراین

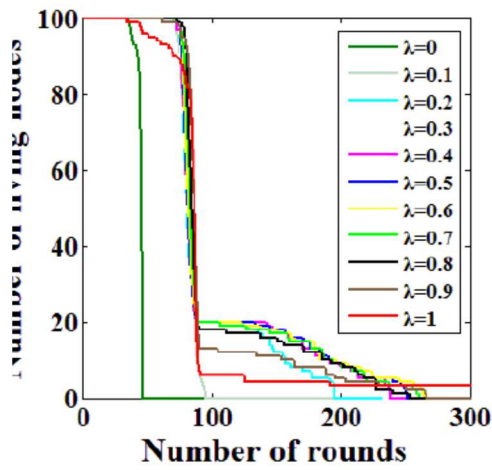
با منحنی سیاه، بهینه است. در آزمایشات بعدی، مقدار λ در ۰,۸ تنظیم

جدول ۲. مقایسه چرخه عمر شبکه با استفاده از مقادیر مختلف

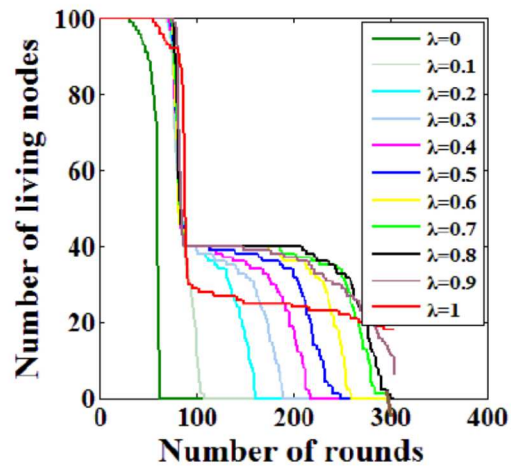
λدر حالات مختلف

حالت	چرخه عمر	=	= .1	= .2	= .3	= .4	= .5	= .6	= .7	= .8	= .9	= 1
WSN#1	FND	36	72	72	73	73	73	73	74	74	62	35
	HNA	45	80	80	80	81	81	81	83	84	86	86
	LND	47	96	196	234	239	252	264	261	254	267	463
WSN#2	FND	31	70	73	74	73	75	75	75	76	76	56
	HNA	59	83	83	83	82	82	81	83	83	84	87
	LND	62	108	161	190	218	248	261	299	299	313	437
WSN#3	FND	20	43	45	46	46	47	47	51	51	50	46
	HNA	33	57	56	57	58	58	61	63	64	65	63
	LND	36	69	133	161	188	192	214	164	161	170	203
WSN#4	FND	17	31	33	45	43	45	46	49	51	51	49
	HNA	56	59	59	60	60	60	60	61	61	64	67

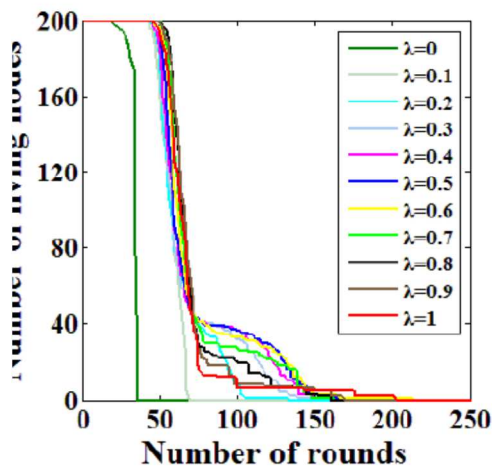
LND	118	229	262	286	312	328	349	365	385	396	445	



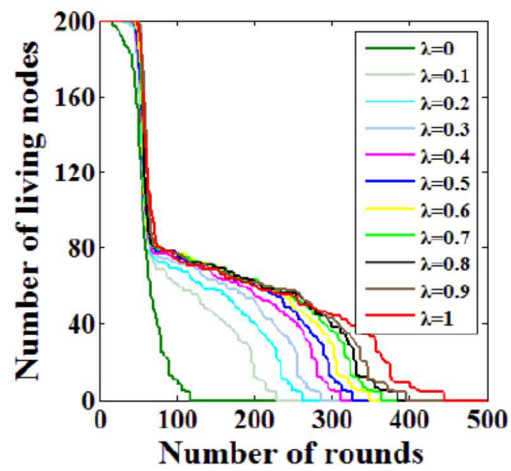
(a) WSN#1



(b) WSN#2



(c) WSN#3



(d) WSN#4

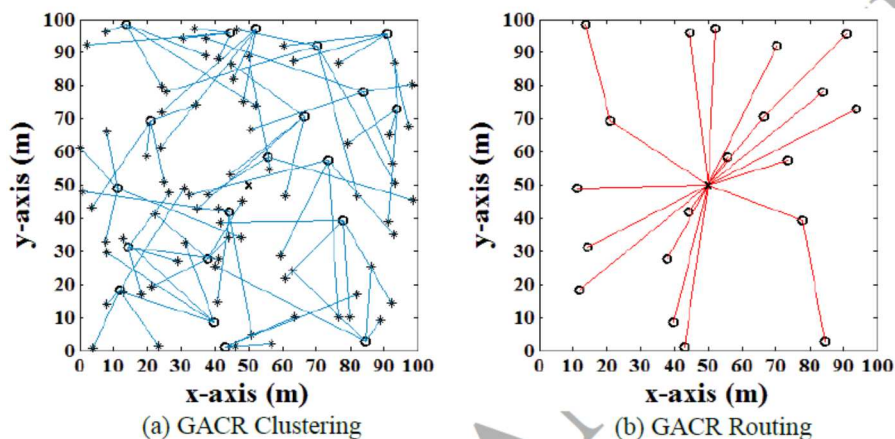
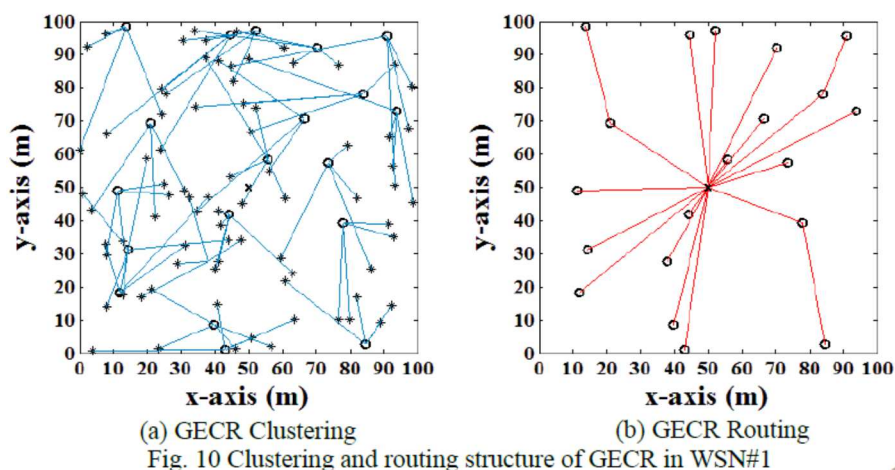
شکل ۹. مقایسه ها از نظر تعداد گره های زنده با استفاده از مقادیر مختلف λ در حالات مختلف

۶،۳ ساختار خوشه بندی و مسیریابی

شکل ۱۵-۱۰، روش **GECR** پیشنهادی را با **GACR**, **GALBCA**, **GAR**, **LEACH-GA** و **ASLPR** از نظر

ساختار خوشه بندی و مسیریابی تحت حالت **WSN#1**. مقایسه می کند. در این اشکال، نماد 0، نشاندهنده گره

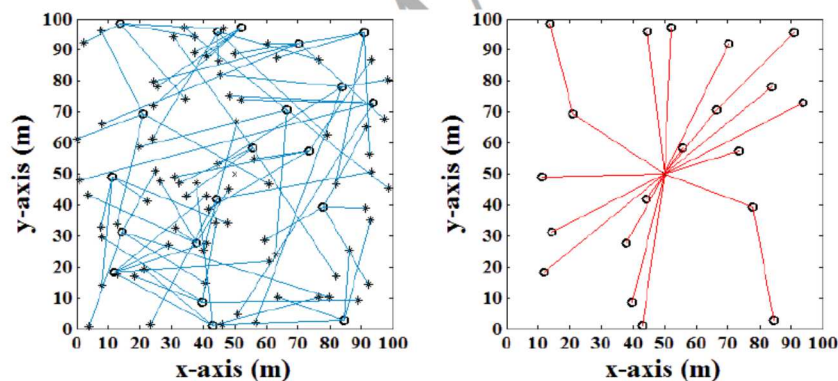
CH است، نماد * نشاندهنده گره CM است و نماد x نشاندهنده گره سینک است. خط آبی نشاندهنده ارتباط بین CMها و CHهای متناظر آنهاست. خط قرمز نشاندهنده مسیریابی بین CHها است.



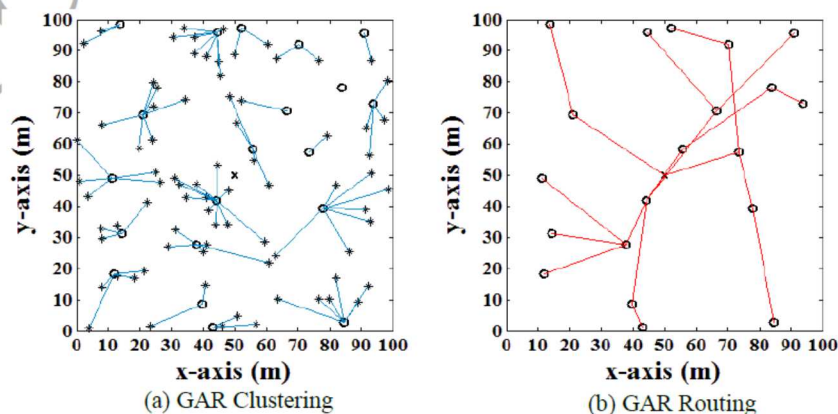
شکل ۱۳. ساختار خوشه بندی و مسیریابی GAR در WSN#1

از شکل ۱۰-۱۵، می توان نتیجه های زیر را بدست آورد. در ابتدا، برای GECR در شکل ۱۰، گره های CH دارای تقریباً همان تعداد بارها هستند و CMها نزدیک به CHهای متناظر خود هستند. بنابراین، گره های CH می توانند انرژی را به طور مساوی مصرف کنند و مقدار مصرف انرژی برای CHها و CMها کوچک می باشد. علاوه بر این، گره های CH، انتقال داده ها را به CHهای نزدیک خود بدون افزایش زیاد بار گره های هاپ بعدی صورت می دهند. دوماً، برای GACR و GALBCA در شکل ۱۱ و شکل ۱۲، توزیع های خوشه بندی دو روش بی ربط تر از GECR است. برای GALBCA، فواصل بین برخی CMها و CHها حتی بیشتر از نیمی از طول لبه است. در ضمن، این دو روش به طور جداگانه برنامه ریزی مسیریابی بهینه را محاسبه می کنند و تعادل بار مسیریابی را در نظر نمی گیرند.

بنابراین، برخی از CHها باید مقدار زیادی انرژی اضافی را برای دریافت و انتقال داده ها از CHهای پیشین خود استفاده کنند. به این ترتیب، CHها نمی توانند انرژی را به طور مساوی مصرف کنند. سوم، برای روش های GAR، ASLPR و LEACH-GA در شکل ۱۳، شکل ۱۴ و شکل ۱۵، تعداد زیادی از CHها وجود دارد که هیچ ارتباطی با هیچ CM ندارند. بنابراین، تابع تجمیع داده های CHها تک مورد استفاده قرار نگرفته است. علاوه بر این، این سه روش دارای مشکل عدم توازن بار است که منجر به مصرف انرژی نامنظم می شود. برای نتیجه مسیریابی GAR در شکل (b) ۱۳، داده ها از اکثر CHها قبل از رسیدن به گره سینک چندین بار ارسال می شوند. تعداد بیش از انتقال داده ها منجر به افزایش میزان افت و مصرف انرژی می شود. برای نتایج مسیریابی ASLPR و LEACH-GA در شکل (b) ۱۴ و شکل (b) ۱۵، برخی از CHها داده های خود را به هاپ های بعدی خود ارسال می کنند، که دورتر از گره سینک هستند. در این شرایط، انرژی این CHها هدر خواهد رفت. در نتیجه، روش پیشنهادی، ساختار مناسب خوشه بندی و مسیریابی مناسب تری دارد.



(a) GALBCA Clustering
(b) GALBCA Routing
Fig. 12 Clustering and routing structure of GALBCA in WSN#1

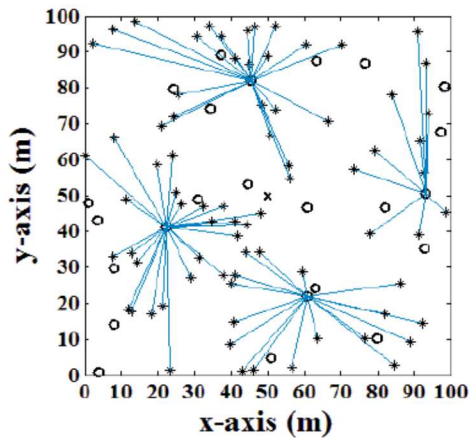


(a) GAR Clustering
(b) GAR Routing

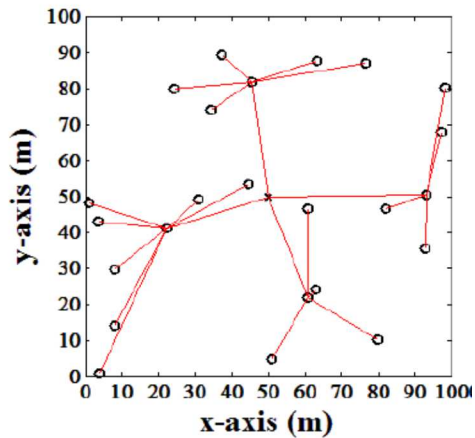
شکل ۱۴. ساختار خوشه بندی و مسیریابی ASLRP در WSN#1

۶,۴ تعادل بار

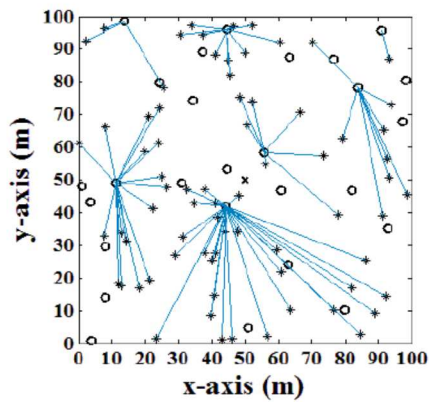
متعادل سازی بار، یکنواختی مصرف انرژی و بار ارتباطی روی گره های CH را تعیین می کند. شکل ۱۶، روش پیشنهادی GEGR را با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR از نظر واریانس در تعداد بارها در CHها در شرایط مختلف (WSN # 1، WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4) تعیین می کند. برای مقایسه بهتر، ما تنها واریانس در بارهای در الگوریتم ها را طی ۲۰ تا ۸۰ دور نشان می دهیم. لازم به ذکر است که مصرف انرژی توسط CHها شامل انرژی مورد استفاده برای دریافت و ارسال پیام ها در هاپ های قبلی و همچنین انرژی مورد نیاز برای دریافت پیام از CMها می شود. در این مطالعه بار بر روی یک CH شامل تمام گره های حسگر درون خوشه و نیز هاپ های قبلی برای CH می شوند. شکل ۱۶ به وضوح نشان می دهد که واریانس ها در بارها با استفاده از GAR، LEACH-GA و ASLPR نسبت به سایر الگوریتم های خوشه بندی در تمام سناریوها بسیار بهتر هستند. بنابراین، متعادل سازی بار در GAR، LEACH-GA و ASLPR کافی نیست. در WSN # 1، واریانس ها در بارها برای GEGR و GACR مشابه بودند و هر دو کمتر از GALBCA بودند. در WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4، واریانس ها در بارها با استفاده از روش پیشنهادی GEGR، کوچکترین بودند و نوسانات نسبتا پایدار بود. میانگین واریانس ها با استفاده از GEGR در WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4 به ترتیب ۰,۴۳، ۰,۲۹ و ۱,۴۵ به ترتیب کمتر از الگوریتم های بهینه دوم بودند. در تمامی این سناریوها، اختلاف با GEGR 20 تا ۳۰ بار پایین تر از زمانی بود که از LEACH-GA و ASLPR استفاده می شد. بنابراین، با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده GEGR، تعادل بار مطلوب است.



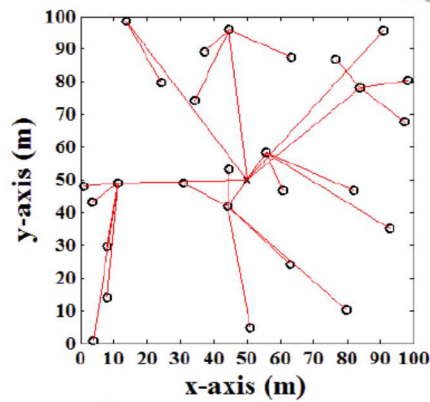
(a) LEACH_GA Clustering



(b) LEACH_GA Routing



(a) ASLPR Clustering



(b) ASLPR Routing

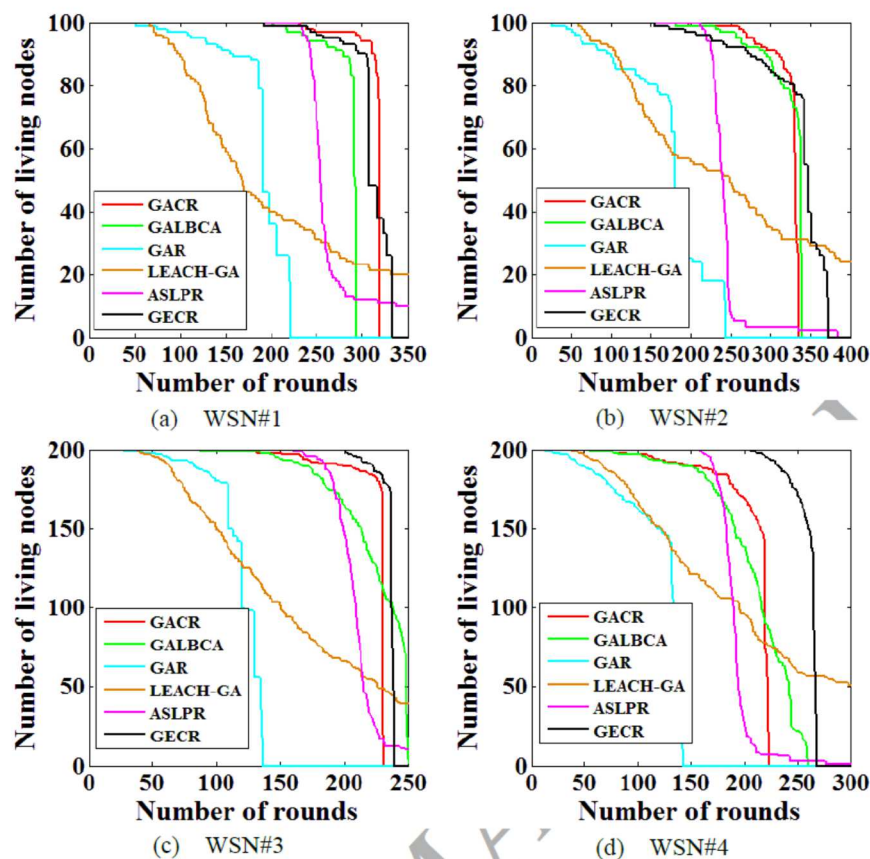
شکل ۱۶. مقایسه های GECR with GACR, GALBCA, GAR, LEACH-GA, و ASLPR از نظر متعادل سازی

بار

۶.۵ چرخه عمر شبکه

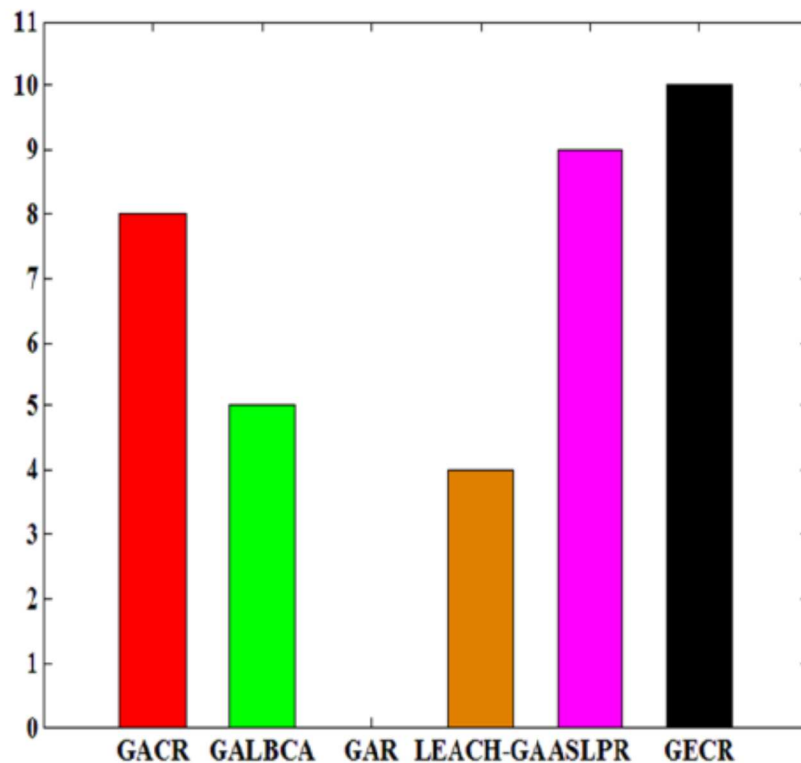
در شکل ۱۷، GECR پیشنهاد شده با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR از نظر تعداد گره های زنده در سناریوهای مختلف (WSN # 1، WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4) مقایسه می کند. شکل ۱۷ به وضوح نشان می دهد که زمان خرابی و نرخ گره های حسگر به ترتیب با استفاده از ASLPR و LEACH-GA، GAR، LEACH-GA و ASLPR، زودتر و سریع تر بودند. به طور خاص، هنگام استفاده از LEACH-GA و ASLPR، برخی از گره ها هنوز زنده بودند اما هیچ گره زنده با چهار الگوریتم دیگر وجود نداشت. این اختلاف عمدتاً به این دلیل است که گره ها با انرژی اولیه

بیشتر همیشه به عنوان CHS در LEACH GA و ASLPR عمل نمی کنند. علاوه بر این، این دو الگوریتم، انرژی باقی مانده گره های حسگر را در نظر نمی گیرند. بنابراین، آخرین گره های زنده، گره هایی با گره های اولیه بالاتر بودند. شکل (a) نشان می دهد که نرخ خرابی برای گره های حساس با GACR در طول زمانی که گره ها شروع به مردن می کردند، کمترین بود. با این حال، هنگامی که بیش از نیمی از گره ها، مرده بودند، نرخ خرابی با GACR به طور قابل توجهی سریع تر از استفاده از GECR بود. شکل (c) نشان می دهد که تعداد گره های زنده هنگام استفاده از GALBCA در کوتاه مدت زمان قبل از اینکه تمام گره ها مرده باشد، بزرگتر بود. با این حال، قبل از این مرحله، نرخ خرابی با GALBCA بسیار سریعتر از حالت استفاده از GACR و GECR بود. در WSN # 1، GECR پیشنهادی، بعد از حدود دور ۳۱۰ام، بیشترین تعداد گره های زنده را داشت به جز LEACH-GA و ASLPR. در WSN # 2 و WSN # 3، نرخ خرابی گره های حسگر، در زمان استفاده از GECR، کندترین بود. به علاوه، WSN#4، زمان خرابی و نرخ گره های حسگر، به ترتیب دیرترین و کندترین، در زمان استفاده از GECR بودند.



شکل ۱۷. مقایسه های GEGR با GACR، GALBCA، GAR، LEACH GA و ASLPR از نظر تعداد گره های زنده جدول ۳ چرخه عمر شبکه (FND، HNA و LND) را با استفاده از روش GEGR پیشنهادی، GACR، GALBCA، GAR نشان می دهد.

Scenario	Life cycle	GACR	GALBCA	GAR	LEACH-GA	ASLPR	GEGR
WSN#1	FND	232	203	51	67	231	192
	HNA	318	291	190	168	253	306
	LND	319	293	221	> 350	> 350	333
WSN#2	FND	197	182	26	59	212	155
	HNA	330	336	180	248	240	345
	LND	335	339	244	> 380	> 380	372
WSN#3	FND	94	88	28	39	161	201
	HNA	229	237	121	150	208	237
	LND	231	252	136	> 260	> 260	239
WSN#4	FND	57	56	14	38	159	206
	HNA	219	216	133	195	190	265
	LND	224	261	143	> 270	> 270	268

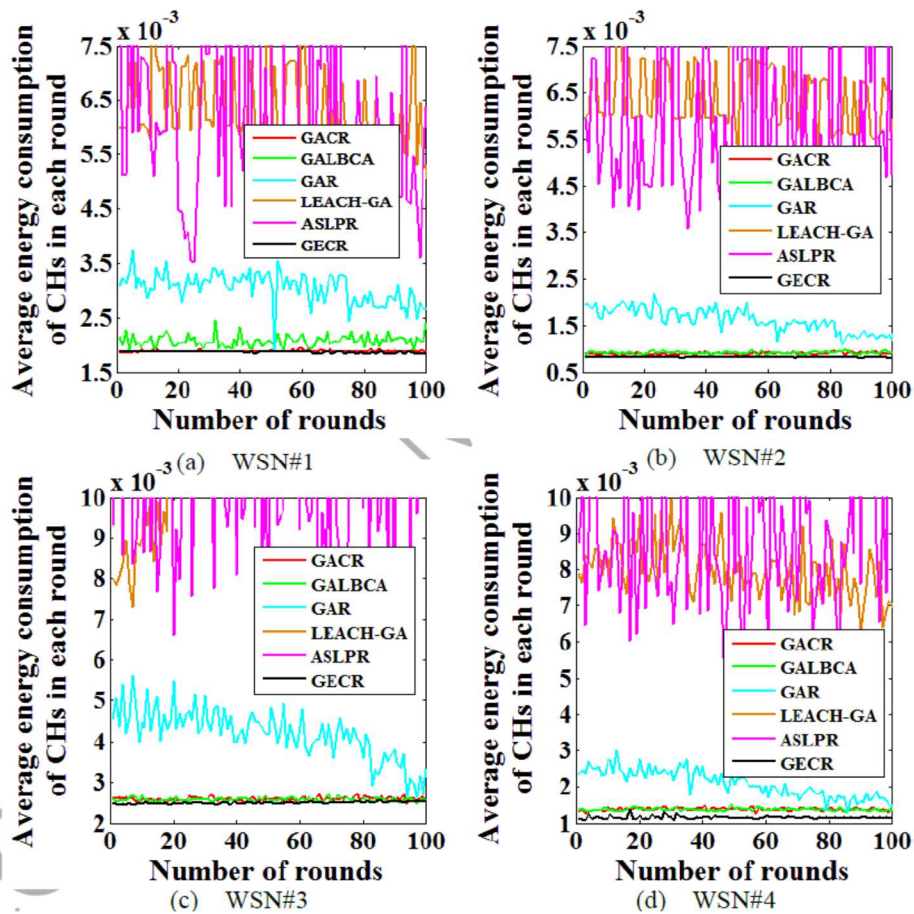


شکل ۱۸. مقایسه GEGR با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR از لحاظ چرخه عمر شبکه

جدول ۳ چرخه عمر شبکه (FND، HNA، و LND) را در هنگام استفاده از روش GEGR پیشنهادی، GACR، GAR، GALBCA، LEACH-GA و ASLPR در سناریوهای مختلف نشان می دهد. برای مقایسه این الگوریتم در میان الگوریتم های مختلف، سه سطح بالا در هر ردیف جدول ۳ به شکل پررنگ مشخص شده اند. مقادیر HNA بهینه با GEGR همیشه بهترین نتایج بودند، در حالی که آنها ۲٫۷٪ و ۲۱٪ طولانی تر از دومین الگوریتم بهینه در WSN # 2 و WSN # 4 بودند. برای مقایسه چرخه عمر شبکه، شمارش برای هر الگوریتم به شکل زیر نشان داده شده است در شکل ۱۸، طولانی ترین فرکانس چرخه عمر شبکه در میان الگوریتم های مختلف خوشه بندی نشان داده شده است. فرکانس های GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA، ASLPR و GEGR به ترتیب ۸، ۵، ۰، ۴، ۹ و ۱۰ بود. بنابراین، روش پیشنهاد شده GEGR ما از لحاظ چرخه عمر شبکه در مقایسه با دیگر الگوریتم های خوشه ای، مزایایی دارد.

۶٫۶ مصرف انرژی

در روش پیشنهادی، گره های CH که به عنوان دروازه عمل می کنند با انرژی بیشتری از گره های معمولی (گره های CM) تامین می شوند. با این حال، عرضه انرژی هنوز هم برای CHها محدود است. در فرایند عملیات شبکه، CHها باید در هر دور، مصرف انرژی بیشتری نسبت به گره های معمولی داشته باشند. بنابراین کاهش انرژی مصرف شده توسط گره های CH، یک معیار ارزیابی مهم برای الگوریتم خوشه بندی است. در LEACH-GA و ASLPR، تعداد CHها در دوره های مختلف ثابت نیست. بنابراین، میانگین انرژی مصرف شده توسط CHها در هر دور را مقایسه نمودیم. شکل ۱۹، GEGR پیشنهادی را با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR با توجه به انرژی مصرف شده توسط CHها در شرایط مختلف (WSN # 1، WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4) مقایسه می کند. واضح است که انرژی مصرف شده توسط CHها، با استفاده از GEGR در تمام سناریوها کمترین است. میانگین سطوح مصرف انرژی در چهار سناریو به ترتیب ۰٫۸٪، ۹٫۴٪، ۴٪ و ۱۹٪ کمتر از استفاده از GEGR در مقایسه با دومین الگوریتم بهینه بودن. بنابراین روش پیشنهادی GEGR دارای مزایایی از نظر بهبود بهره وری انرژی گره های CH می باشد.

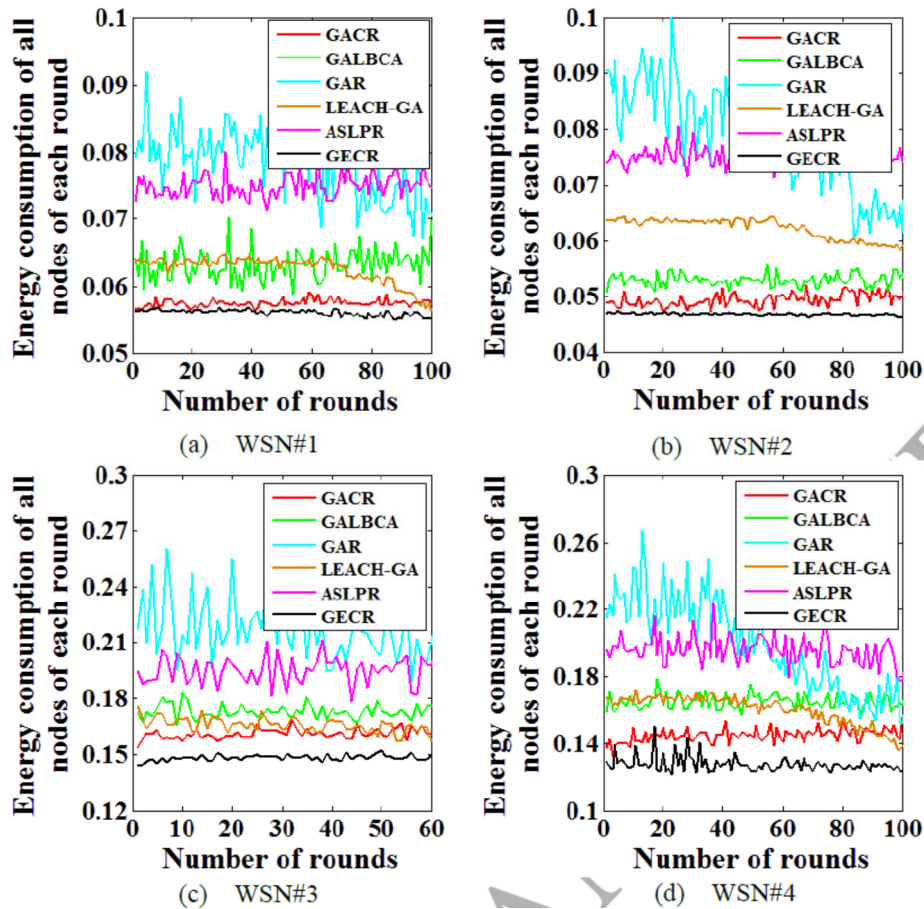


شکل ۱۹ مقایسه GECR با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR از نظر کل انرژی مصرف شده

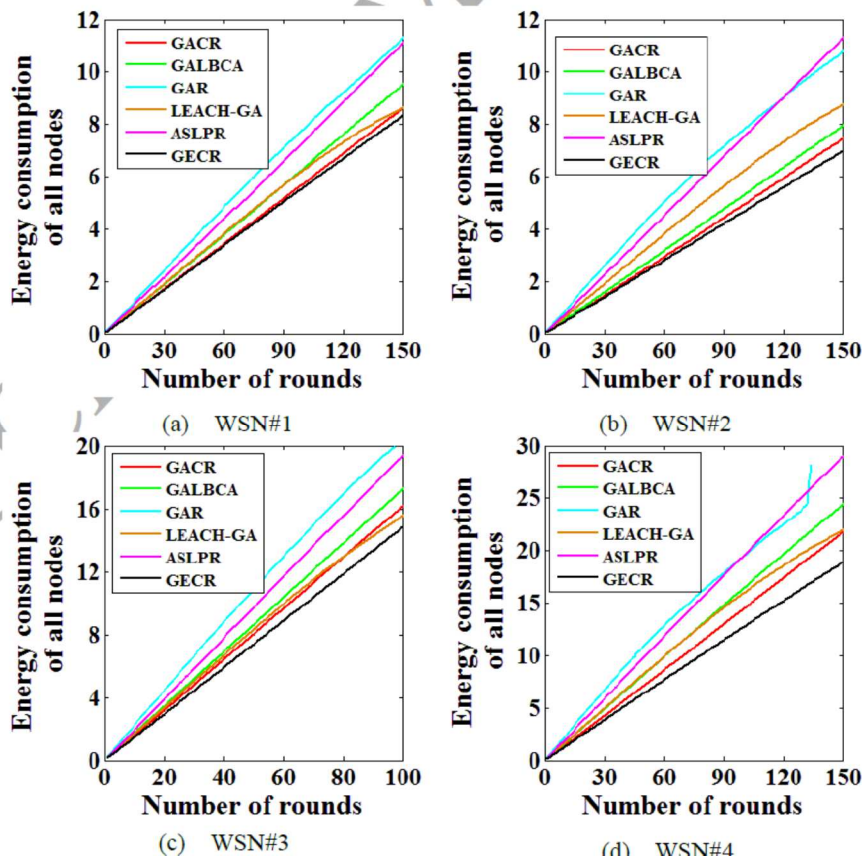
توسط CHS

شکل ۲۰، GECR را با GACR، GALBCA، GAR، LEACH GA و ASLPR از نظر انرژی مصرف شده توسط تمام گره ها در دوره های مختلف در چهار سناریو (WSN # 1، WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4) مقایسه می کند. واضح است که انرژی مصرف شده در هر دور در هنگام استفاده از GAR و ASLPR بالاتر بود، و به دنبال آن LEACH-GA، GALBCA و GACR قرار داشتند، در حالی که روش پیشنهاد شده GECR دارای کمترین مصرف انرژی بود. شکل ۲۱، GECR را با GACR، GALBCA، GAR، LEACH-GA و ASLPR از نظر کل انرژی مصرف شده توسط تمام گره ها در تمام دوران های قبلی تحت سناریوهای مختلف مقایسه می کند. در تمام سناریوها، منحنی به دست آمده برای GECR پیشنهادی همیشه زیر منحنی های دیگر بود. بنابراین، در مقایسه

با سایر الگوریتم های خوشه بندی، الگوریتم پیشنهاد شده GECR دارای کمترین مصرف انرژی بود یعنی ۲٫۶٪، ۵٫۶٪، ۹٪ و ۱۴٪ کمتر از بهترین الگوریتم دوم در WSN # 1، WSN # 2، WSN # 3 و WSN # 4 و میانگین انرژی مصرف شده توسط GECR در چهار سناریو ۲۸٫۷٪، ۴۰٫۶٪، ۲۷٫۸٪ و ۳۵٫۸٪ کمتر از بدترین الگوریتم بود. بنابراین، الگوریتم GECR دارای بالاترین بازده انرژی بود.



شکل ۲۰. مقایسه GECR با GACR، GALBCA، GAR، LEACH GA و ASLPR از نظر انرژی مصرف شده توسط همه گره ها در دوره های مختلف.

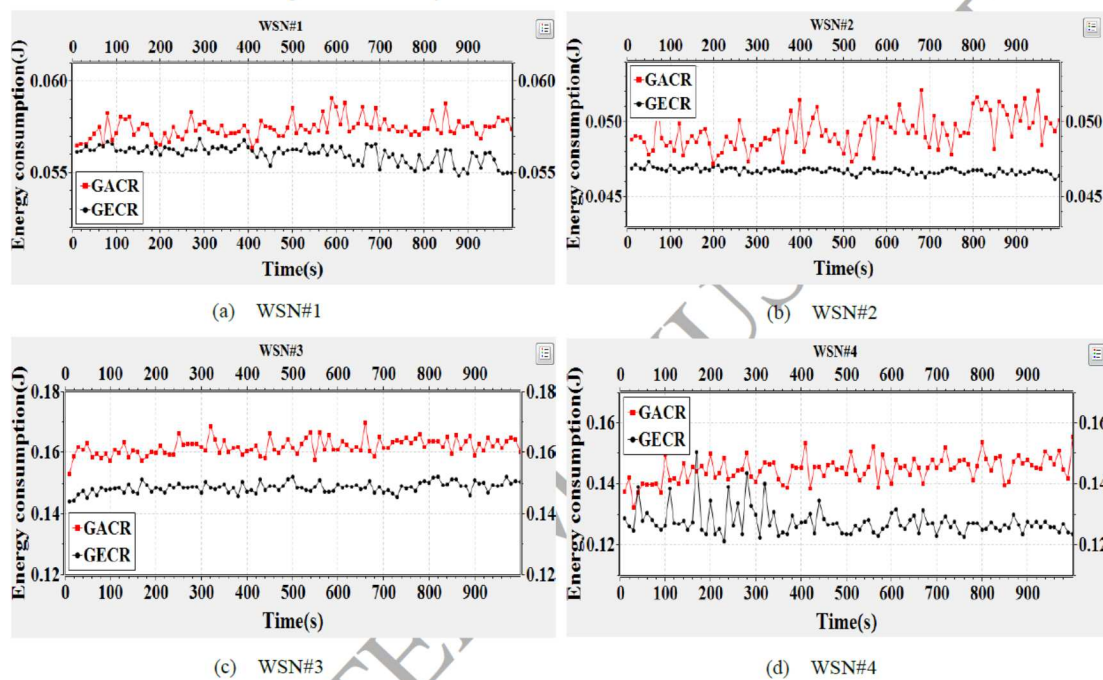


شکل ۲۱. مقایسه GEGR با GACR، GALBCA، GAR، LEACH GA و ASLPR از نظر انرژی کل مصرف شده توسط همه گره ها در دوره‌های مختلف.

۶،۷ نتایج تجربی در OMNeT++

برای اعتبار سنجی نتایج تجربی در شبیه ساز MATLAB، ما از شبیه ساز OMNeT++ برای مقایسه روش پیشنهادی و روش GACR استفاده می کنیم که دومین روش مطلوب در شبیه ساز MATLAB است. OMNeT++ یک شبیه ساز شبکه های رویداد گسسته مدولار مبتنی بر متن باز است که شامل ماژول های سلسله مراتبی تودرتو می باشد. این، موقعیت بسیار مهمی را در زمینه شبیه سازی شبکه اشغال می کند و در زمینه WSN ها به طور گسترده ای پذیرفته شده است [۵۶-۵۹]. شکل ۲۲ مقایسه مقایسه GEGR با GACR را از نظر انرژی کل مصرف شده توسط تمام گره ها در دوره‌های مختلف توسط OMNeT++ نشان می دهد. از شکل ۲۲،

می توانیم ببینیم که روش پیشنهاد شده GECR دارای مصرف انرژی پایین تر نسبت به روش GACR مقایسه شده است. بنابراین نتایج تجربی در شبیه ساز OMNeT++ و شبیه ساز MATLAB دارای سازگاری خوب هستند.



شکل ۲۲. مقایسه های GECR با GACR از نظر انرژی کل مصرف شده توسط تمام گره ها در دوره های مختلف

توسط OMNeT++

۷. نتایج

در این مطالعه، ما یک الگوریتم GECR برای محاسبه کل انرژی مصرف شده توسط تمام گره های حسگر که در آن الگوریتم، یک طرح خوشه بندی و مسیریابی را با هم در یک کروموزوم کدگذاری می کند، پیشنهاد می کنیم. GECR، انرژی کل مصرف شده توسط تمام گره ها را به عنوان پارامتر در عملکرد تناسب پردازش می کند. در WSN های مبتنی بر خوشه، CHها نیاز به انتقال داده ها از گره های هاپ های قبلی علاوه بر داده های CMها دارند. روش پیشنهادی، هاپ های قبلی را به بارها روی هر CH اضافه می کنیم که محاسبه بار را دقیق تر می کند. آزمایشات شبیه سازی نشان داد که عملکرد الگوریتم پیشنهادی ما بهتر از سایر الگوریتم های خوشه بندی و

مسیریابی GA (ASLPR و LEACH-GA, GALBCA, GACR, GAR) از نظر توازن بار، چرخه عمر شبکه و مصرف انرژی است. با توجه به توازن بار، GECC پیشنهادی همیشه دارای کمترین واریانس ها در بارها روی CHها تحت سناریوهای مختلف بود، جایی که بارها، ۲۰-۳۰ برابر کمتر از بارها در زمان استفاده از LEACH-GA و ASLPR بودند. از نظر چرخه عمر شبکه، GECC دارای بیشترین گره های زنده در اکثر زمان ها بودند. در همین حال، مقادیر HNA همیشه در میان نتایج بهینه با GECC قرار داشتند. علاوه بر این، GECC، کمترین میزان انرژی را در تمام دوره های شبکه مصرف کرد. مقادیر متوسط انرژی مصرف شده توسط CHS هنگام استفاده از GECC در چهار سناریو به ترتیب ۰٫۸٪، ۹٫۴٪، ۴٪ و ۱۹٪ پایین تر از الگوریتم های بهینه ترین دوم بود، در حالیکه میانگین مقدار انرژی مصرف شده توسط تمام گره ها با استفاده از GECC در چهار سناریو ۲۸٫۷٪، ۴۰٫۶٪، ۲۷٫۸٪ و ۳۵٫۸٪ کمتر از بدترین الگوریتم بودند. به طور خلاصه، GECC به لحاظ تعادل بار، چرخه عمر شبکه و مصرف انرژی، خوب عمل کرد. در کاربردهای عملی، گره های حسگر معمولاً دارای انرژی محدود هستند و بنابراین GECC برای WSN ها با CHهای دائمی، کارآمد خواهد بود.

بسیاری از الگوریتم های فراشناختی در WSNها به طور موفقیت آمیزی توسعه یافته اند و به صورت موفقیت آمیز اجرا شده اند. در پژوهش های آینده، ما بر روی تست و استفاده از الگوریتم های فراابتکاری مناسب برای خوشه بندی و مسیریابی در WSN ها با CHS دائمی تمرکز خواهیم کرد.

References

- [1] Leu J S, Chiang T H, Yu M C, et al. Energy Efficient Clustering Scheme for Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Network With Isolated Nodes[J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(2): 259-262.
- [2] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [3] Ali N A, Driberg M, Sebastian P. Deployment of MICAz mote for Wireless Sensor Network applications[C]. IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics, 2012: 303-308.
- [4] Abbasi A A, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks[J]. Computer communications, 2007, 30(14): 2826-2841.
- [5] Singh S P, Bhanot K, Sharma S. Critical Analysis of Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks[M]. Springer Singapore, 2016.
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. IEEE, 2000: 10 pp. vol. 2.

- [7] Mohapatra N P, Behera S K. Relay Node and Cluster Head Placement in Wireless Sensor Networks[J]. International Proceedings of Computer Science & Information Tech, 2012.
- [8] Wang T, Zhang G, Yang X, et al. A Trusted and Energy Efficient Approach for Cluster-Based Wireless Sensor Networks[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016, (2016-4-10), 2016, 2016: 1-13.
- [9] Yang X S. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms[M]. Luniver Press, 2008.
- [10] Goldberg D E. Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning[J], 1989, xiii(7): 2104-2116.
- [11] Elhoseny M, Yuan X, Yu Z, et al. Balancing Energy Consumption in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Using Genetic Algorithm[J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(12): 2194-2197.
- [12] Lai C C, Ting C K, Ko R S. An effective genetic algorithm to improve wireless sensor network lifetime for large-scale surveillance applications[C]. Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on, 2007: 3531-3538.
- [13] Rao P C S, Banka H. Energy efficient clustering algorithms for wireless sensor networks: novel chemical reaction optimization approach[J]. Wireless Networks, 2015, 23: 1-20.
- [14] Gupta S K, Jana P K. Energy Efficient Clustering and Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks: GA Based Approach[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 83(3): 1-21.
- [15] Gupta S K, Kuila P, Jana P K. GAR: An Energy Efficient GA-Based Routing for Wireless Sensor Networks[C]. International Conference on Distributed Computing and Internet Technologies, 2013: 267-277.
- [16] Shokouhifar M, Jalali A. A new evolutionary based application specific routing protocol for clustered wireless sensor networks[J]. AEU - International Journal of Electronics and Communications, 2015, 69(1): 432-441.
- [17] Liu J L, Ravishankar C V. LEACH-GA: Genetic Algorithm-Based Energy-Efficient Adaptive Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks[J], 2011, 1(1): 79-85.
- [18] Peiravi A, Mashhadi H R, Javadi S H. An optimal energy-efficient clustering method in wireless sensor networks using multi-objective genetic algorithm[J]. International Journal of Communication Systems, 2013, 26(1): 114-126.
- [19] Liao Y, Qi H, Li W. Load-Balanced Clustering Algorithm With Distributed Self-Organization for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2013, 13(5): 1498-1506.
- [20] Kuila P, Gupta S K, Jana P K. A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks[J]. Swarm & Evolutionary Computation, 2013, 12: 48-56.
- [21] Kumar V, Jain S, Tiwari S. Energy Efficient Clustering Algorithms in Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(5).
- [22] Al-Karaki J N, Kamal A E. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6): 6-28.
- [23] Raja B, Rajakumar R, Dhavachelvan P, et al. A survey on classification of network structure routing protocols in wireless sensor networks[C]. IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2017: 1-5.
- [24] Boyinbode O, Le H, Mbogho A, et al. A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks[C]. International Conference on Network-Based Information Systems, 2010: 2826-2841.
- [25] Rostami A S, Badkoobe M, Mohanna F, et al. Survey on Clustering in Heterogeneous and Homogeneous Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Supercomputing, 2017.
- [26] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2000, 1(4): 660-670.
- [27] Younis O, Fahmy S. HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366-379.

- [28] Batra P K, Kant K. LEACH-MAC: a new cluster head selection algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. *Wireless Networks*, 2016, 22(1): 1-12.
- [29] Sohn I, Lee J H, Sang H L. Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Using Affinity Propagation for Wireless Sensor Networks[J]. *IEEE Communications Letters*, 2016, 20(3): 558-561.
- [30] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems[C]. *Aerospace conference proceedings*, 2002. IEEE, 2002: 3-3.
- [31] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[C]. *null*, 2001: 30189a.
- [32] Li Q, Zhu Q, Wang M. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks[J]. *Computer Communications*, 2006, 29(12): 2230-2237.
- [33] Singh S, Chand S, Kumar B. Energy Efficient Clustering Protocol Using Fuzzy Logic for Heterogeneous WSNs[J]. *Wireless Personal Communications*, 2016, 86(2): 1-25.
- [34] Elbhiri B, Saadane R, Fldhi S E, et al. Developed Distributed Energy-Efficient Clustering (DDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks[C]. *International Symposium on I/v Communications and Mobile Network*, 2010: 1-4.
- [35] Rajeswari K, Neduncheliyan S. Genetic algorithm based fault tolerant clustering in wireless sensor network[J]. *Iet Communications*, 2017, 11(12): 1927-1932.
- [36] Gupta G, Younis M. Load-balanced clustering of wireless sensor networks[C]. *IEEE International Conference on Communications*, 2003: 1848-1852 vol.3.
- [37] Kuila P, Jana P K. Energy Efficient Load-Balanced Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks [J]. *Procedia Technology*, 2012, 6(4): 771-777.
- [38] Low C P, Fang C, Ng J M, et al. Efficient Load-Balanced Clustering Algorithms for wireless sensor networks [J]. *Computer Communications*, 2008, 31(4): 750-759.
- [39] Mohajerani A, Gharavian D. An ant colony optimization based routing algorithm for extending network lifetime in wireless sensor networks[J]. *Wireless Networks*, 2016: 1-11.
- [40] Singh A, Behal S. Ant Colony Optimization For Improving Network Lifetime In Wireless Sensor Networks[J]. *Research Cell An International Journal of Engineering Sciences*, 2013, 8(June 2013): 1-12.
- [41] Rajeswari K, Neduncheliyan S. Genetic Algorithm based Fault Tolerant Clustering in Wireless Sensor Network[J]. *Iet Communications*, 2017.
- [42] Rejinaparvin J, Vasanthanayaki C. Particle Swarm Optimization-Based Clustering by Preventing Residual Nodes in Wireless Sensor Networks[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 15(8): 4264-4274.
- [43] Elhabyan R S Y, Yagoub M C E. Two-tier particle swarm optimization protocol for clustering and routing in wireless sensor network[J]. *Journal of Network & Computer Applications*, 2015, 52: 116-128.
- [44] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995. *Proceedings*, 2002: 1942-1948 vol.4.
- [45] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1997, 1(1): 53-66.
- [46] Kuila P, Jana P K. Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2014, 33(1): 127-140.

- [47] Jamatia A, Chakma K, Kar N, et al. Performance Analysis of Hierarchical and Flat Network Routing Protocols in Wireless Sensor Network Using Ns-2[J]. International Journal of Modeling and Optimization, 2015, 5(1): 40.
- [48] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing[R]. 2003.
- [49] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), 2003, 11(1): 2-16.
- [50] Haas Z, Halpern J Y, Li L. Gossip-based ad hoc routing[J], 2006, 14(3): 479-491.
- [51] Chiti F, Fantacci R, Mastandrea R, et al. A distributed clustering scheme with self nomination: proposal and application to critical monitoring[J]. Wireless Networks, 2015, 21(1): 329-345.
- [52] Zhu Z, Zhang G, Li M, et al. Evolutionary Multi-Objective Workflow Scheduling in Cloud[J]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2016, 27(5): 1344-1357.
- [53] Gherbi C, Aliouat Z, Benmohammed M. An adaptive clustering approach to dynamic load balancing and energy efficiency in wireless sensor networks[J]. Energy, 2016, 114: 647-662.
- [54] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection[C]. International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, 2002: 368-372.
- [55] Raghuvanshi A S, Tiwari S, Tripathi R, et al. Optimal number of clusters in wireless sensor networks: a FCM approach[J]. International Journal of Sensor Networks, 2011, 12(1).
- [56] Faye S, Chaudet C. Characterizing the Topology of an Urban Wireless Sensor Network for Road Traffic Management[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(7): 5720-5725.
- [57] Zhang J, Chen J, Fan J, et al. OMNeT++ based Simulation for Topology Control in Wireless Sensor Network: A Case Study[C]. Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2008. IWCMC '08. International, 2008: 1130-1134.
- [58] Li W, Zhu C, Zhu C, et al. Scheduling and routing methods for cognitive radio sensor networks in regular topology[J]. Wireless Communications & Mobile Computing, 2016, 16(1): 47-58.
- [59] Kucuk K, Kavak A, Yigit H. A Smart Antenna Module Using OMNeT++ for Wireless Sensor Network Simulation[C]. International Symposium on Wireless Communication Systems, 2007: 747-751.

Tianshu Wang, was born in Jiangsu Province, China, in 1989. She received her Ph.D. candidate of School of Computer Science and Engineering in Nanjing University of Science and Technology in China. She is currently a lecturer of School of Information Technology in Nanjing University of Chinese Medicine. Her main research interests include embedded system, wireless sensor networks, clustering and routing, and trusted computing.

Gongxuan Zhang, was born in Jiangxi Province, China, in 1961. He received his Ph.D. in School of Computer Science and Engineering from Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China. He is currently a professor in the School of Computer Science and Engineering at the Nanjing University of Science and Technology. His research interests include cloud computing, trusted computing, wireless sensor networks.

Xichen Yang, was born in Jiangsu Province, China, in 1989. He received his Ph.D. in School of Computer Science and Engineering in Nanjing University of Science and Technology in China. He is currently a lecturer of School of Computer Science and Technology in Nanjing Normal University in China. His main research interests include Image quality assessment, Image processing and computer vision.

Ahmadreza Vajdi, was born in Iran, in 1988. He is a Ph.D. candidate of School of Computer Science and Engineering in Nanjing University of Science and Technology in China. His main research interests include clustering and routing, wireless sensor networks.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی