افزایش کارایی شبکه حسگر با بکارگیری حداقل تعداد گره‌های خورشیدی و بهره بردن از الگوریتم رقابت استعماری

نسیم صانعی[۱]، آزاده السادات عمرانی زرندی [۲]

[۱]کارشناسی ارشد شبکه های کامپیوتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

[۲]استادیار بخش مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران a.emrani@uk.ac.ir

چکیده

مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم که از تعدادی زیادی حسگر کوچک که با منبع تغذیه محدود تشکیل شده است، اهمیت بسیار زیادی دارد. این حسگرها با هدف انجام وظایف خاص در محیط‌های مختلف توزیع می‌شوند و با اتمام انرژی گره‌ها، ممکن است اطلاعات بخشی از شبکه از دسترس خارج و کارآیی شبکه به خطر بیافتد. اخیرا جهت افزایش طول عمر این شبکه‌ها، از گره‌های برداشت که قابلیت شارژ با انرژی‌های تجدیدپذیر را دارند، استفاده شده‌است. به دلیل هزینه بالای گره‌های برداشت، کمینه کردن تعداد آنها با کمترین تاثیر روی عملکرد یکی از جنبه‌های مهم در طراحی این نوع از شبکه‌ها است. در این مقاله می‌خواهیم با افزودن حداقل تعداد گره خورشیدی و مدیریت مصرف انرژی طول عمر شبکه را افزایش دهیم. در این راستا، برای تعیین مکان گره‌های برداشت انرژی، الگوریتم تکاملی رقابت استعماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم رقابت استعماری تعداد گره‌های برداشت انرژی و مختصات تخمینی آنها را تعیین می‌کند. بعد از مشخص شدن تعداد گره‌های برداشت انرژی، با استفاده از روش K-Means مختصات دقیق گره‌های برداشت و خوشه‌ها بدست می‌آید. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از روش پیشنهادی با مدیریت انرژی در شبکه حسگر بیسیم، می تواند طول عمر و در نتیجه کارایی آن را تا حد قابل قبولی افزایش دهد.

کلیدواژه

شبکه حسگر بیسیم، حسگرهای برداشت خورشیدی، K-Means ، الگوریتم رقابت استعماری، انرژی

مقدمه

یک شبکه حسگر بیسیم از تعدادی گره حسگر تشکیل شده است که در محیط‌های مختلف مانند مناطق دور از دسترس، دریاها، بیابان، آتشفشان پراکنده می‌شوند و به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازند. علاوه بر این، کاربرد دیگر شبکه‌های حسگر، استفاده از آنها در بدن انسان جهت کنترل شرایط پزشکی فرد مانند کنترل قند خون [۱] است. سپس آنچه که جمع‌آوری شده است، به صورت بیسیم به یک ایستگاه پردازش مرکزی یا ایستگاه پایه [۱] مخابره می‌گردد. قابلیتهای حسگرها در یک شبکه حسگر بیسیم می‌تواند به‌طور وسیعی تغییر کند. یعنی، گره‌های حسگر ساده تنها می‌توانند یک پدیده فیزیکی را نظارت کنند و اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط را مخابره کنند، درحالی که حسگرهای پیچیده‌تر ممکن است توابع محاسباتی را نیز انجام دهند. این گره‌ها معمولا دارای منبع انرژی محدود هستند و بهینه‌سازی مصرف انرژی در آنها که منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردد، از اهمیت بالایی برخوردار است.

انرژی حسگرها از طریق منابع انرژی اصلی، اغلب امکان پذیر نیست. با این حال، حسگرها در محیط‌هایی مستقر می‌شوند که معمولاً سرشار از فرصت‌های جمع‌آوری انرژی هستند، مانند: نور خورشید، باد، ارتعاشات، بیوشیمیایی و اختلافات درجه حرارت. یک راه حل جهت افزایش طول عمر محدود حسگر، استفاده از تکنولوژی برداشت انرژی است. تکنیک برداشت انرژی، اشاره به جمع‌آوری انرژی از منابع انرژی محیطی دارد. بنابراین، ایده‌آل این است که حسگرها بتوانند از محیط‌های خود برای تامین انرژی استفاده کنند. برداشت انرژی می‌تواند به طور قابل توجهی طول عمر شبکه‌ها را بهبود دهد[۲].

در کنار مزایای استفاده از گره‌های برداشت، باید به بالا بودن هزینه این گره‌ها نیز توجه داشت و استفاده حداقلی و همچنین جایدهی آنها در مکان‌های مناسب، به کاهش هزینه و افزایش طول عمر شبکه کمک خواهد کرد. در این کار می‌خواهیم از میان الگوریتم‌های بهینه‌سازی، از الگوریتم رقابت استعماری برای یافتن پاسخ بهینه استفاده کنیم. این الگوریتم با مدل-سازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی-سیاسی، راه‌حلی برای مسائل بهینه‌سازی، ارائه می‌دهد، که در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اولین بار در این کار از الگوریتم رقابت استعماری جهت پیدا کردن حداقل تعداد گره برداشت مورد نیاز استفاده شده است. سپس جهت دست یافتن

[1] Base Station

www.SID.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

Archive of SID

به نتایج بهتر، از الگوریتم K-Means استفاده شده تا با استفاده از خروجی مرحله قبل، بتواند راه حل مناسب برای مسئله پیدا کند. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از جایدهی حداقل گره‌های برداشت انرژی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و K-Means است. نوآوری این کار را میتوان در موارد زیر خلاصه کرد:

- تلاش برای برقراری توازن بین تعداد گره‌های برداشت و طول عمر شبکه.
- برای اولین بار، استفاده از الگوریتم رقابت استعماری برای پیدا کردن حداقل تعداد گره برداشت.
- ترکیب الگوریتم رقابت استعماری و K-Means جهت جای دهی مناسب‌تر گره‌های برداشت و خوشه‌بندی بهتر.

با توجه به مطالب بیان شده، در این مقاله ابتدا در بخش بعد به بررسی برخی چالشها در این حوزه می‌پردازیم. سپس مروری بر کارهای پیشین انجام می‌گیرد، و پس از آن الگوریتم رقابت استعماری به اجمال معرفی می‌گردد. سپس روش پیشنهادی توضیح داده خواهد شد و نتایج شبیه‌سازی مربوط به آن ارائه می‌گردد. در انتها، مقاله در بخش نتیجه گیری، جمع‌بندی خواهد شد.

چالش

مسئله تامین انرژی مورد نیاز برای فعالیت حسگرها، خصوصا در مواردی که حسگرها در مناطق دور از دسترس و محیط‌های ناملایم مانند میدان جنگ یا نواحی که دچار فاجعه شده و بدون زیرساخت‌های پشتیبانی یا امکان تعمیر و نگهداری قرار دارند و بالا بردن طول عمر شبکه، یک چالش بسیار بزرگ در شبکه‌های حسگر بیسیم است. چراکه از یک سو، منبع تامین انرژی گره‌ها، باتری است که محدود است و از سوی دیگر حسگرها در نقاطی قرار گرفته‌اند که اصلا در دسترس نیستند. راه‌حلی که مطرح می‌شود استفاده کردن از حسگرها با قابلیت شارژ شدن است که بتوانند انرژی خود را از محیطی که در آن قرار دارند تامین کنند. این فناوری می‌تواند به طور قابل توجهی منجر به افزایش طول عمر شبکه‌ها گردد. اما با عنایت به بالا بودن هزینه‌ی حسگرهای برداشت انرژی، استفاده از آنها منجر به بالا رفتن هزینه طراحی شبکه می‌گردد. از همین‌رو، استفاده حداقلی از آنها و جایدهی آنها در مکان‌های مناسب، می‌تواند منجر به توازن مابین هزینه‌ها و طول عمر شبکه شود. علاوه براین، نحوه جایگذاری و چیدمان حسگرها در محیط‌های مختلف، چالش مهم دیگری است که مطرح می‌شود و راه‌حلهای زیادی برای آن ارائه شده است. از آن جمله، می‌توان به استفاده از یک مدل فازی جهت پرکردن حفره‌ها بعد از توزیع تصادفی گره‌ها، اشاره کرد[۳]. مسئله امنیت داده‌ها در شبکه حسگر بیسیم نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به محیط قرارگیری حسگرها، این شبکه‌ها در مقابل حملات بسیار آسیب پذیر هستند[۴]. از همینرو می‌توان از حفظ امنیت داده‌ها با در نظر گرفتن محدودیتهای سخت افزاری گره‌ها، به عنوان چالش دیگر این شبکه‌ها یاد کرد. از سوی دیگر زمان‌بندی مناسب و فراهم کردن زمان مناسب جهت شارژ گره‌های برداشت و کاهش بار از روی حسگرهای عادی چالش‌های مهم دیگری هستند که باید مدنظر قرار گیرند. از بین همه چالش‌های مطرح شده، در این کار می‌خواهیم به بررسی استفاده از گره‌های برداشت، پیداکردن حداقل تعداد و زمان‌بندی مناسب آنها بپردازیم. در این راستا از الگوریتم رقابت استعماری[۵] و K-Means [۶] استفاده می‌نماییم.

مرور کارهای پیشین

شبکه‌های حسگر بیسیم دارای محدودیتهایی در طراحی و به کارگیری هستند که یکی از مهم‌ترین این محدودیتها، انرژی است چرا که انرژی حسگرها معمولاً، توسط باتری‌ها تأمین می‌شوند. برای مدیریت گره‌ها در شبکه حسگر بیسیم از خوشه‌بندی یا گروه‌بندی گره‌ها استفاده می‌شود. یکی از معتبرترین روش‌های خوشه‌بندی روش خوشه‌بندی LEACH[۲] است[۷]. ایده‌ی اصلی در خوشه‌بندی ارسال داده‌های فشرده چندین گره توسط یک گره به نام سرخوشه است. در الگوریتم LEACH برای انتخاب سرخوشه از یک تابع همراه با احتمال استفاده می‌شود و در هر دور اجرای شبکه، سرخوشه‌ها تغییر می‌کنند. این الگوریتم توزیع مناسبی از انرژی را در کل شبکه فراهم می‌کند و باعث افزایش طول عمر شبکه می‌گردد [۷].

مدیریت ارسال بسته‌ها در شبکه حسگر بیسیم، دارای اهمیت بالایی است چرا که بیشترین میزان انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بیسیم به این مسئله اختصاص دارد. باید بتوان با در نظر گرفتن این نکته، نحوه استفاده از گره‌های برداشت را مدیریت کرد. یکی از راه‌حل‌های ارائه شده در این باب، فرموله کردن مسئله تخصیص منابع با در نظر گرفتن مصرف انرژی اجزا مدار و قابلیت برداشت گره‌ها است به نحوی که بتواند محدودیتهای مورد نیاز را تامین کند [۸]. در کنار خوشه‌بندی، باید مسئله

[2] Low-energy adaptive clustering hierarchy

www.SID.ir

Archive of SID

زمان‌بندی هم در نظر گرفته شود، که با زمان‌بندی مناسب، مدیریت انرژی نیز به خوبی انجام می‌گیرد. یکی از راه‌حلها که بر پایه الگویتم LEACH ارائه شده است، تلاش می‌کند بازه‌های سرخوشه بودن گره‌ها و انرژی مصرف شده توسط آنها را مدیریت نماید و به افزایش طول عمر شبکه منجر گردد. در این کار همه گره‌ها می‌توانند به عنوان رله کمک کنند تا مدیریت انرژی به شکل مناسب‌تری انجام شود. در این روش بازه‌های زمانی در نظر گرفته شده به دو زیر بازه تقسیم می‌شوند. در زیر بازه زمانی اول، همه گره‌هایی که می‌توانند به عنوان رله احتمالی عمل کنند به گره‌های فعال گوش می‌دهند و سپس بهترین گره‌ای که می‌تواند به عنوان رله انتخاب شود، در زیر بازه زمانی دوم، عمل ارسال را انجام می‌دهد[۹].

نشت باتری ظرف چند سال، باعث تخلیه باتری حسگرها می‌شود، حتی اگر به ندرت استفاده شوند. به همین علت تحقیقات اخیر با هدف افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر، به استفاده از باتری‌های قابل شارژ پرداخته‌اند. شبکه‌های حسگر بیسیم براساس نگاشت انرژی (EHWSNs[3]) نتیجه تجهیز گره‌های شبکه حسگر بیسیم با توانایی برداشت انرژی از محیط اطراف است[۱۰]. در زمینه استفاده از شبکه‌های حسگر با قابلیت شارژ، مسائل و چالشهای متفاوتی مطرح است که از جمله می‌توان به عدم انطباق انرژی تولید شده توسط گره برداشت و انرژی مورد نیاز شبکه حسگر اشاره کرد، که جهت حل این مسئله راهکارهایی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به طراحی واسطی مناسب اشاره کرد [۱۱].

برداشت انرژی می‌تواند هم در شبکه‌های حسگر بی سیم که در روی خشکی وهم در زیر آب انجام گیرد. این شبکه‌ها شامل گره‌هایی هستند که در اعماق مختلف در اقیانوس قرار دارند. گره‌ها مجهز به حسگرهایی هستند که اطلاعاتی را که نیاز دارند به ایستگاه پایه منتقل کنند [۱۲]. برای پشتیبانی از عملیات خود، گره‌ها انرژی را از محیط جمع‌آوری می‌کنند و آن را در یک باتری قابل شارژ ذخیره می‌کنند. جمع‌آوری گره‌های مستقر در پایین دریا و یا در عمق‌های مربوطه از طریق توربین هایی که از جریان دریا عبور می‌کنند، اتفاق می‌افتد. گره‌ها از طریق پنل‌های خورشیدی مستقر در دستگاه‌های شناور متصل به حسگرها شارژ می‌شوند[۱۲]. زمانی که گره در باتری خود به اندازه کافی انرژی برای پشتیبانی از عملیات خود ندارد (مثلا حس، محاسبه، ارتباطات، و غیره)، تمام مدار خود را خاموش می‌کند، و به یک گره خاموش تبدیل می‌شود. به محض آنکه انرژی کافی جدید جهت ادامه فعالیت برداشت شد، عملکرد عادی گره مجدد آغاز می‌شود.

[3] Energy Harvesting Wireless Sensor Networks

مشکل مهم دیگری که در ارتباط با طراحی شبکه حسگر با گره‌های برداشت مطرح می‌شود، بالا بودن هزینه این نوع از گره‌ها است. بنابراین، آنچه که اهمیت دارد استفاده از حداقل تعداد گره‌های برداشت و جای‌دهی مناسب آنها است که بین هزینه طراحی و طول عمر شبکه تعامل برقرار شود. در این راستا تحقیقاتی بسیاری انجام شده و با استفاده از روش‌های مختلف، سعی شده به جواب بهینه نزدیک شوند. از آن جمله روش HSAML[4] نیز به دنبال افزایش طول عمر شبکه با استفاده از گره‌های قابل شارژ است [۱۳] که از الگوریتم جستجو هارمونی با جمعیت چند گانه استفاده می‌کند و مسئله پوشش حداکثری هدف را نیز در نظر می‌گیرد.

نکته مهم دیگری که در ارتباط با استفاده از گره‌های برداشت وجود دارد این است که انرژی که صرف کنترل محیط می‌شود، باید از انرژی که از محیط برداشت می‌شود کمتر باشد [۱۴]. هدف تعیین مکان‌هایی برای جایدهی کمترین تعداد گره‌ی برداشت و رله است، به گونه‌ای که این گره‌های توزیع شده، تمام اهداف را پوشش دهند؛ مسیری به ایستگاه پایه داشته باشند؛ و بتوانند با شارژ شدن طول عمر شبکه را افزایش دهند.

یکی دیگر از راه‌حل‌های ارائه شده استفاده از یک برنامه‌ریزی خطی صحیح ترکیبی (MILP[5]) است. براساس MILP رهیافتی بنام GMILP[6] استفاده می‌شود که با یک اکتشاف حریصانه، مجموعه‌ای از مکان‌ها را برای قرار گیری گره‌های برداشت مشخص می‌کند [۱۵]. میتوان در شبکه ناهمگنی که از حسگرهای عادی و برداشت تشکیل می‌شوند، گره‌های برداشت را متحرک در نظر گرفت. در مقاله [۱۶] یک روش دو گامی معرفی می‌شود که در گام اول آن، از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO[7]) استفاده می‌کند تا حفره‌های پوشش را با استفاده از جابه‌جا کردن حسگرهای قابل شارژ متحرک پر کند. در گام دوم حسگرها به زیرمجموعه‌های غیر مجزایی تقسیم می‌شوند با این هدف که به نوبت مشغول کار شوند و بتوانند به بهبود طول عمر شبکه کمک کنند[۱۶].

تفاوت مقاله‌های بررسی شده با روش پیشنهادی ما، نوع الگوریتم مورد استفاده جهت کمینه کردن و جای دهی گره‌های برداشت است. برای اولین بار است که از الگوریتم رقابت استعماری برای پیدا کردن تعداد بهینه گره‌های برداشت استفاده کرده‌ایم. در کنار آنK-Mean نیز کمک می‌کند تا خوشه‌بندی‌های مناسب‌تری شکل گیرد. شایان ذکر است که تا کنون از الگوریتم رقابت استعماری برای تعیین محل و تعداد گره‌های برداشت استفاده نشده است، اما جهت حل مسائل

[4] Harmony search algorithm with multiple populations and local search
[5] Mixed Integer Linear Program (MILP)
[6] Greedy MILP
[7] Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

دیگر مربوط به شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مانند خوشه بندی و یا بهبود الگوریتم leach استفاده شده است. به عنوان نمونه در مقاله[۱۷] از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است تا انتخاب سرخوشه‌ها با استفاده از ان صورت گیرد. پس از بررسی اجمالی چند کار در این ارتباط، در بخش بعد، ابتدا الگوریتم رقابت استعماری که در کار خود از آن بهره بردیم، توضیح داده می‌شود و سپس روش پیشنهادی معرفی خواهد شد.

معرفی اجمالی الگوریتم رقابت استعماری

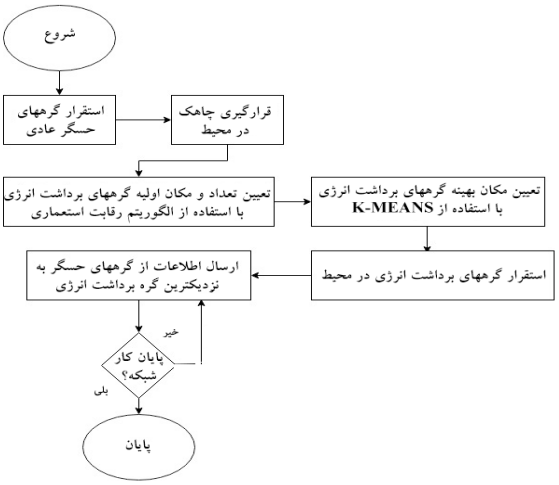
یکی از روشهای بهینه‌سازی فراابتکاری، الگوریتم رقابت استعماری (ICA[۸]) است که بر خلاف بسیاری از روشها، بر اساس پدیده‌های طبیعی نیست و یک فرایند اجتماعی-سیاسی را شبیه‌سازی می‌کند[۱۸]. مانند سایر روش‌های مشابه، این الگوریتم با یک جمعیت اولیه شروع به کار می‌کند که به آنها کشور گفته می‌شود. برخی از بهترین کشورها به عنوان استعمارگر انتخاب می‌شوند و سایر کشورهای باقی‌مانده مستعمرات آن‌ها را تشکیل می‌دهند که مستعمره‌ها براساس قدرت ما بین استعمارگران تقسیم می شوند. بدین صورت که قدرت بیشتر به تعداد مستعمره بیشتر ختم می‌شود. قدرت هر کشور براساس مسئله مورد نظر، بوسیله ی تابع تناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ایالت‌های امپریالیستی همراه با مستعمره‌هایشان امپراتوری‌ها را تشکیل می‌دهند. قدرت کلی یک امپراتوری بستگی به قدرت کشور امپریالیستی و قدرت مستعمرات آن دارد. پس از شکل گیری امپراتوری‌های اولیه، رقابت بین همه امپراتوری‌ها آغاز می‌شود. هر امپراتوری که در این رقابت موفق نباشد و نتواند قدرت خود را افزایش دهد (یا حداقل از دست دادن قدرتش جلوگیری کند) از رقابت حذف خواهد شد. رقابت امپریالیستی به تدریج موجب افزایش قدرت امپراتوری‌های قدرتمند و کاهش قدرت امپراتوری‌های ضعیف خواهد شد که در نهایت سقوط خواهند کرد[۱۸]. در این بین، انقلاب نیز فراهم کننده تغییرات تصادفی در حل مسئله است. جزئیات و روابط مربوطه در قسمت بعد شرح داده خواهد شد.

مدل شبکه

قبل از معرفی روش پیشنهادی، مدل شبکه‌ای که بر روی آن کار کردیم، معرفی می‌شود. شبکه در نظر گرفته شده در این کار از نوع ناهمگن است که از تعدادی از حسگرهای عادی و تعدادی دیگر حسگرهایی با قابلیت شارژ شدن تشکیل شده است. گره‌های برداشت در نظر گرفته شده برای تامین انرژی خود از انرژی خورشید استفاده می‌کنند. تعداد کل گره‌های درنظر گرفته شده N است که هدف محاسبه حداقل تعداد گره برداشت است. حسگرها به صورت تصادفی در محیط پراکنده می‌شوند و همگی دارای انرژی اولیه و شعاع ارتباطی یکسان هستند. شیوه ارتباط در این شبکه، به صورت جمع‌آوری اطلاعات از محیط و ارسال آن به ایستگاه پایه است و محل قرار گیری ایستگاه پایه در این کار ثابت است.

روش پیشنهادی

هدف از روش پیشنهادی، ارائه راه‌حلی جهت افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم با کمک گرفتن از حداقل تعداد گره برداشت انرژی است. همان گونه که در شکل (۱) مشخص است، در گام نخست گره‌ها در شبکه حسگر بیسیم بطور تصادفی پراکنده می‌شوند و ایستگاه پایه در محل خود قرار می‌گیرد. سپس الگوریتم رقابت استعماری برای تعیین تعداد گره‌های برداشت انرژی و مختصات تخمینی آنها اجرا می‌شود. بعد از مشخص شدن تعداد گره‌های برداشت انرژی، با استفاده از روش K-Means مختصات دقیق گره‌های برداشت و خوشه‌ها بدست می‌آید. سپس عملکرد عادی شبکه که همان ارسال و دریافت داده‌ها است، تا زمان پایان کار شبکه، ادامه پیدا می-کند. فلو چارت روش پیشنهادی در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل۱. فلوچارت روش پیشنهادی

فرموله کردن مسئله

در آغاز جمعیت اولیه از کشورها تولید می‌شوند. قدرت هر کشور بوسیله‌ی تابع تناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بعد از ایجاد نسل اولیه، به تعداد ۲۰ درصد جامعه اولیه، کشورهای قوی‌تر به عنوان استعمارگر انتخاب می‌شوند که بیانگر گره‌های

[8] Imperialist Competitive Algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت هستند. سایر کشورها به سمت یکی از استعمارگرها متمایل می‌شوند. برروی کشورها عملیات تکاملی حرکت به سمت استعمارگر، کاهش قدرت استعمارگر، افزایش قدرت مستعمره، و تغییرات ناگهانی با احتمالات از پیش تعیین شده انجام می‌گردد. الگوریتم تکاملی تا زمانی که معیار پایان دهنده برقرار نباشد در یک حلقه تکرار می‌شوند. در اینجا یک راه‌حل قرارگیری گره‌های برداشت انرژی به عنوان قدرتمندترین استعمارگر I در نظر گرفته می‌شود. برای یک شبکه حسگر بیسیم با N گره‌ی حسگر، تعداد گره‌های برداشت انرژی در هر راه‌حل از صفر تا ۲۰درصد N می‌تواند باشد. هر خصوصیت برای مکان‌های اولیه و تصادفی که درآن گره برداشت انرژی قرار ندارد مقدار صفر و برای مکان‌های اولیه و تصادفی که درآن گره برداشت انرژی قرار دارد ۱ است. آنگاه یک جمعیت، I راه حل مختلف می تواند به شکل زیر تبدیل به فرمول شود [۱۸]

$$E_{TX_{node1.node2}} =: \begin{cases} E_{elec} \times l + E_{fs} \times l \times d(node1.node2)^2 & \text{if } d \le d_0 \\ E_{elec} \times l + E_{mp} \times l \times d(node1.node2)^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases}$$

$$I_j^i = \begin{cases} 1 & \text{if Random}(0.1) < 0 \cdot 5 \\ 0 & \text{if Random}(0.1) \ge 0 \cdot 5 \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن I_j^i نمایانگر عنصر jام از راه حل i می‌باشد. تعداد راه-حل‌ها برابر n و تعداد عناصر هر راه‌حل برابر با $n \times 0.2$ می-باشد. هر عنصر (خصوصیت) مختصاتی بصورت زیر دارد:

$$I_j^i = \begin{cases} \text{Ix}_j^i = \text{Random}(0.1) \times X_{Network} \\ \text{Iy}_j^i = \text{Random}(0.1) \times Y_{Network} \end{cases} \quad (۲)$$

دراین رابطه $X_{Network}$ و $Y_{Network}$ به ترتیب طول و عرض محیط شبکه را نشان می‌دهد و تابع Random(0.1) یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌کند. در نتیجه با استفاده از رابطه (۲) می‌توان مختصات تصادفی برای هر عنصر از راه‌حل بدست آورد. گره‌های حسگر عادی اطلاعات خود را به نزدیک‌ترین گره برداشت انرژی ارسال می‌کنند.

علاوه براین، برای استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، نیاز به معیاری است که بتواند بیانگر میزان قدرت هر یک از امپراطوری‌ها باشد. از آنجا که در این مسئله، هم میزان انرژی مصرف شده هنگام ارسال اطلاعات و هم تعداد گره‌های برداشت مورد اهمیت هستند، از این دو پارامتر استفاده می‌نماییم. از اینرو می‌توان قدرت کشورهای مختلف را به صورت میزان انرژی مصرفی هنگام ارسال اطلاعات از گره‌های عادی به گره‌های برداشت انرژی محاسبه کرد و همچنین تعداد گره‌های برداشت را هم لحاظ کرد. بنابراین، در این طرح ارزیاب کشورها را که این‌گونه تعریف می‌کنیم:

$$\varphi_{\text{Proposed}}\left(I^k\right) = \frac{(\text{Max_Energy} - \text{Energy})}{\text{Max_Energy}} + \frac{(\text{Max_No.Harvested} - \text{No.Harvested})}{\text{Max_No.Harvested}} \quad (۳)$$

در رابطه (۳) Energy ، بیانگر انرژی مصرفی شده گره برحسب ژول جهت ارسال به گره برداشت است و $\text{No} \cdot \text{Harvested}$ بیانگر تعداد گره‌های برداشت انرژی است. از آنجا که واحد یکی، ژول و دیگری تعداد است، مقادیر با استفاده از مقدار حداکثری آنها، نرمال‌سازی شده‌اند. Max_En و $\text{Max_No} \cdot$ Harvested به ترتیب حداکثر انرژی مصرفی و حداکثر تعداد گره‌ی برداشت انرژی ممکن برای نرمال‌سازی به کار گرفته شده‌اند. این دو مقدار برای نرمال‌سازی انرژی مصرفی و تعداد گره برداشت انرژی هستند تا بتوان آنها را بدون توجه به واحد اندازه‌گیری دریک فرمول استفاده کرد. انرژی مصرفی برای ارسال بسته از گره‌های حسگر به نزدیک‌ترین گره برداشت انرژی توسط فرمول (۴) محاسبه می‌گردد[۱۹]:

$$\forall\, i \in \{1. \cdots . n\} \text{ and } j \in \{1.2. \cdots . (n \times 0 \cdot 2)\}$$

$$\text{Energy} = \sum_{i=1}^{nc} \sum_{s \in c_i} E_{TX_{S.Harvested_i}} \quad (٤)$$

که دراینجا n_c تعداد گره‌های برداشت انرژی، $S \in C_i$ گره‌های حسگر مرتبط با گره‌ی برداشت انرژی‌ی iام و $E_{TX_{node1.node2}}$ انرژی مصرفی برای انتقال داده از گره‌ی ۱ به گره‌ی ۲ هستند. برای انتقال یک پیام l بیتی در طول فاصله‌ی d انرژی مصرفی حین ارسال (E_{TX}) از فرمول (۴) بدست می‌آید. درحالی که انرژی مصرفی برای دریافت l بیت (E_{RX}) برابراست با $E_{elec} \times l$ ، که دراینجا E_{elec} انرژی مصرفی برای بکار انداختن مدار فرستنده/گیرنده است. E_{fs} و E_{mp} انرژی مصرفی برای انتقال ۱ بیت داده متناسب با مسافت طی شده است. مقدار این دو پارامتر به‌ترتیب $Efs = 10pJ/bit/m^2$ و $Emp = 0.0013pJ/bit/m^4$ می‌باشد. فاصله‌ی ارسالی با یک حدآستانه سنجیده می‌شود که به آن d_0 گویند. این آستانه از رابطه ۵ بدست می‌آید[۱۹].

$$d_0 = \sqrt{E_{fs} / E_{mp}} \quad (۵)$$

برای شروع الگوریتم، تعداد Nکشور اولیه ایجاد می‌شود که تعدادی از بهترین اعضای این جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب می‌گردد. باقیمانده کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هرکدام به یک امپراطوری تعلق دارند. برای تقسیم مستعمرات اولیه بین امپریالست‌ها، به هر امپریالیست، تعدادی از مستعمرات را که این تعداد، متناسب با قدرت آن است، می‌دهیم. برای انجام این کار، با داشتن هزینه همه

www.SID.ir

Archive of SID

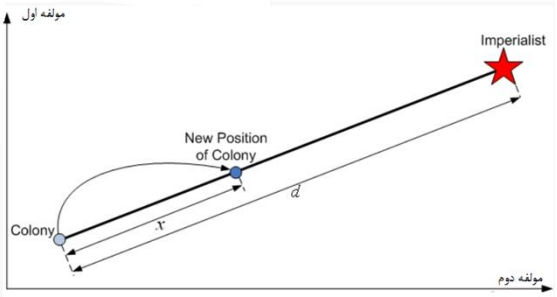
امپریالیست‌ها، مجموع هزینه آن‌ها را به صورت زیر در نظر می‌گیریم[۵].

$$sum_c = \sum_{n=1}^{I} c_n \qquad (۶)$$

در که در آن c_n، هزینه امپریالیست nام می‌باشد. بنابراین تعداد اولیه‌ی مستعمرات یک امپریالیست برابر خواهد بود با:

$$N_{Cn} = round(c_n/sum_c) \times N_{col} \qquad (۷)$$

که در آن N_{Cn} تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری، N_{col} تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه و $round$ تابع گرد کردن به نزدیک‌ترین عدد صحیح است. با در نظر گرفتن N_C برای هر امپراطوری، به این تعداد از کشورهای مستعمره اولیه را به صورت تصادفی انتخاب کرده و به امپریالیست nام می‌دهیم. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود. روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن شرط توقف، ادامه می‌یابد.



شکل۲. شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست [۵]

سیاست جذب

حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست سیاست همگون‌سازی (جذب) است. با در نظر گرفتن شیوه نمایش یک کشور در حل مسئله بهینه‌سازی، در حقیقت این حکومت مرکزی است که با اعمال سیاست جذب سعی دارد تا کشور مستعمره را در راستای ابعاد مختلف به خود نزدیک کند. این بخش از فرایند استعمار در الگوریتم بهینه‌سازی، به صورت حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست، مدل شده است. شکل ۲، شمای کلی این حرکت را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲ کشور امپریالیست کشور مستعمره را در راستای وضعیت گره‌های برداشت انرژی به سمت خود جذب می‌کند. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است، کشور مستعمره، به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر (Imperialist)، حرکت کرده و به موقعیت جدید کشانده می‌شود. در این شکل، فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است. x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت[۹](و یا هر توزیع مناسب دیگر) می‌باشد. یعنی برای x داریم [۵]:

$$x \sim U(0, \beta \times d) \qquad (۸)$$

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ است. یک انتخاب مناسب می‌تواند، $\beta = 2$ باشد[۵]. وجود ضریب بتا بزرگتر از یک باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از هر دو جهت به آن نزدیک شود. از آنجا که می‌خواهیم در مسئله جایدهی گره‌های برداشت انرژی، بتوان نقاط مختلف اطراف گره برداشت را مورد جستجو قرار داد، یک زاویه انحراف از جهت حرکت نیز در نظر گرفته می‌شود (V_C). V_C_iعددی تصادفی با توزیع یکنواخت یا هر توزیع مناسب دیگر است و میزان انحراف از جهت قبلی را مشخص می‌کند[۵].

$$Colony_i = Colony_i + U(0, \beta \times d) \times V_C_i \qquad (۹)$$

که در این رابطه، $V_C_{i_i}$ انحراف زاویه کلونی iام است.

جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست

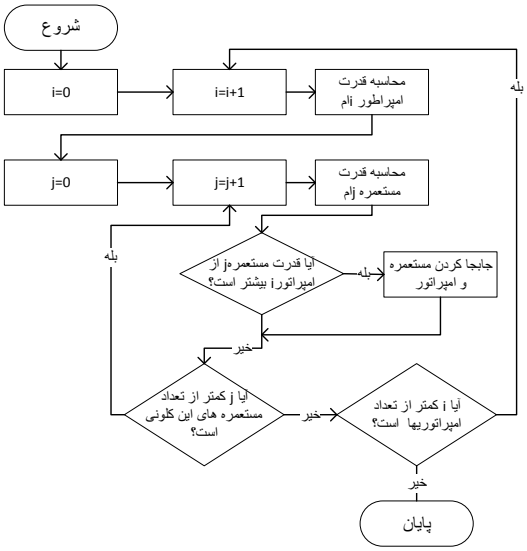
سیاست جذب در عین نابودی ساختارهای اولیه و موقعیت گره‌های برداشت انرژی در کشور مستعمره در بعضی موارد نتایج مثبتی را نیز برای آنها در پی داشت. در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند. در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه یافته و این بار این کشور امپریالیست جدید است که شروع به اعمال سیاست همگون‌سازی بر مستعمرات خود می‌کند.

قدرت کل یک امپراطوری توسط رابطه (۳) بدست می‌آید. فلوچارت شکل ۳ نحوه تغییر امپراتوری ها، و جابه‌جا شدن مستعمره و امپراتور را نشان می‌دهد. ابتدا تک تک امپراتوری‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند (به عنوان نمونه امپراتوری zام را در نظر بگیرید). در هر امپراتوری، تک تک کشورهای مستعمره آن (مستعمره j ام) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه مستعمره jام از امپراطوری zام، قدرتش از امپراتور iام بیشتر باشد، به عنوان امپراتور انتخاب می‌شود (بدین معنا که جای مستعمره و استعمارگر عوض می‌شود). در غیر این صورت، اگر مستعمره jام دارای قدرتی بیش از امپراتور نباشد، وضعیت تغییر نمی‌کند و به سراغ مستعمره بعدی از امپراطوری z ام می‌رود. سپس قدرت مستعمره بعدی و امپراتور مقایسه می‌شود ($j = j + 1$). این کار تا زمان اتمام مستعمره‌ها و امپراطوری ادامه می‌یابد.

[9] Uniform Distribution

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳. روند تعویض کلونی با امپراتور

همانگونه که بیان شد، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، امپراطوری‌های ضعیف به تدریج سقوط کرده و مستعمراتشان به دست امپراطوری‌های قوی‌تر می‌افتد. در اینجا، یک امپراطوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد؛ به عبارت دیگر، تعداد مستعمرات آن صفر باشد.

انقلاب

همانطور که رخ دادن انقلاب در هر کشور می‌تواند با تغییرات سیاسی و اجتماعی به همراه تغییر در قدرت همراه گردد، در الگوریتم رقابت استعماری هم تغییر قدرت به واسطه انقلاب به مرور اتفاق می‌افتد و منجر به افزایش محوطه جستجو الگوریتم و جلوگیری از همگرایی زود هنگام می‌شود. نرخ انقلاب در این الگوریتم بیانگر درصدی است تصادفی که مکان هریک ازکشورها براساس آن تغییر می‌کند برای نگاشت انقلاب به مسئله‌ی جایدهی گره‌های برداشت انرژی در شبکه حسگر بیسیم، در هر بار تکرار الگوریتم رقابت استعماری با احتمال ۱۰ درصد، تغییراتی در وجود یا عدم وجود گره‌ی برداشت در کشور و همچنین موقعیت آن اعمال می‌گردد. نرخی که ما در این کار برای انقلاب درنظر گرفتیم، ده درصد است، بدین معنا که ده درصد حسگرها در هر امپراتوری تغییر مکان می‌دهند. شایان ذکر است که نرخ بالا برای انقلاب می‌تواند قدرت جستجو و نرخ همگرایی را کاهش دهد [۱۷]. به همین منظور در فرمول ۱۰، ابتدا یک عدد تصادفی بین صفر یک تولید می‌شود. اگر مقدار این عدد کمتر از 0.1 بود، مختصات تغییر می‌کند و در غیر این صورت ثابت می‌ماند.

$$I_j^i = \begin{cases} I_{x_j}^i = Random(0.1) \times X_{Network} & if\ Random(0.1) < 0 \cdot 1 \\ I_{y_j}^i = Random(0.1) \times Y_{Network} & if\ Random(0.1) < 0 \cdot 1 \\ I_{x_j}^i . I_{y_j}^i : \ Unchanged & otherwise \end{cases} \quad (۱۰)$$

در رابطه (۱۱) نیز با در نظر گرفتن همین عدد تصادفی و کم کردن آن از یک، مختصات جدید محاسبه می‌شوند. در این رابطه I_j^i ، نمادی است که بیانگر مختصات قرار گیری حسگر، که شامل هر دو مختصه x و y است.

$$I_j^i = \begin{cases} I_j^i = 1 - I_j^i & \text{if} \quad \text{Random}(0,1) < 0.1 \\ I_j^i = I_j^i & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (۱۱)$$

شرط پایان الگوریتم

زمانی که در جریان رقابت‌های استعماری امپراطوری‌های ضعیف سقوط کنند و یک امپراطوری واحد بدست آمد یا اینکه به یک جواب قابل قبول رسیدیم در این صورت به عنوان جواب مسئله در نظر گرفته می‌شود. شرایط مختلفی را می‌توان به عنوان معیار پایان الگوریتم در نظر گرفت. در این کار، تعداد تکرار به عنوان شرط توقف درنظرگرفته شده‌است. افزایش تعداد تکرارها، می‌تواند منجر به جواب مناسب‌تر شود اما از سوی دیگر به زمان بیشتر نیاز است. اما شایان ذکر است که ICA جز روش‌هایی است که به همگرایی سریع معروف است[۱۹]. شبه کد مربوط به روش پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است که بیانگر تمامی مراحلی است که توضیحات آن تا کنون ارائه شده‌اند.

1. Distributes N sensors randomly in the environment.
2. Select some sensors randomly as initial empires (20% of N sensors).
3. Iteration _num=0.
4. Stop_condition= The required number of iterations.
5. Move colonies toward their suitable imperialist.
6. Revolution: Change some positions randomly based on the relation 10 and 11.
7. Compute the power of each base on the relation 3.
8. Compare the power of colonies with their empires and exchange them if required based on the figure 3.
9. Give the colony (colonies) of the weakest empires and transfer them to others, and therefore omit it.
10. If Iteration _num< Stop_condition go to 5.
11. Perform K-Means which its initial points are outputs of ICA
12. Iterate up to having better clusters.

شکل۴. شبه کد روش پیشنهادی

بهبود استقرار گره‌ها با استفاده از روش K-Means

در مرحله بعد، برای بهبود استقرار گره‌ها از روش K-Means[۶] استفاده می‌کنیم. هدف اصلی، تعیین مکان دقیق گره‌های برداشت انرژی است. نقاط بدست آمده به عنوان مکان‌های گره-های برداشت توسط الگوریتم رقابت استعماری بعنوان نقاط MP[۱۰] در روش K-MEANS بکار برده می‌شود. از آنجا که در این روش، مقادیر اولیه خیلی مهم هستند و روش K-Means به

[10] Means of points (MP)

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر اولیه حساس است[۲۰]، استفاده از خروجی ICA می‌تواند به پاسخ‌های مناسب منجر گردد. درآغاز ایستگاه پایه سطح انرژی و اطلاعات مکانی را از تمام گره‌های موجود در شبکه جمع‌آوری می‌کند. با توجه به مکان گره‌های حسگر، میانگین نقاط اولیه‌ی مناسب برای گره‌های برداشت انرژی بدست می‌آید. دراینجا CP را بعنوان نقطه‌ی مرکزی تمام گره‌های حسگر در نظر می‌گیریم. اگر N گره حسگر در شبکه حسگر بیسیم وجود داشته باشد، CP از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد[۱۸]:

$$CP = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_j}{N} \qquad (۱۲)$$

که در اینجا X_j مختصات گره‌ی حسگر j ام است و R که میانگین فاصله تمام گره‌های حسگر تا CP در نظر گرفته شده است، که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد[۱۹]:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^{N} |X_j - CP|}{N} \qquad (۱۳)$$

در فرمول (۱۳)، $|X_j - CP|$ فاصله‌ی بین X_j و CP است. $m_i(m_{ix}\,.\,m_{ix})$ مکان‌های آغازین MP برای i امین گره برداشت انرژی هستند. در واقع می‌توان گفت m_{iy} مختصه y محل قرار گیری گره برداشت است و m_{ix} ، محل قرارگیری گره برداشت را روی محور X نشان می‌دهد. با توجه به CP و R ، m_{ix} و m_{iy} اینگونه تغییر داده می‌شوند[۱۹]:

$$m_{ix} = R.\cos\left(\frac{2\pi}{k}(i+1)\right) + CP_x \qquad (۱۴)$$

$$m_{iy} = R.\sin\left(\frac{2\pi}{k}(i+1)\right) + CP_y \qquad (۱۵)$$

در اینجا k تعداد گره‌های برداشت انرژی است (i =1,2,..., k). مقدار اولیه‌ی i توسط الگوریتم رقابت استعماری در بخش قبل بدست آمده است. تنظیم اولیه‌ی MPها بسیار حائز اهمیت می باشد. انتخاب نقاط شروع خوب با استفاده از ICA می‌تواند تعداد تکرار برای جای‌دهی گره‌های برداشت را به طور قابل توجهی کاهش دهد. بعد از تنظیم اولیه‌ی MPها براساس مکان تمامی گره‌های حسگر بیسیم، ایستگاه پایه چندین خوشه تولید می‌کند. در این مرحله از الگوریتم K-Means جهت تقسیم n گره حسگر به k خوشه استفاده می‌کنیم، که در آن هر گره‌ی حسگر به خوشه ای با نزدیک‌ترین MP می‌پیوندد. اگر در سیستم k خوشه وجود داشته باشد، تابع K-Means بصورت زیر بیان می‌شود[۱۹]:

$$MIN \sum_{i=1}^{k} |X_{j-m_i}| \qquad \forall X_j \in C_i \qquad (۱۶)$$

در اینجا C_i خوشه‌ی i و m_i مختصات MP است. دلیل اصلی این عبارت بدست آوردن حداقل فاصله بین گره‌های حسگر و تمام خوشه‌هاست. برای ساخت خوشه‌های توزیع شده‌ی یکنواخت فاصله‌های کمینه بین MPها و تمام گره‌های حسگر محاسبه می‌گردد. سپس گره‌های حسگر براساس حداقل فاصله خوشه طبقه‌بندی می‌شوند. هر گره‌ی حسگر تنها به یک خوشه تعلق پیدا می‌کند. هدف اصلی از این عبارت تصمیم درباره‌ی این است که گره‌ی j به کدام خوشه تعلق دارد. بعد از مشخص شدن این موضوع، MPهای جدید با استفاده از رابطه (۱۷)محاسبه می‌شود و چنانچه اختلاف این دو از یک حد آستانه فراتر رود مجدداً باید این روند تکرار شده و MPهای جدید تولید شوند[۱۷]. تا زمانی این روند تکرار می‌شود که اختلاف MPهای جدید و فعلی از حد آستانه تجاوز نکند.

$$m'_i = \frac{1}{|c_i|}\sum X_j \qquad \forall X_j \in C_i \qquad (۱۷)$$

پیاده سازی شبکه

بعد از تعیین مختصات گره‌های برداشت انرژی و استقرار آن‌ها در شبکه، گره‌های حسگر نزدیک‌ترین گره برداشت انرژی به خود را انتخاب می‌کنند. سپس اطلاعات حس شده توسط گره‌های حسگر به گره‌ی برداشت انرژی انتخابی آن حسگر ارسال می‌گردد. گره‌های برداشت انرژی بعد از جمع‌آوری اطلاعات گره‌های حسگر، آن را به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. به دلیل اینکه شبکه بصورت حساس به زمان[11] طراحی شده‌است، پیچیدگی‌های مربوط به حساس به رویداد[12] را ندارد. هر گره برداشت انرژی با استفاده از پروتکل زمان‌بندی دسترسی رسانه با تقسیم زمان (TDMA[13]) برای تعیین زمان ارسال اطلاعات گره‌های مختلف استفاده می‌کند. بعد از استقرار گره‌های برداشت انرژی و تخصیص گره‌های حسگر به هر گره‌ی برداشت، مکانیزم زمانی ارسال باید مشخص شود. مانند بسیاری از روش‌های پایه نظیر LEACH، زمان‌بندی برای ارسال اطلاعات از گره‌های حسگر به برداشت انرژی با استفاده از TDMA انجام می‌شود [۷]. به این صورت که به هر گره یک بازه زمانی مشخص اختصاص داده می‌شود و به محض رسیدن به این زمان، گره اقدام به ارسال اطلاعات حس شده می‌کند. استفاده از زمان‌بندی TDMA باعث ازبین رفتن احتمال وقوع برخورد بسته‌های ارسال گره‌ها می‌گردد. گره برداشت انرژی یک بازه‌ی زمانی نیز به خود اختصاص می‌دهد تا برداشت انرژی را انجام دهد. ارسال اطلاعات از گره‌های برداشت انرژی به ایستگاه پایه با استفاده از زمان‌بندی دسترسی چندگانه تشخیص حامل (CSMA[14]) انجام می‌شود. در روش‌های پایه نظیر LEACH نیز

11Time-Driven
12 Event-Driven
13. Time Division Multiple Access (TDMA)
14. Carrier-Sense Multiple Access (CSMA)

www.SID.ir

Archive of SID

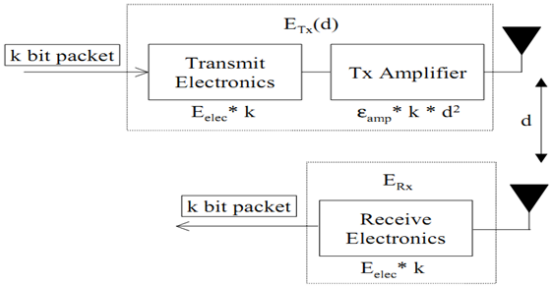
ارسال اطلاعات از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه از طریق CSMA انجام می‌گیرد. زمان‌بندی TDMA هرچند مانع تداخل بسته‌های ارسالی می‌شود اما زمان‌بر بوده و مانع از پردازش‌های بلادرنگ است. درشرایطی که تعداد گره‌ها کم باشد، تداخل‌های بوجود آمده نیز بسیار ناچیز است. ازاینرو برای ارسال اطلاعات از گره-های برداشت انرژی به ایستگاه پایه از CSMA استفاده می‌شود.

شبیه‌سازی و ارزیابی کار پیشنهادی

برای ارزیابی طرح پیشنهادی و بررسی عملکرد آن، از نرم افزار متلب استفاده می‌کنیم که تحت چندین سناریوی مختلف عملکرد را مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای نمونه حالتی را در نظر می‌گیریم که در آن ۲۰۰ گره حسگر در یک محیط با ابعاد ۲۰۰ در۲۰۰ بصورت تصادفی توزیع شده‌اند. در شبکه‌های حسگر بیسیم، انرژی مصرف شده در ایستگاه پایه به دلیل آنکه به برق شهری متصل است چندان اهمیت ندارد و در بیشتر تحقیقات از آن صرف نظر می‌شود و مسئله‌ی اصلی محاسبه‌ی میزان مصرف انرژی در هریک از گره‌های حسگر است که منبع تغذیه‌ی محدودی دارند. انرژی هر گره معمولا در سه وضعیت ارسال/دریافت داده، حس کردن و پردازش اطلاعات مصرف می‌شود. در بین این سه وضعیت، انرژی مصرفی برای پردازش نسبت به دو تای دیگر بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. همچنین می‌توان از انرژی مصرفی برای حس کردن نیز چشم‌پوشی کرد. عمده عامل مصرف انرژی در گره‌های حسگر بیسیم وضعیتی است که داده ارسال یا دریافت می‌شود.

داده‌ها برای ارسال از حالت دیجیتال به سیگنال قابل ارسال تبدیل می‌شوند، که توسط مدار الکترونیکی انتقال [15] صورت می‌گیرد. سپس این سیگنال به یک مدار تقویت کننده[16] تحویل داده می‌شوند. مطابق شکل ۵، انرژی مصرفی در بخش مدار الکترونیکی انتقال برابر $E_{Elec} \times k$ و در مدار تقویت کننده، $\varepsilon_{amp} \times k \times d^2$ است. در اینجا k نشان‌دهنده‌ی تعداد بیت‌هایی که باید ارسال شوند و d نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ای که باید این بیت‌ها طی کنند، است. سیگنال‌های ارسالی توسط مدار گیرنده از حالت سیگنال به داده‌های دیجیتال برگردانده می‌شوند. انرژی مصرفی برای این کار برابر با $E_{Elec} \times k$ است. همان‌گونه که اشاره شد، k تعداد بیت را نشان می‌دهد.

[15] Transmit Electronics
[16] Amplifier



شکل ۵. مصرف انرژی جهت ارسال/دریافت [۷]

رابطه‌ی مصرف انرژی در ادامه آمده است. E_{TX} نشانگر مصرف انرژی برای k بیت تا مسافت d و E_{RX} انرژی لازم برای دریافت k بیت است. چنانچه مسافت ارسالی از حد آستانه‌ای بیشتر شود، باید انرژی بیشتری برای ارسال داده‌ها صرف کرد. این حد آستانه با d_0 مشخص می‌شود [۷].

$$E_{TX_{node1.node2}} = \begin{cases} E_{elec} \times k + E_{mp} \times k \times d^2 & \text{if } d \le d_0 \\ E_{elec} \times l + E_{mp} \times l \times d(node1.node2)^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases}$$

$$E_{tx} = \begin{cases} E_{elec} * k + E_{mp} * k * d^2 \text{ if } d < do \\ E_{elec} * k + E_{fs} * k * d^4 \text{ if } d > do \end{cases} \quad (۱۸)$$

$$E_{RX} = E_{elec} * k \quad (۱۹)$$

$$do = \sqrt{\left(\frac{E_{fs}}{E_{mp}}\right)}$$

پارامترهای اولیه شامل تعداد گره‌ها، نحوه‌ی توزیع گره‌ها، انرژی اولیه‌ی گره‌ها، ابعاد محیط توزیع گره‌ها، مختصات قرارگیری ایستگاه پایه در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول۱. پارامترهای اولیه شبیه سازی

پارامتر	مقدار
تعداد گره	**۲۰۰**
طول محیط	**۲۰۰**
عرض محیط	**۲۰۰**
مختصات ایستگاه پایه	**(۱۰۰,۱۰۰)**
انرژی اولیه (سناریوی ۱)	**۰.۵ ژول**
E_{Elec}	50nj
E_{mp}	0.0013pJ/bit/m^4
E_{Fs}	10pJ/bit/m^2
طول بسته‌ی داده	**۴۰۰۰ بیت**
طول بسته‌ی کنترلی	**۳۲ بیت**

برای توازن بار و افزایش طول عمر شبکه، خوشه‌بندی در دورهای زمانی مختلف اجرا می‌شود که در فاز تنظیم، خوشه‌ها تشکیل می‌شوند. در فاز پایداری، گره‌های حسگر اطلاعات

www.SID.ir

Archive of SID

محیطی را حس و از طریق سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه منتقل می‌کنند. سپس در زمانی مشخص فاز تنظیم مجدد اجرا شده و ممکن است گره‌های سرخوشه تغییر کنند. در طرح پیشنهادی، زمان تنظیم معادل با شارژ مجدد گره‌های برداشت انرژی تعریف می‌شود. در سناریوی اول، انرژی اولیه‌ی گره‌های شبکه ۰.۵ ژول و تعداد آن‌ها ۲۰۰ می‌باشد. از جمله پارامترهای بسیار مهم در شبکه حسگر بیسیم طول عمر شبکه است[۲۰]. معمولا برای سنجش طول عمر شبکه از سه معیار استفاده می‌شود. اولین گره خاموش (FND[۱۷]) بعنوان یکی از معیارهای مهم به حساب می‌آید. این به معنای مدت زمان آغاز شبکه تا اولین گره‌ای که کاملا تخلیه‌ی انرژی می‌شود است. معیار بعدی فاصله‌ی زمانی بین آغاز به کار شبکه تا خاموشی نصف گره‌ها (HND)[۱۸] می‌باشد. علاوه براین دو معیار، خاموشی آخرین گره (LND)[۱۹] نیز برای ارزیابی بکار می‌رود.

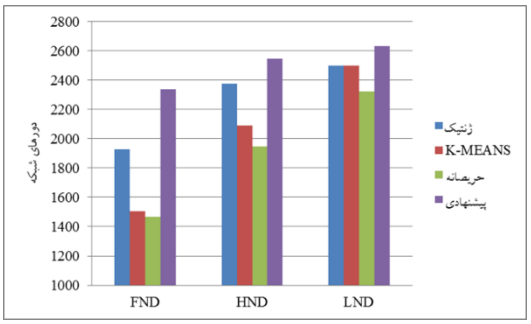
از آنجا که تا کنون با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری برای تعیین تعداد مناسب گره‌های برداشت استفاده نشده است، برای مقایسه، سراغ الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر شامل ژنتیک، حریصانه [۲۱] وK-Means [۲۲] رفتیم. الگوریتم حریصانه، با تصمیم‌های حریصانه تلاش می‌کند به راه‌حل‌های قابل قبول دست یابد. تعداد N ورودی را می‌گیرد و یک زیر مجموعه از عناصر را برای قرار گرفتن گره‌های برداشت انتخاب می‌کند. در الگوریتم ژنتیک هم یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها در نظر گرفته می‌شود و در ادامه و با در نظر گرفتن تابع برازش، crossover، و جهش تصادفی (mutation) جمعیت جدید تولید می‌شود و تا زمان برآورده شدن شرایط توقف ادامه پیدا می‌کند. پیچیدگی زمانی برای این الگوریتم $O(N)$ و برای حریصانه $O(NLogN)$ است [۲۳]. پیچیدگی زمان الگوریتم K-Mean برابر است با $O(N^{dk+1})$ که در آن k تعداد خوشه‌ها و d ابعاد محیط است. N در همه روابط تعداد حسگرها است. در عین حال پیچیدگی زمانی برای الگوریتم رقابت استعماری برابر با $T \times (O(N) + O(N) \times k)$ است، که در آن T تعداد دفعات تکرار است[۲۴]. این الگوریتم‌ها تنها در زمان خوشه بندی اولیه و خوشه‌بندی مجدد استفاده می‌شوند. جهت مقایسه روش پیشنهادی با مقالات بررسی شده در این کار، از جدول ۲ استفاده شده است.

شکل ۶ مقادیر FND، HND و LND بدست آمده از چهار روش K-Means، ژنتیک، حریصانه و پیشنهادی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است روش پیشنهادی از نظر FND، HND و LND عملکرد بهتری در مقایسه با K-Means، ژنتیک و حریصانه دارد.

[17] First Node Die
[18] Half Node Die
[19] Last Node Die

جدول۲. مقایسه کار پیشنهادی با مراجع مختلف

ردیف	مرجع	نوع سیستم	الگوریتم	هدف
۱	[۱۳]	EHWSN ناهمگن دینامیک	HSAML	پوشش حداکثری ناحیه و اهداف
۲	[۱۴]	EHWSN	GMILP	جای دهی کمترین تعداد گره برداشت و رله پوشش فضا
۳	[۱۶]	EHWSN متحرک	MOPSO	پر کردن حداکثری حفره‌ها با حرکت گره‌های برداشت
۴	[۱۷]	WSN	ICA	خوشه بندی انتخاب سرخوشه‌ها
۵	[۲۱]	WSN	ژنتیک	خوشه بندی
۶	[۲۲]	WSN	KMeans	خوشه بندی
۷	[۲۴]	WSN	ICA	افزایش طول عمر Barrier coverage[۲۰]
۸	پیشنهادی	EHWSN	ICA و KMeans	تعیین کمترین تعداد گره برداشت، خوشه-بندی و افزایش طول عمر



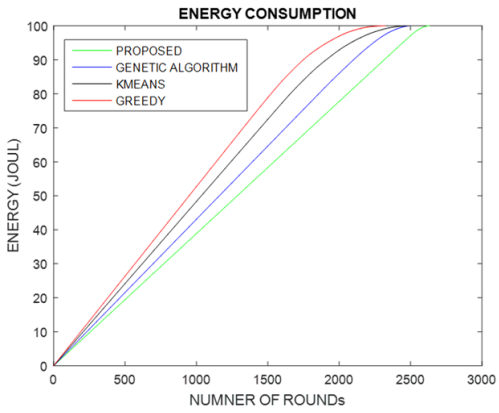
شکل ۶. FND، HND و LND در سناریوی اول

نمودارهای نشان داده شده شکل‌های ۸ و ۷ به ترتیب نشانگر میزان مصرف انرژی در هر دور از اجرای شبکه و گره‌های خاموش در هر دور می‌باشند. از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که در هر دور تعداد گره‌های خاموش در روش پیشنهادی از روش‌های K-Means، ژنتیک و حریصانه بهتر است همچنین میزان مصرف انرژی در K-Means، ژنتیک و حریصانه در هر دور از روش پیشنهادی میزان بیشتری دارد.

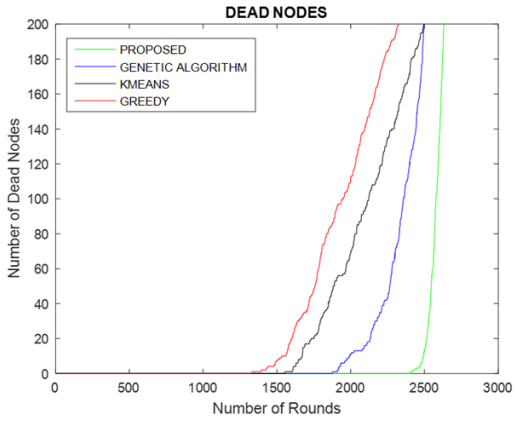
[۲۰] در مدل Barrier coverage، حسگرها برای پوشش کل محیط به کار نمی‌روند. بلکه حسگرها تنها برای پوشش هر مسیر عرضی که یک سمت منطقه را به سمت دیگر وصل می‌کند، به کار گرفته و فعال می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

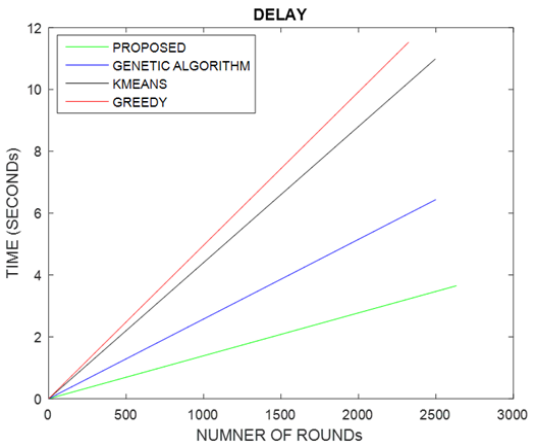


شکل۷. روند مصرف انرژی در سناریوی اول



شکل۸. روند خاموشی گره‌ها در سناریوی اول

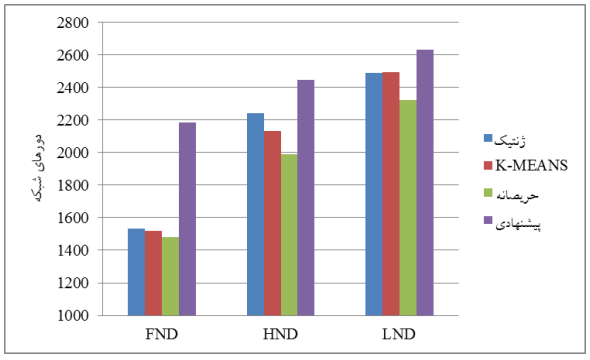
در شکل۹، تاخیر رسیدن به گره‌های برداشت انرژی و از گره-های برداشت انرژی به ایستگاه پایه را نشان می‌دهد. براساس این نمودار، تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش پیشنهادی از سه روش کاهش چشمگیری داشته است. در کل بر اساس معیارهای اندازگیری شده در این سناریو، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به K-Means، ژنتیک و حریصانه دارد.



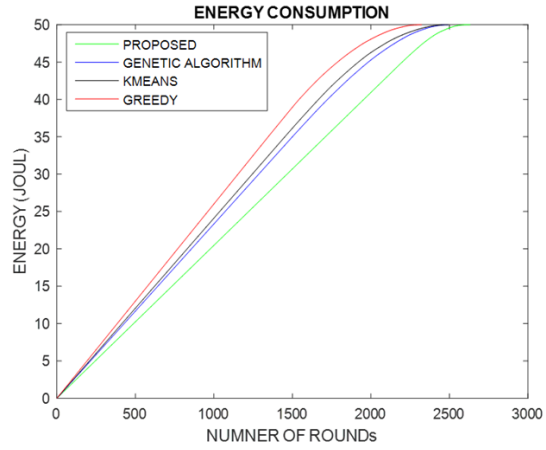
شکل۹. تاخیر در سناریوی اول

بعد از بدست آمدن نتایج از سناریوی اول، تغییر درآن اعمال می‌کنیم تا از جنبه‌ی دیگری طرح را مورد آزمایش قرار دهیم. پارامتر اصلی و اولیه‌ی شبکه که ممکن است در نتایج شبیه-سازی تاثیر بگذارد، تعداد گره است. برای بررسی تاثیر این پارامتر، سناریوی دیگر تعریف می‌کنیم. سناریوی دوم، تعداد گره‌ها از ۲۰۰ به ۱۰۰ کاهش می‌یابد. شبکه را اجرا کرده و نتایج بدست آمده را در قالب نمودار نشان می‌دهیم.

شکل ۱۰ مقادیر FND، HND و LND بدست آمده از چهار روش K-Means، ژنتیک، حریصانه و پیشنهادی را نشان می‌دهند. همان طور که مشخص است روش پیشنهادی از نظر FND، HND و LND عملکرد بهتری در مقایسه با K-Means، ژنتیک و حریصانه دارد.



شکل۱۰. FND، HND و LND در سناریوی دوم



شکل ۱۱. روند مصرف انرژی در سناریوی دوم

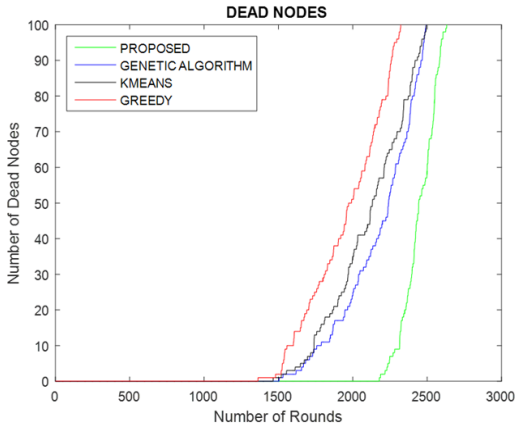
نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۱ به ترتیب نشانگر میزان مصرف انرژی در هر دور از اجرای شبکه و گره‌های خاموش در هر دور در سناریوی دوم می‌باشند. از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که در هر دور تعداد گره‌های خاموش در روش پیشنهادی از روش‌های K-Means، ژنتیک و حریصانه بهتر است. همچنین میزان مصرف انرژی در K-Means ، ژنتیک و حریصانه در هر دور از روش پیشنهادی میزان بیشتری دارد. درکل براساس معیارهای اندازگیری شده در این سناریو، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به K-Means، ژنتیک و حریصانه دارد.

شکل ۱۳، تاخیر رسیدن به گره‌های برداشت انرژی و از گره‌های برداشت انرژی به ایستگاه پایه را نشان می‌دهد. براساس این نمودار، تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش پیشنهادی

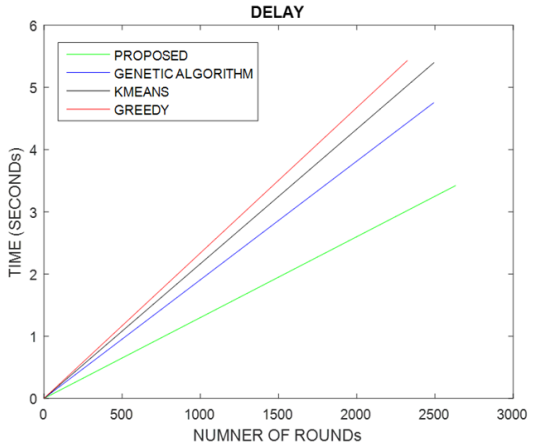
www.SID.ir

Archive of SID

از سه روش کاهش چشمگیری داشته است. در کل بر اساس معیارهای اندازگیری شده در این سناریو، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به K-Means، ژنتیک و حریصانه دارد.



شکل ۱۲. روند خاموشی گره‌ها در سناریوی دوم



شکل۱۳. تاخیر در سناریوی دوم

طبق نتایج بدست آمده در شرایط مختلف، روش پیشنهادی عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌ها K-Means، ژنتیک و حریصانه از خود نشان می‌دهد. عملکرد روش پیشنهادی را از نظر مصرف انرژی، تاخیر و روند خاموشی گره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد که این روش کارآیی بهتری دارد. این پارامترها را برای حصول از اطمینان نتایج در شرایط مختلف اجرا و نتایج را مورد ارزیابی قرار دادیم و مشاهده شد که شرایط مختلف تاثیری بر کارآیی روش پیشنهادی ندارد و این روش در سناریوهای مختلف از K-Means، ژنتیک و حریصانه عملکرد بهتری دارد.

نتیجه گیری

یکی از مهمترین مشکلات شبکه‌های حسگر بیسیم، محدودیت منابع انرژی است، چراکه گره‌های حسگر برای تأمین انرژی مصرفی خود وابسته به باتری‌های کوچک هستند. از این گذشته کارایی شبکه‌های حسگر بیسیم شدیداً به طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای آن‌ها وابسته است. بنابراین تمامی سطوح این نوع شبکه‌ها باید با آگاهی از انرژی طراحی شوند. به دلیل محدودیت شعاع ارتباطی و گستردگی جغرافیایی ناحیه هدف، معمولا ارتباط بیسیم چند گامی جهت ساده سازی ارتباط انتها به انتها بین گره‌های حسگر و ایستگاه پایه مورد نیاز است. جهت بهره بردن از مزایای حسگرهای قابل شارژ، هزینه بالای گره‌های برداشت نیز باید در نظر گرفته شود. کمینه کردن تعداد گره‌های برداشت انرژی بدون تاثیر بر کیفیت سیگنال‌ها یکی از جنبه‌های مهم در طراحی این نوع شبکه‌های حسگر بیسیم است. مکان قرارگیری گره برداشت انرژی باید طوری باشد که مکان‌های دارای تراکم بالا و پر عبور، گره‌های برداشت انرژی بیشتری داشته باشد. در این کار، تعداد گره‌های برداشت انرژی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، به شکل مناسب تعیین شده است و سپس از الگوریتم K-Means نیز کمک گرفته شد. نتایج حاصل از الگوریتم تکاملی به عنوان نتایج اولیه‌ی K-Means انتخاب شده و سپس الگوریتم K-Means مناسب‌ترین نقاط برای گره‌های برداشت انرژی را مشخص می‌نماید. براساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی، طرح پیشنهادی کارآیی شبکه حسگر بیسیم را تا حد قابل قبولی بهبود داده است و منجر به افزایش طول عمر شبکه شد.

مراجع

[۱] طیبه حسینی؛ فرانک فتوحی قزوینی؛ فهیمه سادات ذاکری؛ نادر مرندی، « بررسی تغییرات سطح قند خون با کمک حسگر مبتنی بر امپدانس بدن برای بیماران مبتلا به دیابت"، فصلنامه صنایع الکترونیک، شماره دوم، صفحه ۵۰-۳۷، تابستان ۹۷.

[۲] نوری, محبوبه و گلسرخ تبار امیری، مهدی، « شبکه حسگر بیسیم برداشت کننده انرژی: معرفی، بحث و بررسی رویکردهای متفاوت»، کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در فناوری اطلاعات، کامپیوتر و مخابرات، تربت حیدریه، ۱۳۹۴.

[۳] محسن حیدریان؛ لیلا رضایی؛ قاسم میرجلیلی، « طراحی کارآمد توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم: جایگذاری گره‌ها و ترمیم حفره‌های پوششی شبکه با استفاده از منطق فازی"، فصلنامه صنایع الکترونیک، شماره سوم، صفحه ۲۷-۴۰، پاییز ۹۶.

[۴] رضا ابراهیمی آتانی، امیر حسنی کرباسی، شهاب الدین ابراهیمی آتانی، جواد مهری تکمه، « پیش توزیع کلید مبتنی‌بر صفحه تصویری با کپی و تبادل کلید جایگشتی بر اساس مجموعه های غالب در شبکه های حسگر بی‌سیم"، فصلنامه صنایع الکترونیک، شماره اول، صفحه ۴۳-۵۲، بهار ۹۲.

www.SID.ir

Archive of SID

[۵] کشاورزسیاهپوش, مجتبی و سیدجواد میرعابدینی، «بررسی بهبود کارآیی شبکه حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری »، چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی ، تربت حیدریه، ۱۳۹۵.

[6] S., Shah, Y., Singh, M., "*Comparison of A Time Efficient Modified K-mean Algorithm with K-Mean and K-Medoid algorithm"*, International Conference on Communication Systems and Network Technologies, pp 435-437, 2012.

[7] Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., & Balakrishnan, H. "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks.", IEEE Transactions on wireless communications, Vol.1(4), pp.660-670, 2002.

[8] Mohammed S. Bahbahani and Emad Alsusa, "*A Cooperative Clustering Protocol With Duty Cycling for Energy Harvesting Enabled Wireless Sensor Networks*", IEEE Transactions On Wireless Communications, VOL. 17, pp. 101-111, 2018.

[9] Yang, C., & Chin, K. W., "*On nodes placement in energy harvesting wireless sensor networks for coverage and connectivity*", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 13, pp. 27-36, 2017.

[10] Lee, W. K., Schubert, M. J., Ooi, B. Y., & Ho, S. J. Q., "*Multi-Source Energy Harvesting and Storage for Floating Wireless Sensor Network Nodes with Long Range Communication Capability*", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 54, pp. 2606-2615, 2018.

[11] Tingwen Ruan; Zheng Jun Chew; Meiling Zhu, "*Energy-Aware Approaches for Energy Harvesting Powered Wireless Sensor Nodes*" IEEE Sensors Journal, Vol. 17, pp. 2165 - 2173, 2017

[12] Basagni, S., Di Valerio, V., Gjanci, P., & Petrioli, C.," *Harnessing HyDRO: Harvesting-aware Data Routing for Underwater Wireless Sensor Networks."*, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, In Proceedings of the Eighteenth pp. 271-279, 2018.

[13] Lin, Chun-Cheng, Yung-Chiao Chen, Jiann-Liang Chen, Der-Jiunn Deng, Shang-Bin Wang and Shun-Yu Jhong. "*Lifetime Enhancement of Dynamic Heterogeneous Wireless Sensor Networks with Energy-Harvesting Sensors*", Mobile Networks and Applications, vol.22, pp 931-942, 2017.

[14] Yang, C., & Chin, K. W., "*On nodes placement in energy harvesting wireless sensor networks for coverage and connectivity*", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 13, pp. 27-36, 2017.

[15] Gupta, A., Malik, S., Goyal, M., & Gupta, P, *"Clustering Approach for Enhancing Network Energy using LEACH Protocol in WSN. International Journal of Wired and Wireless Communications*, Vol. 2, pp. 20-25, 2012.

[16] Xiong, Y., Chen, G., Lu, M., Wan, X., Min Wu, She, J., "*A Two-Phase Lifetime-Enhancing Method for Hybrid Energy-Harvesting Wireless Sensor Network*", IEEE Sensors Journal, Vol. 20, No. 4, 2020.

[17] Maadi. M., Maadi. M., "*Optimization of Cluster Heads Selection by Imperialist Competitive Algorithm in Wireless Sensor*", International Journal of Computer Applications, Vol. 89– No.19,2014.

[18] Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 4661-4667, 2007.

[19] Bara'a, A. A., & Khalil, E. A.," *A new evolutionary based routing protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks*", Applied Soft Computing, vol. 12, pp. 1950-1957, 2012

[20] Rehan, W., Fischer, S., Rehan, M., & Rehmani, M. H.," *A comprehensive survey on multichannel routing in wireless sensor networks*", Journal of Network and Computer Applications, vol. 95, pp. 1-25, 2017.

[21] Banerjee, S., Choudhary, & Pal, S., "*Empirical Evaluation of K-Means, Bisecting KMeans, Fuzzy C-Means and Genetic K-Means Clustering Algorithms*", IEEE International WIE Conference on Electrical and computer engineering, pp 168-172, 2015.

[22] Echoukairi, H., Kada, A., Bouragba, K., & Ouzzif, M.," *Effect of Mobility Models on Performance of Novel Centralized Clustering Approach based on K-means for Wireless Sensor Networks*", International Journal of Applied Engineering Research, vol. 12, pp. 2575-2580, 2017.

[23] Shaheen, A., Sleit, A., Ooi, B. Y., & Ho, S. J. Q., "*Comparing between different approaches to solve the 0/1 Knapsack problem*", IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.16 No.7, 2016.

[24] Lee, W. K., Schubert, M. J., Ooi, B. Y., & Ho, S. J. Q., "*Barrier coverage of WSNs with the imperialist competitive algorithm*", The Journal of Supercomputing, Vol.73, Issue 11, pp 4957–4980 Springer, 2017.

www.SID.ir