

پروتکل بهینه سازی ازدحام ذرات برای خوشه بندی و مسیریابی در شبکه های

حسگر بی سیم

چکیده

بسیاری از تکنیک های مسیریابی مبتنی بر کلاستر بندی برای شبکه های حسگر بی سیم (WSN ها) در راه کارهای پیشین مطرح شده است. با این حال، بسیاری از پروتکل های پیشنهادی بر انتخاب سرخوشه (CH) تاکید کرده و چگونگی ارسال مجدد داده های جمع آوری شده توسط سرخوشه به ایستگاه پایه (BS) را نادیده می گیرند. علاوه بر این، آن ها تمایل به استفاده از اطلاعات غیر واقع بینانه و پارامترهای فرضی دارند. این نمونه ها شامل استفاده از محدوده انتقال متناهی و آگاه از مکان است. آن ها همچنین از یک مدل انرژی که اساساً برای مدل سازی قدرت رادیویی مصرفی در شبکه های بی سیم است استفاده می کنند. در این مقاله، دو فرموله بندی برنامه ریزی خطی (LP) برای مشکل کلاستر بندی و مسیریابی ارائه شده است که شامل دو الگوریتم براساس الگوریتم ازدحام ذرات هستند (PSO). الگوریتم کلاستر بندی، بهینه ترین مجموعه سرخوشه را می یابد به گونه ای که انرژی مصرفی، کیفیت خوشه بندی و پوشش شبکه بهینه شود. الگوریتم مسیریابی با یک روش کدگذاری و تابع عملکرد توسعه یافته و بهینه ترین درخت مسیریابی را که این سرخوشه ها را به ایستگاه پایه (BS) متصل می کند را می یابد. این دو الگوریتم سپس با یک پروتکل دو لایه برای ارائه کامل و عملی مدل خوشه بندی ترکیب می شوند. تأثیر استفاده از یک شبکه واقعی و الگوی واقعی انرژی مصرفی در ارتباطات مبتنی بر خوشه بندی برای WSN مورد بررسی قرار خواهد گرفت. شبیه سازی های گسترده ای در 50 مدل WSN همگن و ناهمگن ارزیابی و با پروتکل های مبتنی بر خوشه بندی مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد

که پروتکل پیشنهادی در شرایط مختلف معیارهای عملکرد مانند مقیاس پذیری، نرخ تحویل بسته (PDR) در سرخوشه و تحویل بسته داده‌ها به BS بهتر از سایر پروتکل‌ها عمل می‌کند.

1. مقدمه

1.1. پس زمینه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) تکنولوژی قدرتمندی به همراه هزاران برنامه کاربردی می‌باشند. این نوع شبکه‌ها به تکنولوژی مهمی در تشخیص کاربردهایی شامل کاربردهای پایش (مانیتورینگ) پدیده‌ها و کاربردهای پردازش داده‌های سنگین مثل عملیات ارتشی و مانیتورینگ محیط‌های حساس و سیستم‌های surveillance تبدیل شده‌اند. هر WSN شامل ده‌ها تا هزاران گره حسگر است که از طریق کانال‌های بی‌سیم برای share کردن اطلاعات و پردازش‌های همکار (Yu et al., 2006) ارتباط برقرار می‌کنند. همواره، گره‌ها در مناطق وسیع به شکل ایستا قرار داده می‌شوند. به هر حال، این گره‌ها می‌توانند موبایل بوده و یا در محیط حرکت داشته باشند. گره‌های WSN می‌توانند محیط را حس کنند و با گره‌های همسایه ارتباط داشته باشند و در اغلب موارد محاسبات اساسی را بر روی داده‌های جمع‌آوری شده اجرا کنند (Zungeru et al., 2012; Akkaya and Younis, 2005). این ویژگی‌ها WSN را به انتخابی خوب در کاربردهای مانیتورینگ محیط، محیط حساس ارتشی، جستجو و تفتیش و مانیتورینگ ساختمان برای ایمن بودن زیرساخت یا ایمنی بدن انسان با مانیتورینگ بیماری می‌کند (Yu et al., 2006).

فاکتورهایی بر روی طراحی و عملیات انجام‌شده توسط WSN ها تأثیر دارد. این فاکتورها شامل بهره‌وری انرژی و آگاهی، نگهداری ارتباطات، محدودیت استفاده از منابع، تأخیر کم، پوشش شبکه و تعادل بار در انرژی استفاده‌شده به وسیله گره‌های حسگر است. به دلیل این ویژگی‌ها، وظیفه انتخاب یا ارایه الگوریتم مسیریابی جدید یا الگوریتم ارتباطی برای کاربردهای خاص WSN ها چالش برانگیز است (Dwivedi and Vays, 2010).

با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی در WSN ها می‌تواند به حل برخی از نگرانی‌ها کمک کند. این کمک می‌تواند به وسیله سازمان‌دهی گره‌های شبکه در خوشه‌های کوچک و انتخاب یک سرخوشه (CH) مناسب باشد. گره‌های حسگر در هر خوشه، داده‌های خود را به ایستگاه پایه خاصی ارسال می‌کنند (BS) (Abbasi and Younis, 2007). در حقیقت فقط سرخوشه، ارتباط بین اطلاعات درونی و بیرونی خوشه را برقرار می‌سازد و سایر گره‌ها ارتباطی با گره‌های سایر خوشه‌ها ندارند (Arboleda and Nasser, 2006).

هنگامی که WSN ها به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند، ارتباط بین گره‌ها می‌تواند به صورت Inter-cluster یا intra-cluster باشد. ارتباطات intra-cluster شامل تغییر داده‌ها بین اعضای گره‌ها و سر خوشه‌های مربوطه است. ارتباطات inter-cluster شامل انتقال داده بین سر خوشه‌ها یا بین سرخوشه و ایستگاه پایه است.

فرآیندی که به وسیله آن داده‌ها به طور کارا بین سر خوشه‌ها و ایستگاه‌های پایه فرستاده می‌شوند (ارتباطات inter-cluster) یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها و ویژگی‌های WSN است. یک روش ساده برای انجام این کار، این است که هر سرخوشه، داده‌ها را به طور مستقیم (رویکرد مبتنی بر تک گام) با ایستگاه‌های پایه ارسال کند، یا به گره‌های میانی اجازه دهد تا در ارسال بسته‌های داده بین سرخوشه و ایستگاه پایه (رویکرد مبتنی بر چند گام) شرکت کنند (Zungeru et al., 2012). به هر حال، در هر WSN، گره‌های منفرد ارتباطات محدودی در قالب یک شبکه ad-hoc بر روی یک رسانه بی‌سیم دارند. علاوه بر این، ایستگاه‌های کاری، همواره دورتر از منطقه سنجش قرار دارند و غالباً به طور مستقیم به تمام نقاط دسترسی ندارند. گره‌ها با توجه به محدوده ارتباط محدود، دارای مشکلاتی در انتشار سیگنال هستند. یک رویکرد واقع‌بینانه استفاده از یک یا چند گام درون خوشه برای ایجاد ارتباط است. برای ارتباط قابل اطمینان بین داده‌ها، هر دو بسته داده نیاز به کنترل و استفاده از مدل ارتباطی چند گامی دارند (Saleem et al., 2011).

هدف خوشه‌بندی، جستجو بین یک گروه از سنسورها نودها برای یافتن مجموعه‌ای از گره‌ها است که می‌توانند به عنوان سرخوشه عمل کنند. برای یک توپولوژی شبکه داده‌شده، یافتن مجموعه بهینه از گره‌های سرخوشه مشکل است. برای N گره حسگر، $2^N - 1$ ترکیب متفاوت وجود دارد، که هر گره حسگر می‌تواند به عنوان سرخوشه یا CH

انتخاب گردد تا انتخاب نگردد. این به عنوان یک مسئله چندجمله‌ای (NP) شناخته شده است. به این معنی که پاسخی برای این نوع مسائل در زمان چندجمله‌ای وجود ندارد (Agarwal and Procopiuc, 2002).

تابع اصلی الگوریتم مسیریابی انتخاب مسیر از مجموعه مسیرهای موجود است که غالباً براساس برخی معیارهای محدود می‌باشد. وقتی که یکی از بهینه‌ترین مجموعه‌های انتخاب سرخوشه در فاز خوشه‌بندی انتخاب می‌گردد، گام بعدی یافتن مسیر بهینه درختی از سرخوشه تا BS است، اگرچه کمینه کردن هزینه کلی درخت مدنظر است. این مورد نیز به عنوان یک مسئله NP شناخته شده است (Dorigo et al., 2006). بنابراین، الگوریتم‌های چندجمله‌ای به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالا در سی ستم‌های ارتباطی زمان واقعی در زمان چندجمله‌ای قابل حل نمی‌باشند.

راه‌حل‌های NP-hard شامل جستجو در فضاهای گسترده می‌باشد. روش هوشمند ازدحامی نیز موفقیت بسیاری را در این گونه مسائل به دست آورده است.

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بر اساس روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد. الگوریتم PSO مزایای زیادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها مثل الگوریتم ژنتیک که دارای مراحل پردازشی بالایی است، دارد (Guo and Zhang, 2014). مزایای PSO شامل سهولت پیاده‌سازی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. همچنین کیفیت بالا داشته و توانایی عبور از نقاط بهینه محلی و یافتن نقطه بهینه سراسری را دارا می‌باشد (Kulkarni and Venayagamoorthy, 2011; del Valle et al., 2008). از آنجا که حل مسائل NP مشکل بوده و الگوریتم PSO در حل آن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین PSO برای انتخاب CH به وسیله پروتکل خوشه تمرکز انتخاب شد. بنابراین، الگوریتم بهینه‌سازی ساده دارای بهره‌وری شبکه‌ی بیشتری است. این‌ها دلایلی برای انتخاب الگوریتم PSO برای خوشه‌بندی WSN ها هستند.

1.2. اظهار نظر نویسندگان

در این مقاله، ابتدا، ما دو فرموله بندی برنامه‌نویسی خطی (LP) برای خوشه‌بندی و مسئله مسیریابی ارائه می‌کنیم. سپس، دو پروتکل مبتنی بر PSO مسئله‌ی انتخاب CH که در بالا ارائه شد را به وسیله انتخاب گره‌هایی با انرژی بالا، پوشش شبکه و قابلیت اطمینان در انتقال شبکه به عنوان سرخوشه حل می‌کنند.

پس، پروتکل مسیریابی مبتنی بر PSO، بهینه‌ترین مسیر درختی را انتخاب که CH ها و BS ها را به هم متصل می‌کنند، انتخاب می‌کنند. برای مسیریابی، ذرات، هوشمندانه کدگذاری می‌شوند تا کامل‌ترین مسیر درختی را بیابند. تابع fitness متفاوتی نیز برای ایجاد تعادل بین کارایی انرژی و کیفیت لینک درخت ساخته شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

علاوه بر این، ما پروتکل تنظیمات شبکه واقعی را توسعه داده‌ایم. هیچ فرضیاتی درباره مکان گره‌ها یا محدوده انتقال آن‌ها وجود ندارد. پروتکل با استفاده از مدل انرژی مصرفی واقعی و براساس ویژگی‌های فرستنده و گیرنده رادیویی مورد آزمایش قرار گرفت. شبیه‌سازی گسترده‌ای در 90 مدل همگن و ناهمگن شبکه‌های WSN ارزیابی و در برابر 7 پروتکل موجود با استفاده از معیارهای عملکرد متوسط مصرف انرژی، نرخ تحویل بسته (PDR)، توان و پوشش و پوشیدگی شبکه مقایسه گردید. اهداف اصلی ما در این مقاله می‌تواند به صورت زیر خلاصه گردند:

- ارائه دو فرموله بندی PSO برای مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی
- ارائه پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر PSO با تعادل بین بهره‌وری انرژی و پوشش شبکه و قابلیت اطمینان انتقال
- پروتکل مسیریابی مبتنی بر PSO با رمزگذاری ذرات برای حل مشکل و یافتن درخت مسیریابی کامل و همچنین توابع هدف مناسب
- بررسی نتیجه استفاده از تنظیمان شبکه و نداشتن فرضیاتی در مورد مکان گره‌ها
- بررسی تأثیر انرژی مصرفی و ارتباط آن با خوشه‌بندی برای WSN ها
- شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی برای نشان دادن عملکرد آن در برابر برخی پروتکل‌های موجود همگن و ناهمگن دیگر.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان دهی شده است. بخش 2 راه کارهای پیشین در مورد پروتکل های خوشه بندی را بررسی می کند. بخش 3، یک مرور کلی از الگوریتم بهینه سازی ذرات را ارائه می دهد. مدل سیستم در بخش 4 نشان داده شده است. در بخش 5، ما فرموله بندی LP خود را برای دسته بندی مشکلات مسیریابی ارائه کرده ایم. بخش 6، جزئیاتی را در مورد پروتکل ارائه می دهد. در بخش 7، ما نتایج آزمایش ها را آورده ایم. بخش 8، شامل نتیجه گیری و تعدادی کار آتی می باشد.

2. راه کارهای پیشین

روش های خوشه بندی به طور گسترده به منظور بهبود عملکرد WSN ها مورد مطالعه قرار گرفته است (Tyagi and Kumar, 2013; Younis et al., 2006; Abbasi and Younis, 2007). ما تعدادی از راه کارهای پیشین را بر اساس روش های اکتشافی و فرا اکتشافی مورد بررسی قرار داده ایم.

2.1. روش های اکتشافی

خوشه بندی سلسله مراتبی انرژی پایین (LEACH) () یکی از اغلب الگوریتم های مسیریابی مبتنی بر خوشه بندی توزیع شده در WSN ها است که روش هایی تأثیرگذار در طول عمر شبکه می باشند. هر گره، از یک الگوریتم تصادفی در هر دور برای تعیین اینکه آیا در این دور باید به عنوان یک CH باشد یا خیر، استفاده می کند. گره هایی که به عنوان CH بودند، مجدداً نمی توانند در دور P به عنوان CH انتخاب گردند و P درصد مورد نیاز برای ایجاد سرخوشه است. بنابراین، هر نود دارای احتمالی برابر با $1/P$ است که به عنوان سرخوشه در هر دور انتخاب گردد. CH ها، بدون بررسی انرژی باقیمانده یا ویژگی های دیگر انتخاب می شوند. این مکانیزم تصادفی در انتخاب سرخوشه ها، توزیع خوشه ها در شبکه را تضمین نمی کند (Arboleda and Nasser, 2006).

خوشه بندی توزیع شده هیبریدی (HEED) (Younis and Fahmy, 2004) پروتکل خوشه بندی دیگری است که از روش LEACH به دست آمده است. تشکیل خوشه بندی با یک روش تکراری می باشد. انتخاب سرخوشه در این

پروتکل براساس انرژی هر گره می‌باشد. برای افزایش بهره‌وری انرژی و افزایش طول عمر شبکه، یک پارامتر خوشه‌بندی ثانویه با نام "هزینه‌های ارتباطی" معرفی شده است که می‌تواند عملکرد نزدیکی همسایه‌ها و تراکم خوشه‌ها را بررسی نماید. اهداف اصلی HEED، توزیع مصرف انرژی در طول عمر شبکه و به حداقل رساندن انرژی در طول عمر و کاهش سربار کنترل شبکه می‌باشد. بهبود LEACH این است که HEED می‌تواند به طور مساوی در منطقه حاوی سر خوشه‌ها توزیع گردد.

طرح خوشه‌بندی مبتنی بر بهره‌وری انرژی (EECS) (Ye et al., 2005) یک پروتکل توزیع‌شده غیرتکراری خوشه‌بندی است. EECS الگوریتم LEACH را به وسیله تغییر اندازه خوشه‌ها براساس فاصله خوشه از ایستگاه پایه، توسعه می‌دهد. برخلاف LEACH، سرخوشه به وسیله رقابت محلی و بدون تکرار مراحل انتخاب می‌شود و این امر باعث تفاوت آن با LEACH شده است. این رقابت منجر به این می‌شود که تمامی کاندیداها، انرژی باقی‌مانده خود را به همسایگان خود ارسال همه پراکن می‌کنند. اگر یک گره نتواند گره دیگری را با انرژی باقیمانده بیشتر بیابد، آن به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد. به هر حال، پروتکل EECS ویژگی‌های ساختاری توپولوژی شبکه را بررسی نمی‌کند و بنابراین سر خوشه‌ها براساس انتخاب انرژی خواهند بود. علاوه بر این، مجموعه‌ی گره‌های کاندید در رقابت به طور تصادفی قبل از شروع رقابت انتخاب می‌شوند، در نتیجه این مورد به عنوان انتخاب سرخوشه غیر بهینه شهرت دارد. درحالی‌که طرح‌های بالا به عنوان شبکه‌های بی‌سیم همگن طبقه‌بندی می‌شوند. چندین طرح دیگر در دسته ناهمگن که در آن انرژی دارای عدم تجانس و ناهمگن می‌باشد، بررسی شده است.

Kumar et al. (2009)، یک طرح خوشه‌بندی همگن و دارای کارایی انرژی را برای wSN ها (EEHC) برای مطالعه تأثیر ناهمگنی گره‌ها در میزان مصرف انرژی در شبکه‌های خوشه‌بندی ارائه کردند. آن‌ها فرض کردند که درصد جمعیت گره‌های حسگر برابر با انرژی مصرفی گره‌های موجود در شبکه است. سه نوع از سنسور نودها با سطح انرژی متفاوتی مورد استفاده قرار گرفتند. گره‌ها در مرحله اول به عنوان گره‌های استاندارد شناخته می‌شوند. در سطح دوم، گره‌ها، به عنوان گره‌های پیشرفته و در سطح سوم به عنوان سوپر رگه‌ها شناخته می‌شوند. آن‌ها نشان می‌دهند که

چطور فرآیند انتخاب سرخوشه باید به صورت مناسبی انجام گیرد، وقتی با شبکه‌های ناهمگن کار می‌کنند. احتمال انتخاب سرخوشه‌ها توسط انرژی اولیه و وزن هر گره نسبت به دیگر گره‌ها در شبکه می‌باشد.

مانند EEHC، پروتکل LEACH ناهمگن پیشرفته، برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم (EHE-) (LEACH) (Tyagi et al., 2013) در انتخاب CH در شبکه‌های ناهمگن کارهایی را انجام می‌دهد که دارای دو تفاوت اساسی با حالت همگن می‌باشد. اولاً، نویسنده، دو سطح برای نودهای ناهمگن در نظر می‌گیرد، گره‌ها در زیر سطح اول به عنوان گره‌های نرمال و استاندارد شناخته می‌شوند و گره‌ها در سطح دوم به عنوان گره‌های پیشرفته می‌باشند. دوماً، یک آستانه فاصله ثابت توسط هر گره برای ارتباط مستقیم بین BSها و خوشه‌ها انتخاب می‌شود. گره‌های حسگر که در نزدیکی BS باشند، داده‌های خود را به طور مستقیم به BSها ارسال می‌کنند و کسانی که دورتر از BS هستند، از ارتباطات مبتنی بر خوشه‌بندی استفاده می‌کنند.

کومار (2014) دو پروتکل توزیع‌شده ارائه کرد، پروتکل خوشه‌بندی کارای انرژی تک گامه (S-EECP) و پروتکل خوشه‌بندی کارای انرژی چندگامه (M-EECP). او همچنین با گره‌ها به صورت گره‌های همگن رفتار کرد. S-EECP از وزن یکسانی با احتمال موجود در EEHC استفاده می‌کند و دارای سه نوع سطح گره یکسان با آن است. به هر حال، آن‌ها انرژی گره‌ها را محاسبه کرده و در احتمال وزن آن‌ها دخالت می‌دهند. آن‌ها مشاهده کردند که در ارتباطات تک گامه که بسته‌های داده به طور مستقیم به BSها بدون وابستگی به سایر گره‌ها منتقل می‌شوند. گره‌هایی که دورتر از BS قرار می‌گیرند، دارای انرژی مصرفی بیشتری هستند، زیرا برای انتقال بسته‌ها، باید مسیر بیشتری را طی کنند و این گره‌ها، ممکن است در مراحل اولیه بمیرند. آن‌ها این مسئله را در M-EECP به وسیله استفاده از ارتباطات چندگامه با BSها حل کردند. M-EECP از یک روش حریصانه برای حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر منفرد استفاده می‌کند تا کوتاه‌ترین مسیر را از هر CH تا BS بیابد. اگرچه، S-EECP، در بهره‌وری انرژی، از EEHC پیشی گرفته است، فرضیات بر این اصل استوار است که هر گره، سطح انرژی تمام گره‌های دیگر را می‌داند. علاوه بر این، M-EECP از مسئله S-EECP و فرضیات اینکه مکان گره‌ها از قبل مشخص نیست، بهره می‌گیرد.

2.2. روش‌های فرا اکتشافی

حالت متمرکز LEACH (LEACH-C) () ورژن متمرکز LEACH است. برخلاف LEACH، که در آن گره‌ها خود سازمان ده هستند، LEACH-C از BSها برای تشکیل خوشه‌بندی استفاده می‌کند. در ابتدا، هر گره، اطلاعات خود را (محل و سطح انرژی) به BSها ارسال می‌کند که از این اطلاعات در آینده استفاده خواهند کرد تا یک روش شبیه‌سازی حرارت (SA) تعیین کنند تا بتوانند تعداد از پیش تعیین شده CHها و پیکربندی شبکه را در هر خوشه بیابند. خوشه‌ها باهدف ای کمینه کردن انرژی مورد نیاز برای گره‌های غیر سرخوشه سعی می‌کنند تا با روش‌هایی به آن‌ها کمک نمایند تا اطلاعاتشان را به سر خوشه‌های خود ارسال کنند. LEACH-C دارای نتایج بهتری از LEACH در مورد نرخ تحویل بسته‌ها و انرژی مصرفی است.

پروتکل متعادل کننده انرژی خوشه‌ها (EBUC) (Jiang et al., 2010) یک پروتکل خوشه‌بندی متمرکز است که سعی در حل مسئله نقاط داغ به وسیله ایجاد خوشه‌های نابرابر با استفاده از الگوریتم PSO دارد. خوشه‌ها به گونه‌ای ایجاد می‌شوند که نزدیک هر BS، تعداد کمی گره وجود دارد و رفته‌رفته این تعداد بیشتر می‌شود. برای ارتباطات inter-cluster، CH از الگوریتم حریصانه برای انتخاب گره‌ها براساس انرژی مصرفی و فاصله از BS استفاده شده است.

هر خوشه‌بندی آگاه از انرژی برای WSNها از الگوریتم PSO (PSO-C) که یک پروتکل خوشه‌بندی متمرکز است و توسط LAttiff et al (2007) ارائه شده است، استفاده می‌کنند. آن، هر دو انرژی موجود در هر گره و فاصله فیزیکی گره تا سرخوشه خود را بررسی می‌کنند. این پروتکل، یک تابع هدف تعریف می‌کند که هدف این تابع کمینه کردن هر دو حداکثر فاصله اقلیدسی گره‌ها و سرخوشه آن‌ها و نرخ انرژی اولیه تمام گره‌ها می‌باشد. همچنین این پروتکل، تضمین می‌کند که با انرژی کافی می‌تواند سر خوشه‌ها را بیابد. الگوریتم PSO-C از هر دو LEACH و LEATCH-C در طول عمر شبکه و همچنین توان شبکه پیشی گرفته است. نویسندگان Abdul Latiff et al (2007) نشان دادند که PSO-C، از الگوریتم GA و پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر K-means در زمان مصرفی و طول عمر شبکه و تحویل داده پیشی گرفته است.

یک پروتکل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GA) که به وسیله Rahmanian et al (2011) ارائه شده است، تلاش در یافتن بهینه‌ترین CH ها برای کاهش قطر کلی شبکه دارند. تابع هدف به صورت کمینه کردن کل فاصله‌ها بین اعضای هر خوشه می‌باشد. علاوه بر این سعی در کاهش فاصله بین سر خوشه‌ها و BS ها نیز دارد. اما PSO-C تأیید می‌کند که صرفاً گره‌هایی با انرژی بالا می‌توانند به عنوان سرخوشه انتخاب شوند.

یک پروتکل مسیریابی تکاملی آگاه از انرژی (EIGRP) توسط Khalil and attea (2011) ارائه شده است. یک پروتکل خوشه‌بندی تک گامه متمرکز برای زمانی که BS ها یک پروتکل تکاملی برای بهینه‌سازی انتخاب CH در تشکیل خوشه، ارائه شده است. تابع هدف به صورت یک تابع کمینه سازی کل انرژی شبکه ارائه شده است و مجموع کلی انرژی تلف شده از غیر خوشه‌ها در ارسال سیگنال به سرخوشه خود و کل انرژی مصرفی توسط گره CH محاسبه شده و در محاسبات دخالت داده می‌شوند. پروتکل از مدل انرژی مصرفی ارائه شده توسط Heinzelman et al (2002) برای محاسبه انرژی تلف شده در طول فرآیند داده استفاده کرده است.

Kuila et al (2013) یک پروتکل مبتنی بر GA برای حل مسئله تعادل CH ها ارائه دادند. پروتکل، خوشه‌هایی را به منظور کمینه کردن، بیشینه بار هر CH تشکیل می‌دهد. در این پروتکل، CH ها بر اساس اولویت تعیین می‌شوند و توابع پروتکل با قرار دادن بهینه‌ترین CH ها به عنوان سرخوشه تعیین می‌شوند. تابع هدف به صورت کمینه سازی انحراف استاندارد بار CH از بار هر خوشه تعریف می‌شوند.

علاوه بر این، براساس مسائلی که قبلاً ذکر شدند و دانش قبلی ما، تمام پروتکل‌های خوشه‌بندی ارائه شده از مدل انرژی مصرفی ارائه شده در Heinzelman et al (2002) استفاده می‌کنند. این مدل انرژی، اساساً برای مدل سازی مصرف توان رادیو در شبکه‌های بی‌سیم ارائه شده است. این مدل به انرژی مصرفی توجهی ندارد که مهم‌ترین مورد در WSN ها می‌باشد. علاوه بر این، اغلب پروتکل‌های ارائه شده آگاه از انرژی یا مبتنی بر کیفیت لینک، فرض می‌کنند که هر نود با سخت‌افزار موجود در مکان خود به عنوان GPS مجهز شده است. هر چند این یک راه حل ساده و تأثیرگذار است، هزینه ناشی از ارائه چنین راه‌حلی، غیر واقعی و غیر کافی است (Molina and Alba, 2011). علاوه بر این، مطالعات

متعددی نشان می‌دهد که کیفیت لینک در WSN ارتباطی بافاصله ندارد (Srinivasan et al., 2006, 2010; Baccour et al., 2012; Srinivasan and Levis, 2006).

جدول 1 تفاوت عمده بین پروتکل ارائه‌شده و کارهای پیشین را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

3. بررسی اجمالی بهینه‌سازی ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، یک روش بهینه‌سازی تصادفی مبتنی بر جمعیت است که توسط Kennedy and Eberhart (1995) ارائه‌شده است و از رفتار اجتماعی پرندگان الهام گرفته است. تا به حال، سه استاندارد PSO به نام های PSO2006، 2007 و 2011 ارائه‌شده است. تمامی این روش‌های ارائه‌شده، مفهوم یکسانی دارند. با این حال، آن‌ها تفاوت‌های اندکی نیز دارند.

در این مقاله، ما از آخرین ورژن PSO (PSO-2011) استفاده کرده‌ایم. ثابت شده است که PSO-2011 دارای عملکرد فوق‌العاده‌ای است و می‌تواند تمام نواحی جستجو را پوشش دهد (Zambrano-Bigiarini et al., 2013). PSO پایه، شامل گروهی از راه‌حل‌های بالقوه به عنوان ذرات است که از طریق یک محور یک بعدی در فضا ایجاد می‌شوند و با استفاده از تابع هدف ارائه‌شده، سعی در یافتن بهینه‌ترین پاسخ در فضای جستجو دارند.

در ابتدا، هر ذره i به صورت تصادفی به یک مکان X_{id} تعلق می‌گیرد و یک سرعت $V_{id}(i=1,2,\dots,S)$ با $d=(1,2,\dots,D)$ می‌گیرد. هر ذره، بهترین موقعیت شخصی خود را به عنوان $pbest_i$ یافته و آن را نگه می‌دارد و بهترین موقعیت جهانی در نهایت انتخاب می‌گردد. الگوریتم اصلی PSO در ادامه آورده شده است:

Algorithm 1. PSO algorithm.

```
1: for each particle do
2:   initialize particle
3: end for
4: while target fitness or maximum epoch is not attained do
5:   for each particle do
6:     calculate fitness
7:     if current fitness value better than (pbest) then
8:       pbest=current fitness
9:   end for
10:  set gbest to the best one among all pbest
11:  for each particle do
12:    update velocity
13:    update position
14:  end for
15: end while
```

3.1. ورژن اصلی PSO

پس از یافتن دو مقدار بهینه، ذره i ، هر دو سرعت و مکان خود را به ترتیب با استفاده از معادله (1a) و (1b) بروز می‌کند.

$$v_{id}(t+1) = w \times v_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times (pbest_i(t) - x_{id}(t)) + c_2 \times r_2 \times (gbest(t) - x_{id}(t)) \quad (1a)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (1b)$$

r_1 و r_2 ، متغیرهای تصادفی در بازه [0 و 1] هستند. c_1 و c_2 ، فاکتورهای یادگیری هستند. w وزن فاکتور برای کنترل سرعت ذره‌ها است.

3.2. الگوریتم 2011 PSO

در این روش استاندارد، پس از یافتن دو مقدار بهینه، ذره i سپس هر دو سرعت و مکان خود را به ترتیب با استفاده از معادله (2a) و (2b) بروز می‌کند.

$$v_{id}(t+1) = w \times v_{id}(t) + x'_{id}(t) - x_{id}(t) \quad (2a)$$

$$x_{id}(t+1) = w \times v_{id}(t+1) + x'_{id}(t) \quad (2b)$$

، نقطه‌ای تصادفی در مرکز G_i و شعاع $\|G_i - x_i\|$ است. G_i مرکز ثقل سه نقطه می‌باشد: موقعیت فعلی، نقطه‌ای فراتر از بهترین موقعیت قبلی و نقطه‌ای فراتر از بهترین موقعیت قبلی در همسایگان شرح مفصلی از نحوه تولید G_i محاسبه شده است و تمام این موارد در (Clerc (2012) وجود دارند.

جدول 1. تفاوت عمده پروتکل پیشنهادی و کارهای پیشین مرتبط

Clustering protocol	Clustering method	Clustering approach	Location awareness	Radio model	Network type	Clustering objective
LEACH	Distributed	Prob./Random	No	First order	Homogeneous	Rotate CH role
HEED	Distributed	Prob./Energy	No	First order	Homogeneous	Energy efficiency
EECS	Distributed	Prob./Energy	Yes	First order	Homogeneous	Load balancing
EEHC	Distributed	Prob./Energy	No	First order	Heterogeneous	Energy efficiency
EHE-LEACH	Distributed	Prob./Energy	No	First order	Heterogeneous	Energy efficiency
S-EEP	Distributed	Prob./Energy	No	First order	Heterogeneous	Energy efficiency
M-EEP	Distributed	Prob./Energy	Yes	First order	Heterogeneous	Energy efficiency
LEACH-C	Centralized	SA	Yes	First order	Homogeneous	Energy efficiency
EBUC	Centralized	PSO	Yes	First order	Homogeneous	Energy efficiency
PSO-C	Centralized	PSO	Yes	First order	Homogeneous	Energy efficiency
Rahmanian et al. (2011)	Centralized	GA	Yes	First order	Homogeneous	Energy efficiency
Kuila et al. (2013)	Centralized	GA	Yes	First order	Homogeneous	Load balancing
Khalil and Attea (2011)	Centralized	EA	Yes	First order	Homogeneous	Energy efficiency
Proposed protocol	Centralized	PSO	No	CC2420	Homogeneous Heterogeneous	Energy efficiency Link quality Network coverage

4. مدل سیستم

4.1. مدل WSN

مدل پیشنهادی ما، شامل یک شبکه WSN دولایه و N گره حسگر و K سرخوشه و یک ایستگاه پایه است. هر گره حسگر دارای یک ID منحصر به فرد و یک ایستگاه پایه با ID=0 دارد. در فرآیند تشکیل خوشه، هر گره حسگر به تنها یک خوشه تعلق دارد و هر سرخوشه، به عنوان سرخوشه ی دقیقاً یک خوشه انتخاب می شود. ما فرض می کنیم که تمام گره ها پس از استقرار ثابت هستند و مکان هر دو گره های حسگر و سر خوشه ها ناشناخته هستند. ما تراکم شبکه را در حالت های مختلف بررسی کردیم. علاوه بر این، ما هردو تنظیمات شبکه به صورت همگن و ناهمگن را نیز بررسی کردیم.

4.2. مدل مصرف انرژی

در روش پیشنهادی، یک مدل مصرف انرژی واقعی که براساس ویژگی های انتقال رادیویی Chipcon CC2420 است، استفاده شده است (Texas Instruments, 2013). کل انرژی مصرفی گره i ، E_i در ادامه محاسبه شده است: (Barberis et al., 2007)

$$E_i = \sum_{state\ j} P_{state\ j} \times t_{state\ j} + \sum E_{transitions} \quad (3)$$

ایندکس j مربوط به وضعیت انرژی گره‌ها می‌باشد: حالت خواب، دریافت داده یا انتقال. $P_{state\ j}$ توان مصرفی در وضعیت j است و $t_{state\ j}$ زمان سپری شده در وضعیت‌های مطابق با آن وضعیت است. علاوه بر آن، انرژی سپری شده در انتقال بین وضعیت‌ها، $E_{transitions}$ است و به کل انرژی مصرفی گره‌ها اضافه می‌شود. تفاوت مقادیر $P_{state\ j}$ و $E_{transitions}$ می‌تواند در Texas Instruments (2013) یافت شود.

5. تشکیل LP برای مشکل خوشه‌بندی و مسیریابی

در این بخش، ما تشکیل و یا همان فرموله بندی LP را برای خوشه‌بندی و مسئله مسیریابی در WSN ارائه می‌دهیم. ما از روش مجموع وزن دار برای ساختن مقدار تابع هدف چندهدفه در هر دو مسئله مسیریابی و خوشه‌بندی استفاده کرده‌ایم. این روش کارا و مناسب است (Konak et al., 2006) که برای اجرای WSN مناسب است. زیر بخش بعدی، مدل شبکه استفاده شده را در این مقاله با بررسی نکاتی که باید مدنظر قرار گیرند، توصیف می‌کند.

5.1. تذکرات مورد استفاده

ما در مدل خود، موارد زیر را به عنوان ورودی دریافت می‌کنیم:

- N : تعداد کل گره‌های حسگر
- K : تعداد کل سر خوشه‌ها ($K=5\% * N$).
- $InitialE(CH\ p,k)$: انرژی اولیه CH ها K در ذره P .
- $E(CHp,k)$: انرژی باقیمانده CH تا K در ذره P .
- $RSSI(ni,CHp,k)$: مقدار RSSI برای لینک از گره ni تا سرخوشه CHp,k .
- $minRSSI$: بدترین مقدار RSSI بین تمام جفت ارتباطات که معمولاً به 97 ست می‌شود.
- $|Cp,k|$: تعداد اعضای خوشه k از ذره p .

- R: تعداد کل گره‌ها در درخت مسیریابی
- C: تعداد کل سر خوشه‌های کاندید
- $RN_{p,r}$: تعداد گره‌های وابسته به r در مسیر تولیدشده از بخش p .
- R: تعداد مسیرها در درخت مسیریابی ($R=K$).
- Rn_i : گره‌های وابسته به i .
- wc_1, wc_2 و wc_3 : ضریب وزنی هر زیر تابع در تابع خوشه‌بندی اصلی.
- wr_1, wr_2 و wr_3 : ضریب وزنی هر زیر تابع در تابع مسیریابی اصلی.

5.2. تشکیل خوشه برای مشکل خوشه‌بندی

بهترین CH هایی که هزینه تابع هدف را کمینه می‌کنند انتخاب می‌گردند. هدف تابع بهینه‌سازی تأثیر ترکیبی ویژگی‌های زیر است:

5.2.1. بهره‌وری انرژی

انرژی باقیمانده از یک گره حسگر می‌تواند معیاری برای انتخاب سرخوشه باشد و این گره می‌تواند بهترین کاندید برای مدیریت خوشه و جمع‌آوری داده باشد. علاوه بر آن، انرژی مصرفی در میان تمام گره‌های حسگر توزیع شده است. BS از تابع زیر برای محاسبه سودمندی ذره p از منظر بهره‌وری انرژی استفاده می‌کند:

$$EE_p = \sum_{k=1}^K \frac{\text{initial } E(CH_{p,k})}{E(CH_{p,k})} \quad (4)$$

5.2.2. کیفیت خوشه‌ها

هدف اصلی این زیر تابع، به حداکثر رساندن کیفیت لینک بین اعضای خوشه‌ها و سر خوشه‌های مربوطه به منظور به حداکثر رساندن نسبت پذیرش بسته (PRR) است. یک شاخص اصلی در کیفیت لینک RSSI است که سیگنال RF را دریافت می‌کند. RSSI در فرستنده و گیرنده، برای اندازه‌گیری کیفیت لینک ثبت‌نام می‌کند.

مطالعات متعددی ثابت کرده است که RSSI می‌تواند، برآورد دقیقی از کیفیت لینک فراهم کند (Baccour et al., 2006; Srinivasan et al., 2010; Srinivasan and Levis, 2006; Srinivasan et al., 2006, 2010). نویسندگان، آزمایش‌ها تجربی برای بررسی عملکرد تحویل بسته انجام دادند. آن‌ها دریافتند که ارتباط قوی بین RSSI و نسبت پذیرش بسته (PRR) وجود دارد. به علاوه، آن‌ها ثابت کردند که اگر RSSI یک لینک برابر با 87 dBm یا قوی‌تر باشد، آن لینک تقریباً در یک مجموعه کامل بوده و PRR 99 درصد دارد. در زیر این مقدار، یک تغییر RSSI کوچک به عنوان 2 dBm را می‌توانید ببینید (Srinivasan et al., 2010).

کیفیت لینک بین خوشه‌ها n و سرخوشه k در ذره p می‌تواند با استفاده از فرمول زیر (5) محاسبه گردد:

$$LQ_{(n_i, CH_{p,k})} = \frac{RSSI(n_i, CH_{p,k})}{\min RSSI} \quad (5)$$

مقدار بالای LQ، نشانگر بدترین کیفیت لینک است. برای بیشینه کردن کیفیت خوشه‌بندی در کیفیت لینک، ما نیاز داریم تا بدترین کیفیت خوشه را کمینه کنیم. بنابراین، زیر تابع زیر (6) باید کمینه شود:

$$CQ_p = \max_{k=1,2,\dots,K} \frac{\sum_{\forall n_i \in C_{p,k}} LQ_{(n_i, CH_{p,k})}}{|C_{p,k}|} \quad (6)$$

5.2.3. پوشش شبکه

خوشه‌بندی به گره‌ها اجازه می‌دهد تا اطلاعات محلی خود را با همدیگر به اشتراک بگذارند تا به اهداف جمعی خود، همانند مقیاس‌پذیری و بهره‌وری از منابع برسند (Tubaishat and Madria, 2003). به طور کلی، مقیاس‌پذیری به منظور ظرفیت سیستم در افزایش کار مفید است (Lee et al., 1998).

به منظور افزایش مقیاس پذیری پروتکل، ما باید پوشش شبکه را افزایش دهیم. به عنوان مثال، باید تعداد خوشه‌ها کاهش یابد. بدین منظور پروتکل برای به حداقل رساندن تعداد خوشه‌ها تلاش می‌کند. این مورد می‌تواند توسط کمینه سازی دو زیر تابع زیر انجام شود:

$$NC_p = \frac{N - \sum_{k=1}^K |C_{p,k}|}{\sum_{k=1}^K |C_{p,k}|} \quad (7)$$

After calculating the previous sub-objectives, the final objective function that needs to be minimized is

$$C_p = wc_1 \times EE_p + wc_2 \times CQ_p + wc_3 \times NC_p \quad (8)$$

5.3. تشکیل LP برای مشکل مسیریابی

درخت مسیریابی بهینه با کمینه سازی هزینه تابع هدف انتخاب می‌شود. هدف تابع، بهینه‌سازی تأثیر ترکیبی ویژگی‌های زیر است:

5.3.1. کارایی انرژی

به منظور دستیابی به درخت مسیریابی بهینه، دو زیر تابع باید بررسی شوند:

(1) ذخیره انرژی: گره‌های حسگر کمتری نیاز به فعال بودن در طول هر دور دارند. برای رسیدن به این مورد، پروتکل نیازی به حداقل رساندن تعداد گره‌ها ندارد. این به حداقل رسانی توسط تابع زیر انجام می‌شود:

$$EE(a)_p = \frac{R}{C} \quad (9)$$

(2) متعادل کردن مصرف انرژی: گره‌های وابسته با سطوح انرژی بالاتر، کاندیدهای بهتری برای مسیریابی درختی هستند. تابع زیر برای متعادل کردن انرژی مصرفی بین تمام گره‌ها در مسیریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$EE(b)_p = \frac{\sum_{i=1}^N E(n_i)}{\sum_{r=1}^R E(RN_{p,r})} \quad (10)$$

5.3.2. کیفیت لینک

برای بیشینه کردن PRR، پروتکل باید کیفیت لینک بین گره‌های وابسته در مسیریابی درختی را بیشینه کند. تابع هدف زیر، بدترین کیفیت لینک بین تمام بخش‌ها در درخت مسیریابی را کمینه می‌کند.

$$LQ_p = \max_{b=1,2,\dots,R} \sum_{\forall r_i \in r} \frac{RSSI(rn_i, rn_{i+1})}{\min RSSI} \quad (11)$$

After calculating the previous sub-objectives, the final objective function that needs to be minimized is

$$R_p = wr_1 \times EE(a)_p + wr_2 \times EE(b)_p + wr_3 \times LQ_p \quad (12)$$

6. پروتکل پیشنهادی

در این مقاله، یک پروتکل دولایه PSO متمرکز برای حل مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی در WSN ارائه شده است. پروتکل با نام TPSO-CR نام‌گذاری شده است. حرف T در ابتدای این نام‌گذاری به معنای دو لایه بودن آن است. در TPSO-CR، زمان عملیاتی شبکه به دور تقسیم شده است. هر دور (راند)، شامل دو فاز است، فاز تنظیم و فاز حالت پایدار. در مرحله راه‌اندازی، شبکه پیکربندی می‌گردد. BS بهترین مجموعه CH و گره‌های وابسته را خواهد یافت. فاز تنظیم شامل گام‌های زیر است:

1. کشف همسایه: در این گام، هر گره حسگر در شبکه، یک پیام Hello که شامل ID گره است، به همه ارسال می‌کند. هر گره که این پیام را دریافت کند، جدول همسایگی خود را با نام ID گره دریافتی، بروز می‌کند.
2. کنترل پخش اطلاعات: TPSO-CR از روش سیل‌آسا برای انتقال داده‌های کنترلی به BS ها استفاده می‌کند. پس از کشف همسایه‌ها به وسیله تمام گره‌های حسگر، هر گره داده‌های زیر را به سمت همسایگان خود ارسال همه پراکن می‌کند: ID، انرژی باقیمانده و داده‌های جدول همسایه. هر گره‌ای که این اطلاعات را دریافت کند، آن را تا رسیدن این اطلاعات به دست ایستگاه کاری، مجدداً ارسال می‌کند.
3. پیکربندی شبکه: پس از گذر مدت زمانی معقول و وقتی که BS تمام بسته‌های کنترلی را از گره‌های شبکه دریافت می‌کند. BS شروع به پیکربندی شبکه می‌کند. به همین دلیل، BS از یک الگوریتم PSO دو لایه استفاده می‌کند.

اولین لایه مسئول یافتن مجموعه بهینه از CH ها و ارتباط آن‌ها با اعضای خوشه می‌باشد. دومین لایه، مسئول یافتن مسیر بهینه از CH ها تا BS است. الگوریتم خوشه‌بندی و مسیریابی با جزئیات در بخش 6.1 و 6.2 توضیح داده شده است.

4. پیکربندی همه پراکنی: پس از اتمام پیکربندی BS ها، BS مجدداً برای بررسی تمامی گره‌ها، پیکربندی می‌شود. این، یک بسته شامل اطلاعات پیکربندی را همه پراکن می‌کند. هر گرهی که این اطلاعات را دریافت کند، وضعیت CH را تغییر می‌دهد. هر عضو خوشه، اطلاعات خود را مطابق با CH خود و زمان‌بندی TDMA بروز می‌کند. هر گره وابسته، گام بعدی خود تا BS را بروز می‌کند.

در مرحله حالت پایدار، هر گره غیر از CH، با استفاده از TDMA، برنامه انتقال داده‌های خود را به CH مربوطه ارسال می‌کند. هنگامی که یک CH، این اطلاعات را دریافت کرد، آن را با استفاده از گره مرتبط بعدی، به گره‌های دیگر منتقل می‌کند. هنگامی که نود غیر CH، انتقال داده را تمام کرد، وضعیت خواب را فراخوانده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

پروتکل TPSO-CR پیشنهادی، یک گره پیشنهادی u را که در ادامه نشان داده شده است، اجرا می‌کند.

Algorithm 2. TPSO-CR algorithm.

```
procedure STATRUP()
  setTimer(START – ROUND, 0.0);
end procedure
procedure TIMERFIREDCALLBACK (index)
  switch index do
    case START – ROUND :
      double timer = uniform(0.0, r);
      setTimer(FIND – NBRS, timer);
      setTimer(BROADCAST – INFO, r);
      if isBS setTimer(RUN – PSO, n);
      else setTimer(RUN – STEADY – PHASE, m);
      roundNumber + +;
      setTimer(START – ROUND, roundLength);
    case FIND – NBRS :
      broadcast (ID);
    case BROADCAST – INFO :
      broadcast (ID, residual Energy, Neighbors'
IDs and their RSSI);
    case RUN – PSO :
      optimalCHs = runFirstPSO (NetworkInfo);    ▶ run first tier
      optimalRoutingTree = runSecondPSO (optimalCHs, NetworkInfo); ▶ run second tier
      broadcast(configuration = optimalCHs + optimalRoutingTree);
    case RUN – STEADY – PHASE :
      if (!isCH || !isCM || !isRelayNode) then setStateSleep();
      if (isCH) then
        clusterLength = clusterMembers.size();
        setTimer(START – SLOT, clusterLength × slotLength);
      else
        if (!isRelayNode) then setStateSleep()
        setTimer(START – SLOT, myTDMAturn × slotLength);
    case START – SLOT :
      setTimer(START – SLOT, clusterLength × slotLength);
      if (isCH) then
        aggregatePackets();    ▶ aggregate packets
        processBufferedPackets();    ▶ send packets to next hop
      else
        ▶ a cluster member
        processBufferedPackets();    ▶ send packets to CH
        setTimer(END – SLOT, slotLength);    ▶ go to sleep mode at end of slot
    case END – SLOT :
      if (!isCH || !isCM || !isRelayNode) then setStateSleep();
  end procedure
```

6.1. الگوریتم خوشه‌بندی

بر اساس اطلاعات که BS دریافت می‌کند، BS میانگین سطح انرژی تمامی گره‌ها را محاسبه می‌کند. تنها گره‌هایی با سطح انرژی بالاتر از میانگین، به منظور کاندید شدن در CH قانونی هستند (البته در این دور). این کار ادامه می‌یابد تا تنها یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب گردد. در ادامه، BS، اولین لایه از TPSO-CR را برای یافتن k تا بهترین CH، اجرا می‌کند.

6.1.1. مقداردهی اولیه ذرات

ابعاد ذره یکسان با تعداد گره‌های CH (مثل K) در شبکه است. اگر $P_i = [X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}, \dots, X_{i,k}]$ ، i امین ذره جمعیت باشد که هر مؤلفه $X_{i,d}$ نشان‌دهنده تعداد d عدد CH در ذره i است. هر مؤلفه با یک عدد توزیع شده رندوم مقداردهی اولیه می‌شود [1] و سائز شبکه -1].

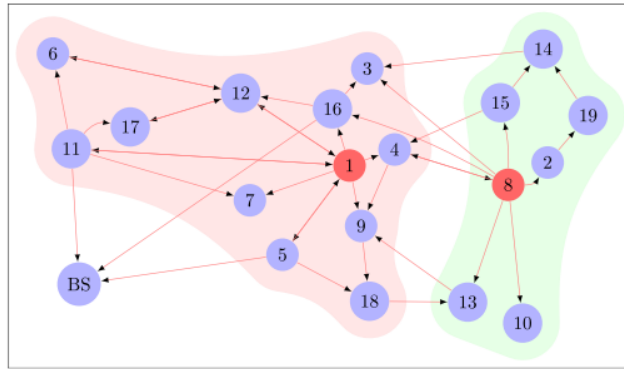
لازم به ذکر است که مقداردهی اولیه‌ی تصادفی و بروز رسانی سرعت (1a)، یک مقدار غیر صحیح سرعت را به نزدیک‌ترین عدد صحیح تبدیل کرده و استفاده می‌کند. در این مورد، هر ذره‌ی تولیدشده، ID خود را تکرار می‌کند تا بروز رسانی انجام شود. این مورد با افزودن یک تابع جریمه بزرگ قابل انجام است.

تصویر 6.1: بررسی یک WSN با 60 گره حسگر و 3 CH (60*5%). بنابراین، ابعاد ذرات با تعداد CHها برابر است. مثل $k=3$.

حالا، برای هر $X_{i,d}$ ، $1 \leq d \leq 3$ ، ذره P_i ، برای مقداردهی اولیه، یک مقدار تصادفی انتخاب می‌کند. فرض کنید که هر $P_i = [31.2, 20.8, 9.4]$ ، به صورت تصادفی ایجاد گردد. مؤلفه‌های دوم این ذرات $X_{i,d} = 20.8$ خواهد بود و سپس دومین CH دارای $ID = [20.8] = 20$ خواهد بود. بنابراین، کاندیدای CH در بین این مجموعه، 31.20 و 9 است. حالا، ذره دیگری را به صورت $P_j = [31.2, 31.8, 9.4]$ در نظر بگیرید. کاندیداهای CH، 31 یا 31 و 9 هستند. بنابراین، یک تکرار در ذره 31 وجود دارد. پس این ذره برای بررسی‌های آینده، یک مقدار جریمه دریافت خواهد کرد.

6.1.2. ارزیابی ذرات

گام بعدی پس از مقداردهی اولیه، ارزیابی آن‌ها مطابق با برخی توابع سودمندی است. این تابع برای بروز رسانی دوره‌ای بهترین کلی و محلی کاربرد دارد. برای ارزیابی، ما از تابع تعریف‌شده در (8) استفاده کردیم.



شکل 1. یک شبکه رندوم با 20 گره حسگر با 2 سرخوشه (1 و 8)

Node ID:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Priority:	1.0	0.6	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	0.5	-0.2	-0.1	-0.2

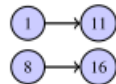
a Particle P_i encoding for network in Fig 2

Node ID:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Priority:	1.0	-N	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	0.5	-0.2	-0.1	-0.2
	1.0	0.6	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-N	-0.5	-0.1	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	0.5	-0.2	-0.1	-0.2



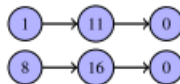
b Particle P_i after adding the CHs to the routing tree

Node ID:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Priority:	1.0	-N	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	-N	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	0.5	-0.2	-0.1	-0.2
	1.0	0.6	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-N	-0.5	-0.1	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	-N	-0.2	-0.1	-0.2



c Particle P_i after adding nodes 11 and 16 as relay nodes

Node ID:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Priority:	-N	-N	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	-N	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	0.5	-0.2	-0.1	-0.2
	-N	0.6	-0.3	0.3	-0.1	0.5	-0.7	-0.1	-N	-0.5	-0.1	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	-N	-0.2	-0.1	-0.2



d Particle P_i after adding the BS and finishing the routing tree construction

شکل 2. مثالی از فرآیند کدگذاری و کدگشایی مبتنی بر اولویت برای یک ذره pi : (a) ذره pi برای شبکه شکل 2.

(b) ذره pi پس از افزودن سرخوشه‌ها برای مسیریابی درختی. (c) ذره pi پس از افزودن 11 و 16 تا گره وابسته و

(d) ذره pi پس از افزودن BS و اتمام ساختار مسیریابی درخت

6.2. الگوریتم مسیریابی

پس از یافتن مجموعه بهینه از CHها در اولین لایه، لایه دوم پروتکل مسئول ساختن درخت مسیریابی است. BS، مجدداً PSO را اجرا می‌کند. بخش بعدی توصیفات بیشتری در مورد PSO در فاز ساخت درخت مسیریابی ارائه کرده است.

6.2.1. مقداردهی اولیه ذرات

چگونگی کدگذاری درخت مسیریابی برای توسعه الگوریتم TPSO-CR در مرحله دوم ضروری است. کدگذاری تصادفی به دلایل زیر نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

- کدگذاری تصادفی منجر به ذراتی با سایز متفاوت با توجه به طول مسیر می‌گردد.
- توالی تصادفی یال‌ها، همواره منجر به یک درخت معتبر نمی‌شود (که بدون داشتن دور به گره مقصد برسد).
- الگوریتم PSO شامل عملیات محاسباتی مانند به‌روزرسانی سرعت و موقعیت می‌شود که تعداد مسیرهای نامعتبر را افزایش می‌دهد.

Mohammed et al. (2008) یک طرح کدگذاری اولویت غیرمستقیم برای حل مسئله‌ی کدگذاری تصادفی اراده نمود. این طرح با موفقیت در اغلب پروتکل‌های مبتنی بر PSO مثل Chitra and Subbaraj (2012)، Yao et al. (2011)، Mohammed and Sahoo (2007) اجرا شد. در این طرح، اطلاعات کدگذاری ذرات نشان داده شده است.

در این مقاله، یک طرح تغییر یافته برای یافتن مسیریابی درختی بهینه که تمام CHها و BSها را به هم متصل می‌کند، ارائه شده است.

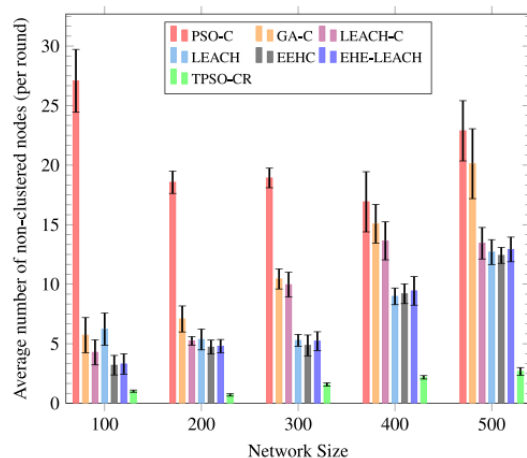
فرآیند کدگذاری ذرات: ابعاد ذرات با تعداد گره‌های حسگر در شبکه یکسان است (مثل N).
 $P_i = [X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}, \dots, X_{i,N}]$ ، i امین ذره از جمعیت است و $X_{i,d}$ نشانگر اولویت گره N_d برای انتخاب هر نود وابسته است. هر مولفه با یک عدد تصادفی واحد توزیع شده در بازه $[-1, 1]$ مقداردهی اولیه می‌شود.

فرآیند کدگذاری ذرات: درخت مسیریابی با کدگذاری ذرات در فرآیند رشد شاخه ساخته می‌شود. هر شاخه، مسیری از یک CH تا BS است. برای مثال اگر دو CH در شبکه وجود داشته باشد، فرآیند کدگذاری، 2 مسیر (یکی برای هر CH) را تولید خواهد کرد. هر مسیر به وسیله ایجاد یک لینک از گره تا CH ایجاد می‌گردد. در هر گام از ساخت مسیر، نودی با بالاترین اولویت انتخاب می‌گردد. گره‌ای که هم اکنون روی مسیر قرار دارد، یک اولویت منفی بزرگ دریافت می‌کند تا شانس برای انتخاب مجدد نداشته باشد. در بدترین حالت، اگر یک گره مجدداً انتخاب گردد، مسیر می‌تواند به مسیر نامعتبری تبدیل شود. فرآیند تا زمانی که به BS نرسیده تمام نمی‌شود. در واقع تمام گره‌ها باید به BS متصل شوند. یک درخت مسیریابی به عنوان یک مسیر نامعتبر خواهد بود، اگر یک یا بیشتر از یک، شاخه نامعتبر داشته باشد (گره‌هایی که به مقصد ختم نمی‌شوند) و این مسیرها، یک جریمه‌ی بزرگی را تقبل خواهند کرد. بهترین ذره در پایان اجرای الگوریتم، ذره‌ای است که بالاترین اولویت را داشته باشد و این گره، درخت مسیریابی بهینه را نشان خواهد داد (شکل 1).

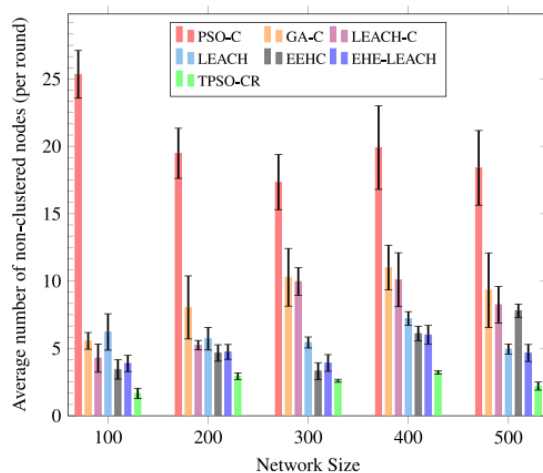
شکل 6.2: یک WSN با 20 گره حسگر و 2 سرخوشه مثل N_1 و N_8 را در نظر بگیرید (شکل 2). بنابراین، ابعاد ذرات با تعداد گره‌های بی سیم یکسان خواهد بود. مثل گره $N=20$. گراف بدون دور جهت دار $G(V,E)$ در شکل 2 را در نظر بگیرید. یال $u \rightarrow v$ نشانگر این است که گره u ، پیامی را به v ارسال می‌کند، اما برعکس این ارسال لزوماً صحیح نیست.

فرض کنید ذره p_i ، در شکل 2(a) به صورت تصادفی تولید شده است. برای یافتن یک درخت مسیریابی از N_1 تا BS، پروتکل باید مسیری را از N_1 تا BS ایجاد کند و همچنین و مسیر دیگری را از N_8 تا BS ایجاد کند. برای یافتن یک شاخه از N_1 تا BS، هر گره‌ی که به N_1 متصل است، در ابتدا تعیین می‌گردد. همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، گره‌های $[4,5,7,9,11,12,16]$ ، گره‌های تعیین شده هستند که باید بررسی شوند. اولویت این گره‌ها به ترتیب به این صورت است $[3,-,3,-,7,-,5,-,1,-,5,-,1,-]$. گره 11، دارای بالاترین اولویت است و بنابراین به عنوان گره بعدی از N_1 انتخاب می‌شود و اولویت آن به یک مقدار منفی ($-N$) برای جلوگیری از انتخاب مجدد آن، تغییر می‌یابد. گره‌های احتمالی پس از گره 11، گره‌های $[0,1,6,7,17]$ هستند. اولویت این گره‌ها به ترتیب برابر

است با $[1, -N, -0.7, -0.1, -0.2]$. وقتی که گره صفر (BS) دارای اولویت بالاتری نسبت به سایر گره‌ها باشد، همین گره به عنوان گره بعدی و آخری انتخاب می‌شود. وقتی که BS انتخاب شد و در مسیر قرار گرفت، مسیر از N_1 تا BS ساخته شده است. فرآیندی تکراری برای شاخه N_8 تا BS نیز تکرار می‌گردد، تا مسیر $(8, 16, 0)$ ساخته شود. شکل 2 (b-d) این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل 3. متوسط تعداد گره‌های غیر خوشه در هر دور برای WSN #1



شکل 4. متوسط تعداد گره‌های غیر خوشه در هر دور برای WSN#2

6.2.2. ارزیابی ذرات

پس از مقداردهی ذرات، مسیر درختی تولید شده از فرآیند کدگذاری، مطابق با (12) برای تعیین مقدار سودمندی تعیین می‌گردد.

6.3. تجزیه و تحلیل پیچیدگی

در این زیر بخش، ما پیچیدگی الگوریتم پیشنهادی را مورد بررسی قرار داده‌ایم (الگوریتم 2). ما دو نوع متفاوت گره‌ها را بررسی کردیم. اولین گره BS است که هر دو خوشه بندی و مسیریابی را شامل می‌شود. دومین گره، سایر گره‌های شبکه را نشان می‌دهد (CH یا non-CH).

6.3.1. گره BS

در الگوریتم خوشه بندی، تابع اصلی، خوشه بندی تمام شبکه برای هر ذره است. بنابراین، پیچیدگی الگوریتم $O(MNK)$ است و M تعداد ذرات، N سایز شبکه و K تعداد کاندیداهای سرخوشه است. در الگوریتم مسیریابی، تابع اصلی، هر ذره را در یک درخت مسیریابی با پیچیدگی $O(MN^2)$ کدگذاری می‌کند.

جدول 2. میانگین PDR و انحراف استاندارد در WSN #1

Protocols	100 Sensor nodes		200 Sensor nodes		300 Sensor nodes		400 Sensor nodes		500 Sensor nodes	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LEACH	0.536	0.024	0.621	0.032	0.674	0.020	0.671	0.017	0.671	0.012
EHE-LEACH	0.572	0.017	0.622	0.023	0.643	0.020	0.634	0.016	0.630	0.010
EEHC	0.589	0.032	0.661	0.037	0.680	0.006	0.669	0.009	0.670	0.015
PSO-C	0.606	0.045	0.775	0.010	0.809	0.012	0.832	0.005	0.835	0.004
GA-C	0.865	0.008	0.873	0.005	0.871	0.003	0.862	0.002	0.861	0.003
LEACH-C	0.861	0.006	0.892	0.001	0.890	0.002	0.890	0.002	0.887	0.002
TPSO-CR	0.877	0.008	0.893	0.002	0.895	0.001	0.891	0.002	0.892	0.001

جدول 3. میانگین PDR و انحراف استاندارد در WSN #2

Protocols	100 Sensor nodes		200 Sensor nodes		300 Sensor nodes		400 Sensor nodes		500 Sensor nodes	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LEACH	0.536	0.024	0.617	0.031	0.667	0.015	0.672	0.013	0.680	0.036
EHE-LEACH	0.577	0.042	0.635	0.035	0.625	0.062	0.605	0.016	0.580	0.016
EEHC	0.588	0.029	0.651	0.016	0.577	0.058	0.669	0.020	0.639	0.031
PSO-C	0.615	0.029	0.787	0.016	0.823	0.013	0.826	0.036	0.838	0.020
GA-C	0.861	0.015	0.871	0.006	0.867	0.001	0.866	0.003	0.863	0.013
LEACH-C	0.827	0.035	0.865	0.015	0.871	0.004	0.861	0.021	0.867	0.018
TPSO-CR	0.890	0.008	0.893	0.002	0.895	0.001	0.890	0.006	0.895	0.010

جدول 4. میانگین انرژی مصرفی در هر گره و انحراف استاندارد در WSN #1

Protocols	100 Sensor nodes		200 Sensor nodes		300 Sensor nodes		400 Sensor nodes		500 Sensor nodes	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LEACH	175.19	6.545	149.22	10.11	131.07	5.712	132.37	5.500	131.74	4.400
EHE-LEACH	155.19	9.007	140.35	6.245	131.76	4.558	131.64	3.839	130.32	3.571
EEHC	158.85	9.001	137.48	10.35	131.28	1.539	131.32	3.711	130.57	4.673
PSO-C	73.855	0.042	72.208	0.061	71.593	0.028	71.303	0.085	71.102	0.027
GA-C	74.499	0.074	72.660	0.305	71.824	0.304	71.602	0.121	71.336	0.386
LEACH-C	74.549	0.003	73.060	0.004	72.559	0.005	72.308	0.013	72.161	0.006
TPSO-CR	71.271	0.217	71.254	0.175	71.142	0.222	71.129	0.115	71.203	0.086

جدول 5. میانگین انرژی مصرفی در هر گره و انحراف استاندارد در WSN #2

Protocols	100 Sensor nodes		200 Sensor nodes		300 Sensor nodes		400 Sensor nodes		500 Sensor nodes	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LEACH	175.19	6.545	150.53	10.06	133.62	3.629	130.58	7.248	128.43	5.721
EHE-LEACH	155.68	11.27	137.22	11.34	145.00	10.33	135.09	11.20	145.13	10.62
EEHC	158.98	7.263	140.80	5.602	148.40	9.181	129.70	9.201	139.55	8.120
PSO-C	73.817	0.303	72.086	0.069	71.379	0.222	73.761	0.015	73.529	0.083
GA-C	74.528	0.035	72.752	0.277	71.979	0.249	71.491	0.032	71.357	0.021
LEACH-C	74.549	0.003	73.060	0.004	72.559	0.005	72.311	0.001	72.151	0.002
TPSO-CR	71.367	0.133	71.188	0.144	71.196	0.168	70.986	0.116	71.227	0.192

6.3.2. سایر گره‌های شبکه

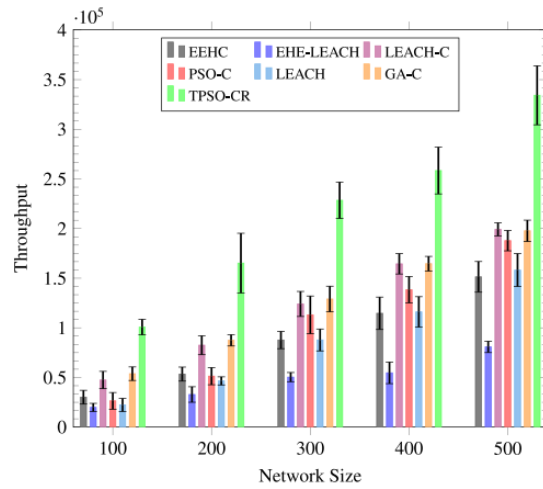
برای هر گره CH که L بسته بافر شده را تولید می‌کند، پیچیدگی برابر $O(L)$ است. برای هر گره غیر سرخوشه که این اطلاعات بافر شده را ارسال می‌کند، پیچیدگی برابر $O(1)$ است.

7. شبیه‌سازی و نتایج

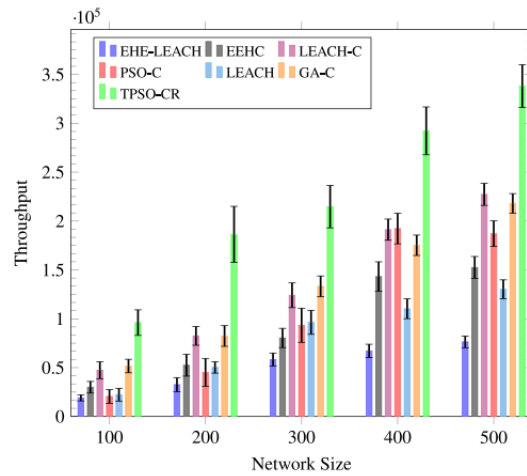
در این بخش، کارایی TPSO-CR در برابر سایر پروتکل‌های شناخته شده LEACH، EHE-LEACH، EEHC، SA-LEACH-C، PSO-C و GA توسط Rahmanian et al (2011)، بررسی شده است.

شبیه‌سازی در Castalia شبیه‌سازی شده است که براساس پلتفرم OMNeT++ است و می‌تواند برای تست پروتکل‌های WSN در محیط واقعی و مدل رادیو استفاده شود. (Rastegarnia and Solouk, 2011). این محیط، چارچوب واقعی را برای اعتبارسنجی یک الگوریتم پیش از پیاده‌سازی ایجاد می‌کند (Patil and Hadalgi, 2012).

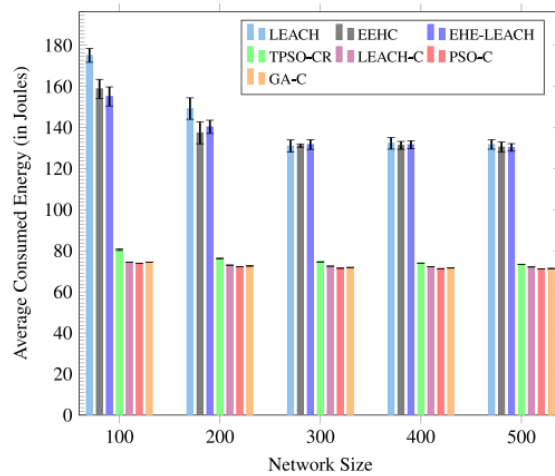
مقایسه‌ی روش TPSO-CR و سایر روش‌های شناخته شده در ادامه آورده شده است.



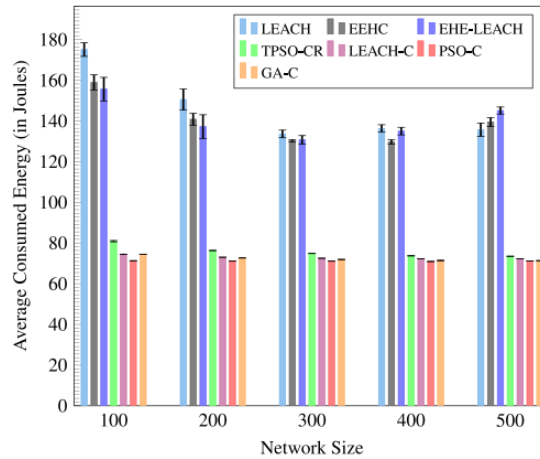
شکل 5. توان در WSN #1



شکل 6. توان WSN #2



شکل 7. میانگین انرژی مصرفی هر نود در WSN #1



شکل 8. میانگین انرژی مصرفی هر نود در WSN #2

جدول 6. تعداد بسته‌های تجمع شده در BS

Protocol	Number of packets
LEACH	613.5
LEACH-C	472.5
EEHC	618.5
EHE-LEACH	309.5
GA-C	778.5
PSO-C	952.5
TPSO-CR	1237.2

با توجه به ناهمگونی حسگرها، شبیه‌سازی در دو گروه WSN (WSN #1 و WSN #2) اجرا شد که هر کدام دارای 25 توپولوژی مختلف هستند. اولین مورد فرض می‌کند که گره‌های حسگر همگن هستند (WSN #1)، اگرچه دومین نوع آزمایش‌ها فرض می‌کند که گره‌ها ناهمگن (WSN #2) هستند.

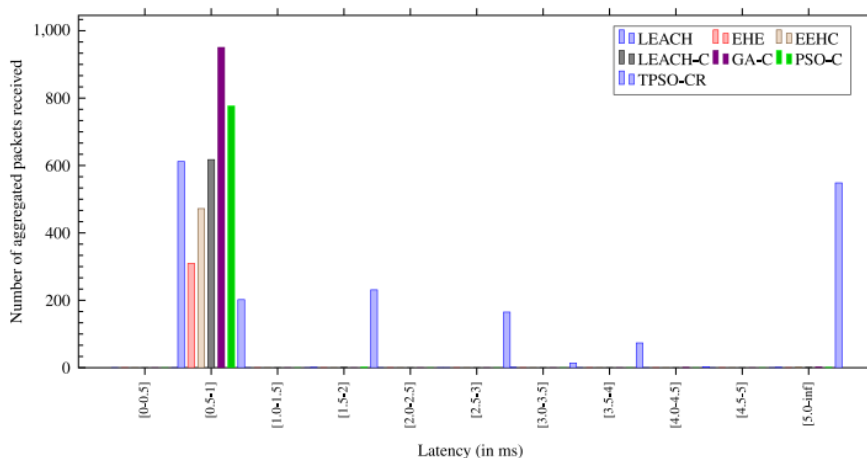
هر گروه از WSN، شامل 5 سایز شبکه مختلف از بازه 100 تا 500 گره حسگر است. به طور کلی، نتایج شبیه‌سازی، نتایج حاصل از 5 بار اجرای هر مورد با 50 شبکه مختلف است.

گره‌های حسگر به صورت تصادفی در هر ناحیه با حدود 100×100 متر قرار می‌گیرند. BS در مکان (0,0) قرار گرفته است. برای پروتکل کنترل دسترسی، ما از TMAC که برای بهره‌وری انرژی شناخته شده است، استفاده کرده‌ایم (Khatarkar and Kamble, 2013).

درصد CH به 5٪ کل گره‌های استفاده شده به وسیله پروتکل تنظیم شده است. ما پروتکل را برای 5000 ثانیه اجرا کردیم تا سرشار آن را کاهش دهیم. طول دور را به 500 ثانیه تنظیم کردیم. بسته‌ها با نرخ 1 بسته در هر ثانیه ارسال می‌شدند.

در WSN #1، انرژی اولیه استاندارد به 18.720 ژول تنظیم گردید که انرژی حاصل از دو باتری AA است (Boulis, 2011). در WSN #2، انرژی اولیه استاندارد به 12.480 ژول تنظیم گردید و انرژی اولیه به مقدار 18.720 تنظیم گردید.

برای اجرای الگوریتم پیشنهادی، ما یک جمعیت اولیه 50 نفری را ایجاد کردیم. تعداد تکرار الگوریتم PSO را برابر 200 قرار دادیم. مقدار پارامترهای الگوریتم PSO با راه‌کار (Zambrano-Bigiarini et al. (2013)) برابر بود. برای مجموع وزن‌ها، ما وزنی برابر با هر زیر تابع قرار دادیم. بنابراین، ما $wc_1=wc_2=wc_3=0.33$ و $wr_1=wr_2=wr_3=0.33$ قرار دادیم.



شکل 9. تغییر سطح Application (ms)

ابتدا، ما پروتکل را برای مقایسه کیفیت پوشش الگوریتم پیشنهادی به وسیله تغییر گره‌های حسگر از 100 تا 500 بر روی دو سناریو شبکه اجرا کردیم. شکل 3 و شکل 4، مقایسه‌ی پروتکل پیشنهادی را با سایر پروتکل‌ها در میانگین تعداد گره‌های خوشه بندی شده در هر دور نشان می‌دهد. ما نتایج را با قابلیت اعتماد 99٪ ارائه داده‌ایم.

در شکل 3 و 4، دیده می‌شود که پروتکل پیشنهادی دارای بالاترین پوشش شبکه در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها می‌باشد و این به دلیل فاز خوشه بندی می‌باشد که تعداد گره‌های غیر خوشه را کاهش می‌دهد. در حالی که پروتکل‌های موجود این کار را انجام نمی‌دهند.

به منظور قضاوت در مورد کیفیت لینک پروتکل پیشنهادی، میانگین (میانگین) PDR برای پیام‌های دریافتی به وسیله تمام CHها در 5 اجرای پروتکل و همچنین انحراف استاندارد (SD) برای دو سناریو مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول 2 و جدول 3 برای WSN #1 و WSN #2 نشان داده شده است. واضح است که میانگین PDR برای پروتکل پیشنهادی دارای بیشترین مقدار است. LEACH, EHE-LEACH و EEHC نوسانات خیلی بیشتری در سراسر اجرا دارند. علاوه بر این، آنها PDR خیلی پایینی دارند. زیرا برای اندازه‌گیری کیفیت لینک هیچ راه‌کاری ندارند. سپس ما کارایی انرژی پروتکل پیشنهادی را در مقایسه با سایر راه‌کارها با 100 تا 500 گره حسگر در دو سناریو شبکه مقایسه کردیم. به منظور بررسی اثر استفاده از مسیریابی درختی در پروتکل پیشنهادی، ما این پروتکل را با استفاده از الگوریتم خوشه بندی صرف (بدون استفاده از گره) بررسی کردیم. جدول 4 و جدول 5، میانگین (میانگین) مصرف انرژی به وسیله گره‌ها را در طی 5 اجرا از پروتکل با انحراف استاندارد (SD) در دو سناریو مختلف نشان می‌دهد. واضح است که TPSO-CR کمترین مصرف انرژی را دارد. اگر چه نوسانات بیشتری دارد.

شکل 5 و شکل 6، مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر پروتکل‌ها را از نظر ساخت شبکه در دو سناریو نشان می‌دهد. توان به عنوان تعداد بسته‌های داده که با موفقیت به BS تحویل داده می‌شوند، تعریف شده است. با استفاده از تعداد بسته‌های تحویل داده شده به BS می‌توان دقت الگوریتم را نیز سنجید. در این مقاله، تعداد بسته‌های نارس برای محاسبه توان در BS مورد استفاده قرار می‌گیرد. ما نتایج را با قابلیت اطمینان 99٪ ارائه داده‌ایم. مشاهده می‌شود که پروتکل پیشنهادی از نظر توان شبکه، خیلی بهتر از سایر الگوریتم‌ها می‌باشد.

حال، ما می‌خواهیم گره‌های وابسته در انتقال چند گامه در پروتکل پیشنهادی و همچنین کارایی انرژی آن را مورد بررسی قرار دهیم. شکل 7 و شکل 8، نشانگر مقایسه انجام یافته بین پروتکل پیشنهادی و سایر پروتکل‌ها می‌باشد. ما نتایج را با قابلیت اطمینان 90٪ نشان دادیم. انرژی مصرفی هر گره در TPSO-CR بزرگتر از GA-LEACH-c.

C و PSO-C است. این مورد به دلیل افزایش در تعداد گره‌ها در طی هر دور از الگوریتم است. همانطور که تراکم حسگرها بیشتر می‌شود، تعداد CH هایی که منطقه‌ی یکسانی را می‌پوشانند، نیز بیشتر می‌شود.

همچنین نشان داده شده است که انرژی بیشتری در LEACH، EHE-LEACH و EEHC مصرف می‌شود. دلیل پشت این واقعیت، این است که گره‌های غیر خوشه بندی شده که در حالت خواب به سر می‌برند، انرژی بیشتری را مصرف می‌کنند. از لحاظ تئوری، LEACH-C، GA-C و PSO-C تمام گره‌های شبکه را خوشه بندی می‌کند. بنابراین پروتکل پیشنهادی انرژی کمتری را مصرف می‌کند. برای TPSO-CR، هیچ گره غیر خوشه بندی وجود ندارد که در حالت خواب به سر ببرد. بنابراین این مورد انرژی مصرفی الگوریتم پیشنهادی را کاهش می‌دهد. شکل 7 و شکل 8، تعداد گره‌های غیر خوشه بندی الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

برای بررسی تاخیر در سطح نرم‌افزار در جمع‌آوری بسته‌ها در BS، یک شبکه ناهمگن را در نظر گرفتیم. شبیه‌سازی اجرا شده، نشان می‌دهد که برای هر 1000 گره، در طی دو دور متوالی، تاخیر الگوریتم پیشنهادی خیلی کمتر است. جدول 6، تعداد بسته‌های جمع‌آوری شده توسط BS را نشان می‌دهد. شکل 9، تاخیر موجود در هر بسته را نشان می‌دهد.

اگر چه الگوریتم TPSO-CR دارای توان بالاتری است، اما این مورد دارای تاخیر بسته نیز می‌باشد. برای مثال، در شکل 9، 90٪ بسته‌ها دارای تاخیر هستند که این تاخیر چیزی حدود 1 میلی ثانیه است. برای TPSO-CR، فقط 16٪ بسته‌ها، دارای تاخیر بیشتر از 1 میلی ثانیه هستند. این نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی به دلیل داشتن لایه کنترل دسترسی در هر لایه، دارای تاخیر بیشتری است.

8. نتیجه‌گیری و کارهای آتی

در این مقاله، مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی در WSN مورد مطالعه قرار گرفت. یک پروتکل الهام گرفته شده از PSO ارائه شده است. پروتکل در دو سطح اجرا می‌شود: ابتدا بهترین CHها و خوشه‌های انجمنی یافت می‌شود. اگر چه دومین لایه، مسئله ارتباطات بین خوشه‌ای را با یافتن بهینه‌ترین درخت مسیریابی حل می‌کند. پروتکل توسعه یافته و

در شبکه‌ای واقعی مورد آزمایش قرار گرفت و انرژی مصرفی آن مدل‌سازی شد. شبیه‌سازی‌های گسترده انجام شده و نتایج پروتکل پیشنهادی ارائه شد. نرخ تحویل بسته در خوشه‌ها و BS ها مورد آزمایش قرار گرفت. افزایش پوشش شبکه و حفظ مصرف انرژی قابل اثبات است. علاوه بر این، پروتکل هیچ فرضیات غیر واقعی نمی‌پذیرد. برای مثال، کشف GPS برای کشف مکان.

جهت تحقیقات آینده می‌توان از نتایج ارائه شده الهام گرفت. پروتکل می‌تواند توسعه یافته و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی دو لایه‌ای را ایجاد کند. این کار می‌تواند با کیفیت لینک بهتر و توان بالاتری انجام شود. یک کنترل تطبیقی می‌تواند به منظور افزایش انرژی شبکه بهره‌وری سازگار گردد.

References

- Abbasi AA, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Comput. Commun.* 2007;30(14–15):2826–41.
- Abdul Latiff N, Tsimenidis C, Sharif B. Performance comparison of optimization algorithms for clustering in wireless sensor networks. In: *IEEE international conference on mobile adhoc and sensor systems. MASS 2007*; October 2007. p. 1–4.
- Agarwal PK, Procopiuc CM. Exact and approximation algorithms for clustering. *Algorithmica* 2002;33(2):201–26.
- Akkaya K, Younis M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Netw.* 2005;3(3):325–49.
- Arboleda LM, Nasser N. Comparison of clustering algorithms and protocols for wireless sensor networks. In: *IEEE canadian conference on electrical and computer engineering*; May 2006. p. 1787–92.
- Baccour N, Koubâa A, Mottola L, Zúñiga MA, Youssef H, Boano CA, et al. Radio link quality estimation in wireless sensor networks: a survey. *ACM Trans. Sensor Netw. (TOSN)* 2012;8(September(4)):34:1–33.
- Barberis A, Barboni L, Valle M. Evaluating energy consumption in wireless sensor networks applications. In: *10th Euromicro conference on digital system design architectures, methods and tools, 2007. DSD 2007*; August 2007. p. 455–62.
- Boulis A. Castalia user's manual. <https://forge.nicta.com.au/docman/view.php/301/592/Castalia_betaUserManual.pdf>; 2011 [accessed 02.04.2014].
- Chitra C, Subbaraj P. A nondominated sorting genetic algorithm solution for shortest path routing problem in computer networks. *Expert Syst. Appl.* 2012;39(1):1518–25.
- Clerc M. Standard particle swarm optimisation. <http://clerc.maurice.free.fr/psop/SPSO_descriptions.pdf>; 2012 [accessed 25.09.2014].
- del Valle Y, Venayagamoorthy G, Mohagheghi S, Hernandez J-C, Harley R. Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 2008;12(April (2)):171–95.
- Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant colony optimization. *IEEE Comput. Intell. Mag.* 2006;1(November (4)):28–39.
- Dwivedi AK, Vyas OP. Network layer protocols for wireless sensor networks: existing classifications and design challenges. *Int. J. Comput. Appl.* 2010; 8(October (12)):30–4.
- Guo W, Zhang W. A survey on intelligent routing protocols in wireless sensor networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 2014;38(0):185–201.

Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In: Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences, vol. 2; January 2000.

Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2002;1(October (4)):660–70.

Jiang C-J, ren Shi W, Xiang M, lun Tang X. Energy-balanced unequal clustering protocol for wireless sensor networks. *J. China Univ. Posts Telecommun.* 2010;17(4):94–9.

Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE international conference on neural networks, 1995, vol. 4; November/December 1995. p. 1942–8.

Khalil EA, Attea BA. Energy-aware evolutionary routing protocol for dynamic clustering of wireless sensor networks. *Swarm Evol. Comput.* 2011;1(4):195–203.

Khatarkar S, Kamble R. Wireless sensor network mac protocol: Smac and tmac. *Ind.J. Comput. Sci. Eng.* 2013;4(4):304–10.

Konak A, Coit DW, Smith AE. Multi-objective optimization using genetic algorithms: a tutorial. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2006;91(9):992–1007.

Kuila P, Gupta SK, Jana PK. A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks. *Swarm Evol. Comput.* 2013; 12(0):48–56.

Kulkarni R, Venayagamoorthy G. Particle swarm optimization in wireless-sensor networks: a brief survey. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C: Appl. Rev.* 2011;41(March (2)):262–7.

Kumar D. Performance analysis of energy efficient clustering protocols for maximizing lifetime of wireless sensor networks. *IET Wirel. Sensor Syst.* 2014; 4(March (1)):9–16.

Kumar D, Aseri TC, Patel R. Eehc: energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks. *Comput. Commun.* 2009;32(4):662–7.

Latiff N, Tsimenidis C, Sharif B. Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization. In: IEEE 18th international symposium on personal, indoor and mobile radio communications (PIMR C'07); September 2007. p. 1–5.

Lee L, Nwana H, Ndumu D, de Wilde P. The stability, scalability and performance of multi-agent systems. *BT Technol. J.* 1998;16(3):94–103.

Mohammed AW, Sahoo NC. Efficient computation of shortest paths in networks using particle swarm optimization and noising metaheuristics. *Discrete Dyn. Nat. Soc.* 2007:1–25.

Mohammed AW, Sahoo NC, Geok TK. Solving shortest path problem using particle swarm optimization. *Appl. Soft Comput.* 2008;8(4):1643–53.

Molina G, Alba E. Location discovery in wireless sensor networks using metaheuristics. *Appl. Soft Comput.* 2011;11(1):1223–40.

Patil A, Hadalgi DPM. Evaluation of discrete event wireless sensor network simulators. *Int. J. Comput. Sci. Netw.* 2012.

Rahmanian A, Omranpour H, Akbari M, Raahemifar K. A novel genetic algorithm in leach-c routing protocol for sensor networks. In: 24th Canadian conference on electrical and computer engineering (CCECE), 2011; May 2011. p. 001096–100.

Rastegarnia A, Solouk V. Performance evaluation of castalia wireless sensor network simulator. In: 2011 34th international conference on telecommunications and signal processing (TSP); August 2011. p. 111–5.

Saleem M, Caro GAD, Farooq M. Swarm intelligence based routing protocol for wireless sensor networks: Survey and future directions. *Inf. Sci.* 2011;181(20):4597–624.

Srinivasan K, Dutta P, Tavakoli A, Levis P. Understanding the causes of packet delivery success and failure in dense wireless sensor networks. In: Proceedings of the 4th international conference on embedded networked sensor systems; November 2006. p. 419–20.

Srinivasan K, Dutta P, Tavakoli A, Levis P. An empirical study of low-power wireless. *ACM Trans. Sensor Netw.* 2010;6(March (2)):16:1–49.

Srinivasan K, Levis P. RSSI is under appreciated. In: Proceedings of the third workshop on embedded networked sensors (EmNets 2006); May 2006.

Texas Instruments, Chipcon CC2420 radio transceiver data sheet. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>; 2013 [accessed 25.09.2014].

Tubaishat M, Madria S. Sensor networks: an overview. *IEEE Potent.* 2003;22(April (2)):20–3.

Tyagi S, Gupta S, Tanwar S, Kumar N. Ene-leach: enhanced heterogeneous leach protocol for lifetime enhancement of wireless sns. In: 2013 international conference on advances in computing, communications and informatics (ICACCI); August 2013. p. 1485–90.

Tyagi S, Kumar N. A systematic review on clustering and routing techniques based upon {LEACH} protocol for wireless sensor networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 2013;36(2):623–45.

Yao J, Yang B, Zhang M, Kong Y. Pso with predatory escaping behavior and its application on shortest path routing problems. In: 2011 3rd international workshop on intelligent systems and applications (ISA); May 2011. p. 1–4.

Ye M, Li C, Chen G, Wu J. EECS: an energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks. In: 24th IEEE international performance, computing, and communications conference, 2005, IPCCC 2005; April 2005. p. 535–40.

Younis O, Fahmy S. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks. *IEEE Trans. Mob. Comput.* 2004; 3(October (4)):366–79.

Younis O, Krunz M, Ramasubramanian S. Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges. *IEEE Netw.* 2006;20(May (3)):20–5.

Yu Y, Prasanna VK, Krishnamachari B. Information processing and routing in wireless sensor networks. World Scientific Pub Co Inc., Singapore; 2006 [Chapter 1].

Zambrano-Bigiarini M, Clerc M, Rojas R. Standard particle swarm optimisation 2011 at cec-2013: a baseline for future pso improvements. In: IEEE congress on evolutionary computation (CEC); June 2013. p. 2337–44.

Zungeru AM, Ang L-M, Seng KP. Classical and swarm intelligence based routing protocols for wireless sensor networks: a survey and comparison. *J. Netw. Comput. Appl.* 2012;35(September (5)):1508–36.