



دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
دانشگاه مهندسی برق



دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین



ششمین کنفرانس ملی مهندسی برق
و سیستم‌های هوشمند

ششمین کنفرانس ملی مهندسی برق و سیستم‌های هوشمند - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد - ۱۰ و ۱۱ خرداد ۱۴۰۱

توازن مصرف انرژی با به‌کارگیری گره چاهک متحرک و طراحی مسیر مناسب برای حرکت آن در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

سید احمد موسوی پور^۱، سید محمود دانشور فرزنانگان^{۲*}

موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان^۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد^۲، مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین^۲

Mr.musavipur@gmail.com^۱, m_n_daneshvar@pel.iaun.ac.ir^۲

چکیده - شبکه‌های حسگر بی‌سیم از صدها یا هزاران گره حسگر تشکیل شده‌اند که بواسطه اجتماع آن‌ها در مکان‌هایی که برای انسان‌ها غیرممکن و یا خطرناک است، کاربردهای فراوانی برای ایجاد کرده‌اند. این گره‌ها محیط اطراف خود را سنجش کرده و پس از جمع‌آوری داده‌ها، آن‌ها را برای گره چاهک ارسال می‌نمایند. این شبکه‌ها با چالش‌های زیادی روبه‌رو می‌باشند، از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به محدودیت انرژی و تأخیر اشاره نمود. از آنجایی‌که این گره‌ها معمولاً در محیط‌های خشن و غیرقابل دسترس پخش می‌شوند، حل دو چالش گفته شده اهمیت به‌سزایی دارد. یکی از ایده‌های مطرح جهت برطرف کردن این چالش‌ها استفاده از گره چاهک متحرک و طراحی بهینه و مناسب مسیر حرکت آن می‌باشد. بنابراین، هدف این مقاله کاهش تأخیر و کمینه کردن مصرف انرژی است. در این راستا، با بهره‌گیری از روش‌های خوشه‌بندی و الگوریتم‌های فراابتکاری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به شکل توأم، به خوشه‌بندی گره‌های حسگر و تشکیل درخت مسیریابی از گره‌ها به سرخوشه‌های متناظرشان و طراحی مسیر حرکت گره چاهک می‌پردازیم. نتایج شبیه‌سازی حاکی از برتری عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دیگر کارهای موجود، از نظر مصرف انرژی و تأخیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد.

کلید واژه - الگوریتم تبرید بهینه‌سازی شده، انرژی مصرفی، تأخیر، خوشه‌بندی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم.

می‌باشد. بنابراین، نحوه مسیریابی و ارسال داده‌های تجمیع شده، می‌تواند نقش به‌سزایی در مصرف انرژی ایفا کند [۲-۴].

۱- مقدمه:

در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم به موارد متعددی از جمله مکان حسگرها، برنامه فعالیت حسگرها و گره چاهک و مسیریابی داده‌ها در سطح شبکه باید توجه داشت. از آنجایی‌که در اکثر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌های حسگر به‌صورت ثابت در محیط فیزیکی قرار می‌گیرند. این مسأله منجر به ایجاد حفره مرتبه اول، میزان انرژی مصرفی با مربع فاصله رابطه مستقیم دارد. بنابراین، با کم کردن فاصله بین گره‌ها با یکدیگر و یا فاصله گره‌ها با گره چاهک می‌توان باعث به‌حداقل رساندن مصرف انرژی شد [۸].

با توجه به چالش‌های اشاره شده، در این پایان نامه قصد داریم که با ارائه الگوریتم " Sink Trajectory with Simulated Annealing (STSA)", مسأله مصرف انرژی گره‌ها در شبکه‌های

پیشرفت‌های اخیر در ساخت مدارهای مجتمع در کنار توسعه مخابرات بی‌سیم زمینه‌ساز فن‌آوری نوظهوری به نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است که بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی ما در آینده خواهد بود [۱]. گره‌های حسگر از باتری‌های معمولی ساخته شده‌اند. همچنین، به‌دلیل پخش این گره‌ها در نواحی غیرقابل دسترس، امکان شارژ یا تعویض باتری آن‌ها وجود ندارد. بنابراین، مهم‌ترین مسأله در این شبکه‌ها، نحوه مدیریت انرژیست [۲-۴]. در صورتی‌که انرژی یکی از گره‌های حسگر در شبکه تمام شود، آن گره حسگر اصطلاحاً میمیرد. این امر منجر به جدا شدن بخشی از شبکه شده و کارایی شبکه را مختل می‌نماید. لذا، روش‌های پیشنهاد شده در این نوع شبکه‌ها، بایستی به‌شکل ویژه‌ای این مسأله را در نظر بگیرد. ارسال داده‌ها از یک گره به گره دیگر، بیشترین سهم انرژی مصرفی آن‌ها

مدل مصرف انرژی، مدل رادیویی مرتبه اول برای محاسبه میزان انرژی مصرفی گره‌های حسگر را به کار می‌گیریم. براساس این مدل، میزان انرژی لازم برای ارسال و دریافت داده‌های سنجش شده به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_{TX}(L, d) = E_{elec} \times L + E_{amp} \times L \times d^2.$$

$$E_{RX}(L) = E_{elec} \times L.$$

در این روابط، $E_{TX}(L, d)$ بیانگر انرژی مصرفی برای ارسال یک بسته L بیتی بر روی پیوندی به فاصله d است. $E_{RX}(d)$ میزان انرژی دریافتی بسته L بیتی را نشان می‌دهد. همچنین، E_{elec} و E_{amp} به ترتیب انرژی مصرفی برای ارسال یا دریافت، توسط مدارات الکترونیکی و انرژی مصرفی تقویت‌کننده انتقال را توصیف می‌کنند.

در کنار مسأله انرژی، مسأله تأخیر یکی دیگر از چالش‌های پیش رو در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. در شبکه‌هایی که از گره چاهک متحرک جهت جمع‌آوری داده بهره می‌برند، از رابطه زیر، جهت محاسبه تأخیر استفاده می‌کنند.

$$T = \frac{d}{vel}.$$

در این رابطه d و vel ، به ترتیب فاصله بین گره‌های مبدأ و مقصد و سرعت حرکت گره چاهک می‌باشند. در اینجا، فرض بر آن است که گره چاهک با سرعت v در شبکه حرکت می‌کند.

لذا، بر این اساس، تنها مسافت طی شده توسط گره چاهک به عنوان تأخیر محاسبه می‌شود.

از آنجایی که، گره چاهک در شبکه مسیر بین دو گره حسگر را طی می‌کند، برای محاسبه مسافت طی شده توسط آن، فقط کافی است که فاصله اقلیدسی بین آن دو گره حسگر را به دست آوریم. در چنین حالتی، برای تعیین فاصله اقلیدسی بین دو گره i و j می‌توان نوشت:

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2},$$

که در آن، $d(i, j)$ ، x و y به ترتیب فاصله اقلیدسی، مختصات افقی و عمودی دو گره حسگر i و j می‌باشند.

شایان ذکر است که، براساس سایر مراجع معتبر، جهت محاسبه تأخیر از توقف گره چاهک، چشم‌پوشی کرده و تنها مجموع فواصل بین گره‌های سرخوشه یعنی همان مسیری را که گره چاهک می‌پیماید، به عنوان تأخیر در نظر گرفته می‌شود.

حسگر بی‌سیم را با به کار بردن گره چاهک متحرک، بررسی نماییم. در این راستا، ابتدا گره‌های حسگر را که به صورت تصادفی در ناحیه پخش شده‌اند را در چندین خوشه تقسیم‌بندی می‌کنیم. سپس، با تعریف یک معیار مؤثر و کارآمد برای هر خوشه یک سرخوشه تعیین می‌نماییم. در نهایت، با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، به طراحی یک مسیر مناسب جهت پیمایش گره چاهک در شبکه می‌پردازند. گره چاهک با حرکت در شبکه و نزدیک شدن به گره‌های سرخوشه، داده‌های بافر شده در آن‌ها را جمع‌آوری می‌کنند.

الگوریتم پایه [۱۲]، از چاهک متحرک جهت کاهش انرژی و کمینه کردن تأخیر استفاده می‌نماید. در این الگوریتم ابتدا، به فرمول بندی مسأله براساس انرژی باقیمانده گره‌های حسگر، جهت تعیین نقاط ملاقات از میان گره‌های حسگر شبکه می‌پردازند. سپس، به تعریف یک حد آستانه می‌پردازند. این حد آستانه جهت تغییر نقش این نقاط در دوره‌های متفاوت می‌باشد. در صورتی که هر گره شرط حد آستانه را برآورده سازد، دیگر به عنوان نقطه ملاقات نخواهد بود. در نهایت، با استفاده از الگوریتم فروشنده دوره‌گرد، مسیر حرکت گره چاهک در شبکه طراحی می‌گردد. گره چاهک در شبکه حرکت کرده و با توقف در نقاط ملاقات داده‌های گره‌های حسگر را دریافت می‌نماید.

۲- محیط شبیه سازی و مفروضات شبکه:

در محیط نرم‌افزاری متاب یک شبکه حسگر بی‌سیم به شکل مربع با ابعاد $L \times L$ را در نظر بگیرید. این شبکه شامل N گره حسگر می‌باشد که گره‌ها به صورت تصادفی در آن توزیع شده‌اند. همچنین، این شبکه دارای یک گره چاهک متحرک نیز می‌باشد. کلیه گره‌های حسگر به آنتن‌های همه جهته مجهز هستند و هر گره حسگر می‌تواند در با سایر گره‌هایی که در برد مخابراتی خود دارد، به صورت مستقیم ارتباط برقرار کند. در این حالت، بر روی گره‌های حسگر در شبکه یک گراف دو طرفه بدون جهت $G(V, E)$ ایجاد خواهد شد. در گراف فوق، مجموعه رئوس $V = \{1, 2, \dots, N+1\}$ شامل N گره حسگر و یک گره چاهک و مجموعه یال‌های E ، بیانگر پیوندهای دوطرفه بی‌سیم بین گره‌ها است.

همان‌طور که مشخص است، گره‌های حسگر می‌توانند با تمامی گره‌هایی که در برد مخابراتی خود دارند، ارتباط مستقیم برقرار نمایند. هر پیوند (i, j) بین دو گره متفاوت $i \in V$ و $j \in V$ این ارتباط را نشان می‌دهد.

۳- الگوریتم پیشنهادی:

$$Ch(j) = \arg \max_{i \in S(j)} E_r(i), \quad j = 1, 2, \dots, M.$$

الگوریتم STSA شامل سه گام متوالی است که در هر دوره از شبکه اجرا می‌شوند. این گام‌ها عبارتند از: خوشه‌بندی گره‌های حسگر، تعیین سرخوشه برای هر خوشه‌ها و طراحی مسیر حرکت گره چاهک می‌باشد.

گام اول: خوشه‌بندی گره‌های حسگر

شبکه حسگری شامل N گره حسگر که به صورت تصادفی در ناحیه مورد نظر پخش شده‌اند را در نظر بگیرید. در ابتدا، با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی K-mean گره‌های حسگر در M خوشه جداگانه تقسیم می‌شوند. مراحل اجرای الگوریتم خوشه بندی به روش K-mean در گام‌های زیر توصیف می‌گردد:

۱- ابتدا بایستی M نقطه متمایز و تصادفی در شبکه در نظر بگیریم که این نقاط به عنوان مراکز خوشه‌ها هستند.

۲- هر یک از گره‌های حسگر در شبکه فاصله اقلیدسی خود را تا تمامی این مراکز محاسبه می‌کنند.

۳- از این میان، هر گره حسگر، خوشه‌ای را انتخاب می‌کند که به مرکز آن خوشه نزدیک‌تر باشد.

۴- با میانگین‌گیری بر روی فاصله گره‌های عضو خوشه‌ها، مراکز جدیدی در شبکه ایجاد می‌گردد.

۵- هر یک از گره‌های حسگر، فاصله‌های خود را تا مراکز جدید ایجاد شده به دست آورده و خوشه‌های جدیدی شکل می‌دهند.

۶- مراحل ۴ و ۵، تا همگرایی کامل الگوریتم خوشه‌بندی و عدم تغییر و ثابت ماندن مراکز تمامی خوشه‌ها، تکرار می‌شود.

گام دوم: انتخاب سرخوشه و مسیریابی درون خوشه

نقش گره‌های سرخوشه، از اهمیت بسیار بالایی در این شبکه‌ها برخوردار است. چرا که، این گره‌ها به علت ارسال و دریافت حجم زیادی از داده‌ها نسبت به سایر گره‌های موجود، انرژی بیشتری مصرف می‌نمایند. از اینرو، انرژی این گره‌ها سریعتر از سایر اعضای یک خوشه مصرف می‌گردد. در چنین شرایطی، استفاده از یک سرخوشه ثابت در هر خوشه باعث تخلیه سریع انرژی این گره‌ها خواهد شد. از اینرو، بهتر است با یک معیار مناسب، نقش سرخوشه دوره به دوره بین گره‌های عضو یک خوشه تغییر کند. واضح است که در این حالت، مهمترین عامل برای تعیین نقش سرخوشه، فاکتور انرژی می‌باشد.

پس از خوشه‌بندی و تعیین نقش سرخوشه، گره‌های حسگر عضو هر خوشه بایستی داده‌های سنجش شده خود را از طریق یک درخت مسیریابی مناسب و کارآمد برای گره سرخوشه متناظر خود ارسال نمایند.

ایجاد یک درخت مسیریابی کارآمد نیز همانند مسأله تعیین نقش سرخوشه‌ها، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. زیرا داشتن یک درخت مسیریابی مناسب بین گره‌ها و سرخوشه‌های متناظرشان و همچنین، گره‌های حسگر با یکدیگر، نه تنها مانع از گم شدن داده‌ها در شبکه شده بلکه، میزان مصرف انرژی در شبکه را کاهش می‌دهد. برخلاف برخی مراجع که از معیار تعداد پرش بین گره مبدأ و گره مقصد برای تشکیل درخت مسیریابی استفاده می‌کنند، در اینجا، ما از معیار فاصله بهره می‌گیریم.

بدین منظور، ما از کوتاه‌ترین درخت مسیریابی استفاده می‌نماییم. در این راستا، جهت داشتن درخت مسیریابی کارآمدتر، می‌توان بر روی هر یک از پیوندهای موجود بین گره‌های حسگر در خوشه‌ها، یک وزن تعریف نمود. بدین منظور، ما از معیار فاصله اقلیدسی برای وزندهی به این پیوندهای موجود استفاده می‌کنیم. رابطه زیر، معیار وزن را برای هر یک از پیوندها تشریح می‌کند.

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

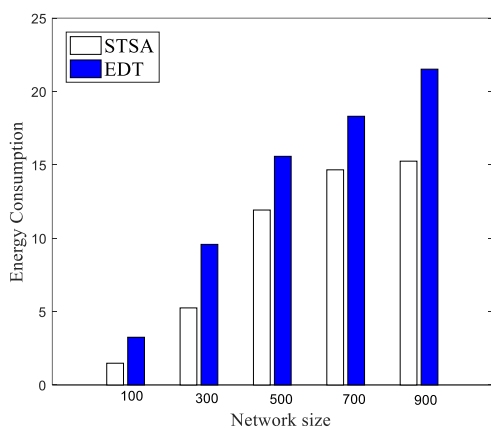
در این رابطه، x_i و y_i به ترتیب مختصات افقی و عمودی گره حسگر i می‌باشند.

با محاسبه وزن هر پیوند، کوتاه‌ترین درخت مسیریابی وزن‌دار با استفاده از الگوریتم Dijkstra، در هر خوشه ایجاد می‌گردد. در هر دوره از عملکرد شبکه، گره‌ها اطلاعات خود را به صورت

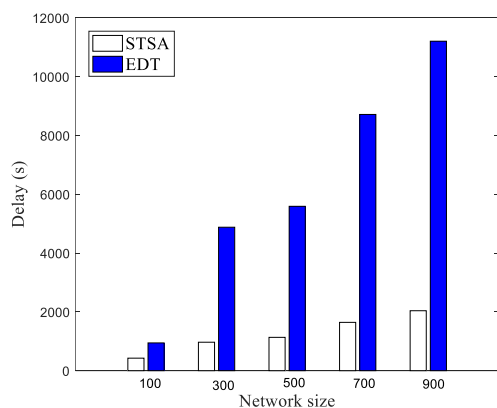
شبکه، همان طول مسیر حرکت گره چاهک می‌باشد. از این میان، کوتاه‌ترین مسیر حرکت را به‌عنوان مسیر برگزیده انتخاب کرده و حرکت گره چاهک بر روی آن مسیر خواهد بود.

۴- نتایج شبیه سازی:

تغییر ابعاد شبکه: با تغییر ابعاد شبکه، تغییرات انرژی مصرفی گره‌های حسگر و تأخیر در ارسال داده توسط گره چاهک را بررسی می‌کنیم. براساس مدل رادیویی مرتبه اول برای انرژی، مصرف انرژی برای یک پیام L بیتی با مربع فاصله بین دو گره حسگر رابطه مستقیم دارد. بنابراین، با افزایش ابعاد شبکه، انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. این روند برای هر دو الگوریتم قابل مشاهده است. همچنین، این مسأله منجر به افزایش فاصله بین گره‌های حسگر می‌گردد. واضح است که این دو مسأله در کنار هم، باعث افزایش انرژی مصرفی در بین گره‌های حسگر می‌شوند. از طرف دیگر، الگوریتم STSA به‌دلیل خوشه‌بندی گره‌ها، انتخاب سرخوشه‌های مناسب و تغییر این نقش در میان اعضای یک خوشه، انرژی مصرفی کم‌تری نسبت به الگوریتم EDT دارد. همچنین، استفاده از درخت مسیریابی کارآمد، به‌شکل مؤثری انرژی را در شبکه کاهش می‌دهد.



شکل (۱) - مقایسه مصرف انرژی گره‌های حسگر در دو الگوریتم STSA و EDT با تغییر ابعاد شبکه



شکل (۲) - مقایسه تأخیر در دو الگوریتم STSA و EDT با تغییر ابعاد شبکه

مستقیم و یا ارتباطات چند پرشی، از مسیری با فاصله کوتاه‌تر، برای سرخوشه متناظر خود ارسال می‌کنند.

گام سوم: طراحی مسیر حرکت گره چاهک

با مشخص شدن وضعیت سرخوشه‌ها، هر یک از گره‌های عضو یک خوشه داده‌های سنجش شده خود را از طریق درخت مسیریابی کوتاه‌ترین مسیر برای سرخوشه متناظر خود ارسال می‌کند. سرخوشه‌ها نیز تمامی داده‌های دریافتی از اعضای خوشه را، با داده‌های خود در هم آمیخته و یک قالب بسته از داده‌ها را برای ارسال به گره چاهک محیا می‌نماید. سپس، گره چاهک باید با حرکت در شبکه، داده‌های بافر شده در سرخوشه را جمع‌بندی کند.

طول مسیر حرکت گره چاهک، به‌عنوان تأخیر در شبکه پذیرفته می‌شود. چرا که سرعت حرکت گره چاهک را در نظر گرفته‌ایم. لذا، مسیر حرکت گره چاهک بایستی به‌نحوی طراحی گردد که نه تنها بتواند در نزدیکی گره‌های سرخوشه قرار گیرد بلکه، تأخیر در شبکه را کاهش دهد. به عبارت دیگر، طراحی مسیریابی طولانی و پیچیده منجر به افزایش تأخیر، کاهش راندمان شبکه و کمینه شدن کارایی شبکه می‌گردد. بنابراین طراحی یک مسیر حرکت مناسب برای حرکت گره چاهک، برای این شبکه‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

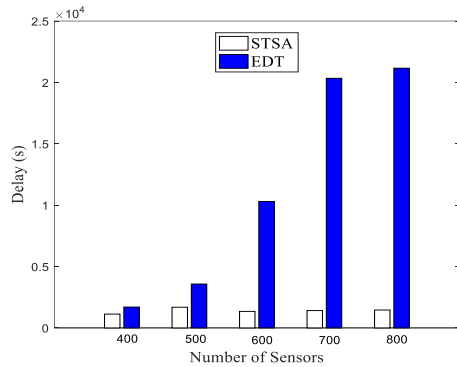
از طرف دیگر، در صورتی که گره چاهک در نزدیکی گره‌های سرخوشه توقف نماید، براساس مدل رادیویی مرتبه اول برای مصرف انرژی، فاصله ارتباطی میان گره‌های سرخوشه و گره چاهک کم شده و این مسأله منجر به کاهش مصرف انرژی گره‌های سرخوشه می‌گردد.

در این راستا، ما از الگوریتم تیرید شبیه‌سازی شده برای طراحی مسیر حرکت گره چاهک بهره می‌بریم. براین اساس، سطح انرژی پیشنهادی برای حرکت گره چاهک در شبکه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{M-1} Len(ch_i, ch_{i+1}) \right),$$

که در آن، $Len(ch_i, ch_{i+1})$ طول مسیر بین اولین سرخوشه تا M امین سرخوشه است.

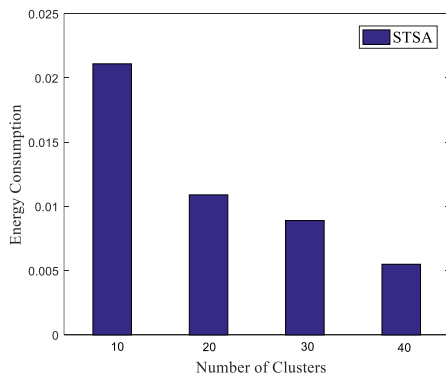
براساس این تابع هدف ابتدا، فاصله اقلیدسی بین کلیه سرخوشه‌ها محاسبه می‌گردد. سپس، مجموع تمامی این فواصل را به‌دست آورده و طول مسیر حرکت گره چاهک می‌نامیم. به‌عبارت بهتر، مجموع فاصله بین همه گره‌های سرخوشه در



شکل (۴) - مقایسه تأخیر در دو الگوریتم STSA و EDT با تغییر تعداد گره‌های حسگر

همچنین افزایش تعداد گره‌های حسگر، تغییر محسوسی بر روی تأخیر در الگوریتم پیشنهادی STSA نداشته است. چرا که، تعداد خوشه‌های موجود در شبکه ثابت بوده و گره چاهک برای جمع‌آوری داده‌های سنجش شده، در نزدیکی سرخوشه‌ها قرار می‌گیرد. اما، برخلاف الگوریتم پیشنهادی، گره چاهک در الگوریتم EDT در نزدیکی نقاط ملاقات قرار می‌گیرد که این نقاط از میان گره‌های حسگر تعیین می‌شوند. بنابراین، واضح است که با افزایش تعداد گره‌های حسگر در شبکه، تعداد این نقاط ملاقات بیشتر شده و تأخیر را در شبکه بیشینه می‌نماید. در این سناریو، الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم EDT، مصرف انرژی و تأخیر را به ترتیب به اندازه ۴۰٪/۹ و ۸۶٪/۳ در حالت بیشترین تعداد گره حسگر بهبود بخشیده است.

تغییر تعداد خوشه: خوشه‌بندی، تعیین سرخوشه‌های کارآمد و تغییر آن‌ها در طول عملکرد شبکه، نقش به‌سزایی در توازن مصرف انرژی در میان گره‌ها دارد. با افزایش تعداد خوشه‌ها، گره‌های حسگر به گروه‌های بیشتری افزای می‌شوند و این امر انرژی مصرفی گره‌ها را کاهش می‌دهد. در حالی که، هر چه تعداد گره‌های سرخوشه بیشتر شود، مسافت بیشتری توسط گره چاهک در شبکه پیموده می‌گردد. در نتیجه، تأخیر در ارسال داده‌ها افزایش می‌یابد.

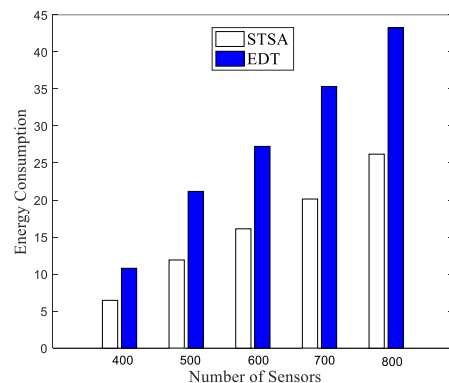


شکل (۶) - مقایسه مصرف انرژی گره‌های حسگر در الگوریتم STSA با تغییر تعداد خوشه

همچنین، افزایش ابعاد شبکه منجر به افزایش تأخیر در ارسال داده شده است. از آنجایی که، الگوریتم EDT، به انتخاب نقاط توقف می‌پردازد، با افزایش ابعاد شبکه این نقاط نیز افزایش می‌یابند. در نتیجه، گره چاهک جهت جمع‌آوری داده‌های حسگرها مسافت طولانی‌تری را نسبت به الگوریتم پیشنهادی ما یعنی STSA می‌پیماید. در این حالی است که، در الگوریتم STSA، تنها نیاز است که گره چاهک در نزدیکی سرخوشه‌ها قرار گیرند و داده‌های بافر شده در آن‌ها را جمع‌آوری کنند. به عبارت بهتر، افزایش تعداد گره‌های سرخوشه با افزایش ابعاد شبکه در ارتباط با یکدیگر نیستند. بنابراین، تأخیر در الگوریتم STSA، بسیار کم‌تر از الگوریتم EDT می‌باشد.

در این سناریو، الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم EDT در بزرگ‌ترین ابعاد شبکه، از نظر تأخیر و انرژی مصرفی ۸۶٪/۹ و ۳۱٪/۹ بهبود بخشیده است.

تغییر تعداد گره‌های حسگر: همان‌طور که نشان داده شده است، افزایش تعداد گره‌های حسگر در شبکه منجر به افزایش انرژی مصرفی گره‌های حسگر در هر دو الگوریتم STSA و EDT خواهد شد. چرا که، تعداد بسته‌های داده‌های ارسالی در شبکه که از آن‌ها به گره چاهک انتقال می‌یابند، افزایش یافته است. براساس مدل رادیویی مرتبه اول برای مصرف انرژی، انرژی مصرفی گره‌های حسگر با تعداد بسته‌های ارسالی رابطه مستقیم دارند. بنابراین با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی، انرژی مصرفی نیز بیشینه می‌گردد. این در حالی است که، خوشه‌بندی و تغییر نقش سرخوشه در الگوریتم STSA کمک شایانی به توازن مصرف انرژی گره‌های حسگر کرده است و نسبت به الگوریتم EDT از نظر انرژی مصرفی، عملکرد بهتری را نشان دهد.

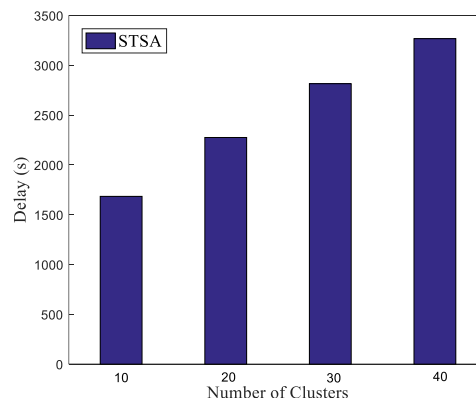


شکل (۵) - مقایسه مصرف انرژی گره‌های حسگر در دو الگوریتم STSA و EDT با تغییر تعداد گره‌های حسگر

در نتایج را مدنظر قرار داده و سپس، میزان بهبود ایجاد شده را برحسب درصد برای این حالت بیان نمود. به عنوان مثال، الگوریتم پیشنهادی توانسته است که در حالت کمترین تعداد گره‌های حسگر، انرژی مصرفی و تأخیر به ترتیب ۱۱/۹۸٪ و ۷۴/۳۳ نسبت به الگوریتم EDT بهبود بخشیده است.

۶- مراجع:

- [1] H. Salarian, K. W. Chin, and F. Naghdy, "An efficient mobile-sink path selection strategy for wireless sensor networks," IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 63. No. 5, pp. 2407-2419, Jun. 2014.
- [2] M. Krishnan, S. Yun, and Y. M. Jung, "Dynamic clustering approach with ACO-based mobile sink for data collection in WSNs," Wireless Networks, vol. 25, pp. 4859-4871, Jun. 2018.
- [3] S. Chowdhury and Ch. Giri, "Energy and network balanced distributed clustering in wireless sensor network," Wireless Personal Communications, vol. 105, pp. 1083-1109. Feb. 2019.
- [4] A. Singh, S. Kumar, and Kaiwartya, "A hybrid localization algorithm for Wireless Sensor Networks," in proc. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing 2015 (ICRTC-2015), Feb. 2015, pp. 1432 – 1439.
- [5] H. Lin and H. Üster, "Exact and heuristic algorithms for data-gathering cluster-based wireless sensor network design problem," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 22, no. 3, pp. 903-916, Jun. 2014.
- [6] S. Srivastava, M. Singh, and S. Gupta, "Wireless sensor network: a survey," in Proc. 2018 International Conference on Automation and Computational Engineering (ICACE), Oct. 2018, pp. 1-6.
- [7] A. Nagaraju and Dipanshu, "WITHDRAWN: Energy-Efficient Routing Technique for Wireless Sensor Networks Using Multiple Mobile Sink Nodes," Parallel Computing, Mar. 2020.
- [8] V. Kumar and A. Kumar, "Improving reporting delay and lifetime of a WSN using controlled mobile sinks," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, doi.org/10.1007/s12652-018-0901-5, Jun. 2018.
- [9] X. Liu, T. Qiu, X. Zhou, T. Wang, L. Yang, and V. Chang, "Latency-aware path planning for disconnected sensor networks with mobile sinks," IEEE Transaction on Industrial Informatics, vol. 16, no.1, pp.350-361, Jan. 2020.
- [10] N. Sharmin, A. Karmaker, W. L. Lambert, M. S. Alam, and S. A. Shawkat, "Minimizing the energy hole problem in wireless sensor networks: a wedge merging approach," Sensors, vol. 20, no. 1, pp. 1-25, Jun. 2020.
- [11] H. Lin and H. Üster, "Exact and heuristic algorithms for data-gathering cluster-based Wireless Sensor Network design problem," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 22, no. 3, pp. 903-916, Jun. 2014.
- [12] K. Nitesh, A. Kawan, and P. Jana, "Energy density based mobile sink trajectory in wireless sensor networks," Microsystem Technologies, vol. 25, pp. 1771-1781, Oct. 2019.



شکل (۷) - مقایسه تأخیر در الگوریتم STSA با تغییر تعداد خوشه

۵- نتیجه گیری:

ما الگوریتم پیشنهادی خود را با الگوریتم ارائه شده در مرجع [۱۲]، از نظر مصرف انرژی و تأخیر در سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار دادیم. در هر یک از این سناریوها، با تغییر در یکی از پارامترهای شبکه، این مقایسه و تحلیل انجام گرفت. این پارامترها عبارتند از: (۱) تغییر تعداد گره‌های حسگر (۲) تغییر اندازه شبکه (۳) تغییر تعداد خوشه‌ها

نتایج حاصل حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی ما با عنوان "مسیر حرکت گره چاهک مبتنی بر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شد" عملکرد بهتری از نظر مصرف انرژی و تأخیر نسبت به الگوریتم مرجع مذکور دارند. این نتایج به علت استفاده صحیح از فرضیات و روش‌های موجود می‌باشد. با کنار هم قرار دادن این روش‌ها توانستیم نتایج بهتری نسبت به الگوریتم مرجع به دست آوریم. به عنوان مثال در تمامی این سناریوها، تأثیر استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی مشخص گردید. این الگوریتم خوشه‌بندی نشان که تا حد قابل توجهی میزان انرژی مصرفی شبکه را کاهش می‌دهد و منجر به کمینه شده تأخیر در ارسال داده‌ها می‌شود. در کنار این مسأله، گره‌ای که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد، نقش به‌سزایی در الگوریتم‌های خوشه‌بندی ایفا می‌کند. همچنین، اهمیت انتخاب درست این نقش در شبکه به‌خوبی مشخص گردید.

می‌توان برای مشخص شدن میزان بهبود در عملکرد شبکه الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم مرجع از درصد‌های ریاضی استفاده نمود. در این راستا، یکی از حالات اتفاق افتاده