

مروری بر کارهای مرتبط استفاده از چندین چاهک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

فاطمه مرادی^۱، مهدیه قزوینی کر^۲، امید عابدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان moradifatemeh1996@eng.uk.ac.ir

۲- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان mghazvini@uk.ac.ir

۳- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان oabedi@uk.ac.ir

چکیده

یکی از مهمترین چالش‌هایی که در جمع‌آوری داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چاهک ثابت وجود دارد این است که گره‌های اطراف چاهک سریعتر از سایر گره‌های شبکه، انرژی خود را از دست می‌دهند و می‌میرند که باعث به وجود آمدن چاله انرژی و همچنین مشکل نقطه داغ می‌شوند. برای رفع این مشکل استفاده از گره چاهک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توصیه می‌شود تا با حرکت گره چاهک در بین مسیرهای انتخاب شده و جمع‌آوری اطلاعات از هر کدام از حسگرها، طول عمر حسگرها و در نتیجه‌ی آن طول عمر شبکه افزایش یابد. عملکرد جمع‌آوری داده‌ها توسط چاهک به شدت تحت تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک موجود در شبکه است. به این خاطر که، استفاده از چندین چاهک متحرک موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش تأخیر در ارسال اطلاعات و کاهش ارتباطات چندگامی می‌شود و در بسیاری از تحقیقات از این معیار برای ایجاد توازن بهتر در شبکه استفاده می‌کنند. پس با توجه به اهمیت تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک در صرفه‌جویی انرژی و افزایش طول عمر شبکه در این مقاله، مروری بر کارهای انجام شده در این زمینه خواهیم داشت.

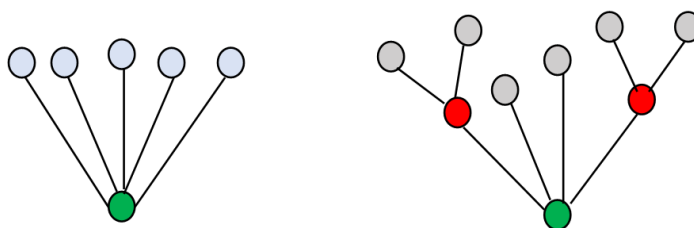
کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چندین چاهک متحرک، مسیریابی، تعیین مسیر

۱. مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ (WSNs) یکی از شبکه‌های مهم و پرکاربرد در دنیای امروز می‌باشند که کار نظارت بر محیط‌های مختلف را ساده کرده‌اند. از جمله کاربردهای این شبکه‌ها می‌توان به نظارت بر محیط زیست، نظارت بر مراقبت‌های بهداشتی، ساختمان‌های هوشمند، کنترل ترافیک، استفاده در میدان‌های جنگی و ... اشاره کرد. این شبکه‌ها از تعداد زیادی گره حسگر کم هزینه و کم مصرف که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازد، تشکیل شده‌اند که می‌توانند شرایط مختلف محیطی مانند دما، فشار، سرعت، نور و غیره را کنترل کنند [۱]. چون مکان قرارگرفتن گره‌های حسگر از قبل تعیین شده و مشخص نیست، در بیشتر مواقع در مکان‌های خطرناک استفاده می‌شوند. از طرفی گره‌های حسگر انرژی مورد نیاز خود را از باتری تغذیه می‌کنند و برای اینکه بتوانند برای مدت طولانی کار کنند نیاز به شارژ مجدد دارند که به دلیل استفاده در مکان‌های غیرقابل دسترس و خطرناک، شارژ و یا تعویض باتری‌های حسگر غیرممکن است. به همین دلیل از انرژی گره‌های حسگر باید حداکثر استفاده شود. پس با توجه به این محدودیت‌ها مدیریت بهینه انرژی یکی از مهمترین مشکلات WSNs است [۲]. گره‌های حسگر علاوه بر ثبت اطلاعات، داده‌ها را از سایر گره‌های حسگر از طریق

¹ Wireless Sensor Networks (WSNs)

ارتباطات تک‌گامی^۲ یا چندگامی^۳، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، به ایستگاه پایه انتقال می‌دهند. در انتقال تک‌گامی، هر گره مستقیماً داده‌ها را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند و گره‌هایی که حداکثر فاصله را با ایستگاه پایه دارند باتری آن‌ها سریع تخلیه می‌شود. در حالی که در انتقال چندگامی گره‌هایی که به ایستگاه پایه نزدیکتر هستند در مقایسه با گره‌هایی که فاصله زیادی دارند باتری خود را سریعتر تخلیه می‌کنند زیرا تمام داده‌ها از طریق این گره‌ها به ایستگاه پایه ارسال می‌شوند که هر دو انتقال، منجر به چاله انرژی^۴ می‌شوند [۳]. برای غلبه بر این مسائل مفهوم گره چاهک^۵ در شبکه‌های بی‌سیم معرفی شد.



شکل ۱- انتقال داده‌ها از طریق ارتباطات تک‌گامی یا چندگامی

گره چاهک مسئول دریافت اطلاعات و مدیریت رفتار شبکه است که می‌تواند ثابت یا متحرک باشد و نقش مهمی در WSNs دارد. در سناریوهای مسیریابی سنتی گره‌های حسگر، بسته‌های داده را از گره منبع به چاهک ثابت (SS)^۶ به صورت چندگامی منتقل می‌کنند. یک نقطه ضعف استراتژی چندگامی در چاهک ثابت این است که گره‌های حسگر نزدیک به گره چاهک به دلیل دریافت و ارسال داده‌های بیشتر بار ترافیکی بیشتری نسبت به بقیه گره‌ها حمل می‌کنند و به دلیل محدودیتی که از نظر حافظه دارند، انرژی خود را سریعتر از دست می‌دهند و می‌میرند که باعث به وجود آمدن چاله انرژی و همچنین نقطه داغ^۷ در WSNs می‌شوند [۴]. یک روش برای کاهش فاصله ارتباطی گره‌های حسگر و چاهک ثابت، استفاده از چندین چاهک ثابت و برنامه‌ریزی گره‌های حسگر برای ارسال داده‌های خود به نزدیکترین چاهک ثابت است [۵]. چالش موجود در این روش، قرارگیری صحیح چاهک‌های ثابت در شبکه است که استقرار بهینه آن‌ها در بسیاری از موارد امکان‌پذیر نیست؛ زیرا گره‌هایی که نزدیک به یک چاهک خاص هستند در مقایسه با بقیه گره‌ها انرژی بیشتری را از دست می‌دهند و باعث ایجاد چاله انرژی می‌شوند. بنابراین به خاطر کمبود حافظه برای جلوگیری از پر شدن حافظه دروازه، از بین رفتن داده‌های جدیدالورود و جلوگیری از چاله انرژی از چاهک متحرک^۸ (MS) که داده‌ها را به موقع و قبل از پر شدن حافظه جمع‌آوری می‌کند، استفاده می‌کنند که اولین بار ایده استفاده از چاهک متحرک در [۶] معرفی شد.

استفاده از چاهک‌های متحرک به مصرف انرژی یکنواخت و تعادل بار^۹ کمک می‌کنند. انتخاب بهینه نقاط ملاقاتی که چاهک باید به سمت آن‌ها حرکت کند یک مشکل NP_Hard است. برای رفع این مشکل الگوریتم^{۱۰} PSOBS در [۲]

² Single-hop

³ Multi-hop

⁴ Energy-Hole

⁵ Sink node

⁶ Static Sink (SS)

⁷ Hot spots

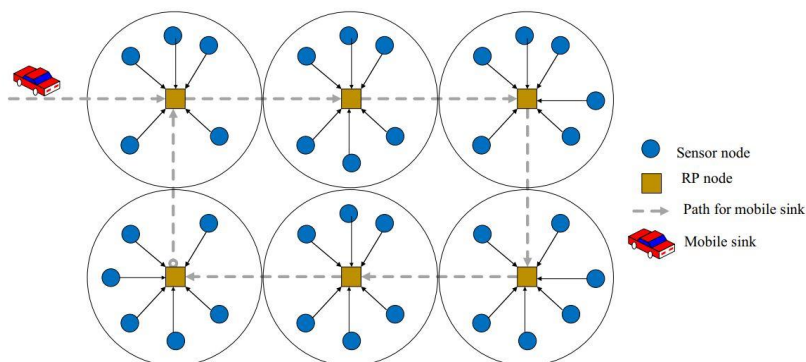
⁸ Mobile Sink (MS)

⁹ Load Balancing

¹⁰ Particle Swarm Optimization Based Selection (PSOBS)

پیشنهاد شده است که شامل مرحله انتخاب نقاط ملاقات (RP)^{۱۱} و محاسبه مسیر بهینه نقاط ملاقات با استفاده از الگوریتم TSP^{۱۲} است. در این روش چاهک می‌تواند فاصله بین هر دو گره را تعیین کند و همچنین می‌تواند همسایگان هر گره را با استفاده از دامنه‌های انتقال گره شناسایی کند. در نتیجه چاهک قادر خواهد بود درخت TSP را بدون ارسال هیچ پیامی بین گره‌ها ایجاد کند و همچنین کوتاهترین مسیر از یک گره به گره دیگر را پیدا کند. سپس با تولید تعداد کمتری خوشه، طول تور نیز کاهش می‌یابد. مدل جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر نقاط ملاقات توسط چاهک متحرک در شکل ۲ ارائه شده است. اگرچه استفاده از چاهک متحرک مزایای زیادی را شامل می‌شود اما با چالش‌های جدیدی هم مواجهه می‌شود که در بخش بعد به طور مفصل به آن می‌پردازیم.

بخش‌های اصلی مقاله به این شرح است. ابتدا در بخش ۲ مسائل طراحی و چالش‌های چاهک متحرک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۳ کارهای انجام شده در رابطه با استفاده از چندین چاهک متحرک مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۴ به ارزیابی و مقایسه روش‌های مرور شده اختصاص داده شده است و در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری بیان می‌شود.



شکل ۲- مدل جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر نقاط ملاقات توسط چاهک متحرک [۲]

۲. مسائل طراحی و چالش‌ها

به طور کلی چاهک‌های متحرک، اشیاء متحرکی هستند که قادر به جمع‌آوری داده‌ها و مجهز به گیرنده‌های قوی و قدرت باتری نامحدود می‌باشند. چاهک‌های متحرک به سمت همه خوشه‌ها حرکت می‌کنند و داده‌ها را مستقیماً در یک گام جمع‌آوری کرده و هنگام رسیدن به ایستگاه پایه، همه داده‌ها را به آن تحویل می‌دهند. تحرک چاهک ممکن است در برخی از برنامه‌ها محدود باشد. یک پروتکل مسیریابی سلسله‌مراتبی مربوط به انرژی و پوشش که شامل چهار مرحله است در [۷] ارائه شده است که با محدودیت حرکت چاهک مشکل چاله انرژی را کاهش می‌دهد. در این روش گره‌های نزدیک به مکان‌های اقامت به عنوان گره ملاقات^{۱۳} (RN) که مسئول تحویل داده‌های شبکه به چاهک متحرک هستند در نظر گرفته می‌شوند و برای انتخاب سرخوشه‌های مناسب، از پارامترهای انرژی باقیمانده، مرکزیت همسایه و اهمیت پوشش که میزان هم‌پوشانی منطقه حس شده گره با همسایگان آن را اندازه‌گیری می‌کند استفاده شده است. در نهایت برای متعادل کردن انرژی WSN با در نظر گرفتن تابع هزینه‌ای، سرخوشه‌ها در گام‌های بعدی گره‌های ملاقاتی را برای ارسال داده‌ها در نظر می‌گیرند که

¹¹ Rendezvous points (RP)

¹² Traveling sales person (TSP)

¹³ Rendezvous node (RN)

انرژی باقیمانده زیادی را شامل می‌شوند. سپس به دلیل انتخاب حداقل گام توسط سرخوشه‌ها باعث کاهش تأخیر در تحویل داده‌ها می‌شوند.

محدودیت چاهک متحرک بر تراکم داده‌های داخل شبکه تأثیر می‌گذارد و بهینه‌سازی کارایی شبکه برای توزیع تصادفی و توپولوژی سلسله مراتبی تبدیل به یک چالش می‌شود. برای حل این چالش، چائو و همکارانش [۸] یک طرح جمع‌آوری اطلاعات مبتنی بر گراف را برای بهینه‌سازی مصرف انرژی تمام گره‌های حسگر به صورت سلسله مراتبی به نام بهینه‌سازی مضاعف بهره‌وری انرژی^{۱۴} (DOEE) ارائه دادند. در این روش از پروتکل کشف مسیر با SPT^{۱۵} بهبود یافته، و پروتکل تحویل داده‌ها برای تعادل مصرف انرژی و بهبود مقاومت شبکه استفاده شده است. ممکن است چاهک‌های متحرک به صورت یک ربات هوشمند، هواپیمای بدون سرنشین (UAV)^{۱۶} [۹] و یا وابسته به انسان، که دارای لپتاپ نصب شده بر روی وسیله نقلیه یا اتصال چاهک به بازوی انسان [۱۰] باشند که می‌توانند در سراسر زمین برای جمع‌آوری داده‌ها در مسیر خود حرکت کنند و داده‌ها را مستقیماً در یک گام جمع‌آوری کرده و در نهایت تمام داده‌ها را به ایستگاه پایه ارسال کنند.

۱.۲ الگوهای تحرک چاهک

به مسیری که یک چاهک متحرک در حین حرکت در میدان شبکه دنبال می‌کند، مسیر حرکت چاهک متحرک گفته می‌شود که می‌توان این مسیر را به سه دسته تحرک تصادفی^{۱۷} [۱۱، ۱۲]، تحرک قابل پیش‌بینی/ثابت^{۱۸} [۱۶-۱۳] و تحرک کنترل شده^{۱۹} [۱۷، ۱۸] تقسیم کرد که در ذیل به توضیح مختصری از الگوهای حرکت می‌پردازیم.

استراتژی تحرک تصادفی: در این نوع تحرک، الگوی تحرک نسبتاً آسان است و به هیچ‌گونه اطلاعات شبکه احتیاج ندارد و کاملاً به صورت تصادفی در شبکه حرکت می‌کند و موقعیت آینده چاهک در این الگوی تحرک مشخص نیست. بیشتر اوقات چاهک از روش pull برای جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های حسگر استفاده می‌کند که در این روش یک گره داده‌های خود را تنها زمانی ارسال می‌کند که چاهک برای آن درخواست داده باشد و از طرف دیگر در روش push یک گره به صورت دوره‌ای داده‌های خود را به چاهک متحرک ارسال می‌کند. در الگوی تحرک تصادفی نمی‌توان به این اطمینان داشت که چاهک متحرک تمام گره‌های موجود در شبکه را ملاقات کند و یا این احتمال هم وجود دارد که مسیرهای طولانی‌تری را برای پیمایش انتخاب کند.

استراتژی تحرک قابل پیش‌بینی / ثابت: این نوع تحرک ساده‌ترین الگو در بین سه الگوی تحرک است. زیرا همیشه چاهک متحرک یک مسیر استراتژی مشخص را دنبال می‌کند و گره‌های حسگر می‌توانند زمان رسیدن و موقعیت‌های چاهک متحرک را پیش‌بینی کنند. این نوع الگوی تحرک به ویژه برای برنامه‌هایی مانند پارک خودرو در کنار جاده‌ها که در آن چاهک متحرک (راننده خودرو) می‌تواند در مورد در دسترس بودن جایگاه‌های پارکینگ در برخی از مناطق مورد علاقه پرس‌وجو کند، جذاب است.

استراتژی تحرک کنترل شده: در این نوع تحرک، چاهک مسیر جمع‌آوری داده‌ها را بر اساس پارامترهایی مانند انرژی باقیمانده، مقدار آستانه و غیره تعیین می‌کند. چاهک متحرک در این مدل، الگوی تحرک خود را به گونه‌ای در نظر می‌گیرد که نتایج بهینه‌تری را به همراه داشته باشد. به عنوان مثال، اگر هدف افزایش طول عمر شبکه باشد، چاهک حرکت بعدی

¹⁴ Double Optimization of Energy Efficiency (DOEE)

¹⁵ Shortest Path Tree (SPT)

¹⁶ Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

¹⁷ Random Mobility

¹⁸ Predictable/Fixed-Path Mobility

¹⁹ Controlled Mobility

خود را به سمت مناطق غنی از انرژی انجام می‌دهد تا به استفاده متعادل از ذخیره انرژی گره‌ها دست یابد. به طور مشابه، در برنامه‌هایی که تأخیر ارسال پیام برایشان یک مسئله حیاتی است، چاهک به سمت مناطق گزارش رویداد حرکت می‌کند تا ارتباطات چندگامی را کاهش دهد.

نقاط ضعف اصلی مدل‌های حرکتی تصادفی و قابل‌پیش‌بینی، تأخیر انتقال داده‌هاست. در اینجا گره‌های جمع‌آوری اطلاعات از نوع حسگر باید منتظر گره چاهک بمانند تا از مجاورت آن‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌ها عبور کند این زمان می‌تواند در مقادیر بالا، باعث تأخیر در انتقال داده‌ها و ایجاد راه‌حل نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ باشد پس اگر از تحرک کنترل‌شده استفاده شود می‌توان بر مشکل تأخیر غلبه کرد و نتایج بهتری را به همراه داشت.

۲.۲ مزایا و معایب استفاده از چاهک متحرک:

استفاده از چاهک‌های متحرک مزایای زیادی را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل می‌شود که در ذیل به معرفی آنها می‌پردازیم [۱۹، ۲۰].

- رفع مشکل نقاط داغ و جلوگیری از ایجاد چاله‌انرژی: کاملاً واضح است که تغییر مکان اقامت چاهک، دلالت بر تغییر همسایگی تک‌گامی چاهک دارد و این چنین می‌تواند از اینکه فقط یکسری گره‌های خاص در معرض بار بیشتری نسبت به دیگر گره‌ها قرار گیرند، و انرژی خود را سریعتر از بقیه از دست دهند جلوگیری کند. در نهایت حرکت چاهک منجر به مصرف متعادل انرژی در بین گره‌ها می‌شود.
- افزایش طول عمر حسگر: با استفاده از تحرک چاهک، نه تنها مشکل چاله‌انرژی کاهش می‌یابد، بلکه طول عمر گره‌ها را نیز افزایش، و در نتیجه ارتباط چندگامی را کاهش می‌دهد. گره‌های حسگر به عنوان دستگاه‌هایی با محدودیت انرژی در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که چاهک، هیچ‌گونه محدودیت انرژی ندارد. از آنجا که ماژول ارتباطی، مصرف‌کننده اصلی ذخایر انرژی یک گره محسوب می‌شود، اگر چاهک به گره‌هایی که قصد ارسال اطلاعات خود را دارند، نزدیک شود می‌تواند صرفه‌جویی بیشتری در انرژی به دست آورد و در نتیجه ارتباط چندگامی را محدود کند.
- تا حد زیادی با کم کردن فاصله انتقال بین جفت‌های ارتباطی، ارتباط چندگامی را کاهش می‌دهد که نتیجه آن باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود.
- کاهش احتمال خطای انتقال و برخورد: از آنجایی که با حضور چاهک متحرک نیاز به ارتباط چندگامی محدود می‌شود می‌توان گفت، تعداد گام‌ها کاهش می‌یابد و تعداد کمی ارسال مجدد انجام می‌شود. در نتیجه احتمال خطای انتقال و برخورد کاهش می‌یابد.
- بهبود قابلیت اطمینان: به دلیل کاهش برخورد گره‌ها در زمان جمع‌آوری داده‌ها، قابلیت اطمینان بهبود می‌یابد.
- بهبود امنیت: چاهک‌های متحرک به خاطر اینکه ردیابی آن‌ها مشکل است، امنیت بهتری نسبت به چاهک‌های ثابت را ایجاد می‌کنند. زیرا یک دشمن باید در ابتدا مکان چاهک را کشف و سپس تعقیب کند تا بتواند به آن آسیب برساند.
- پوشش بهتر: چاهک متحرک به دلیل قابلیت تحرک می‌تواند به طور بالقوه شبکه‌های پراکنده را پوشش دهد و می‌تواند از منطقه‌های خطرناک، داده‌ها را جمع‌آوری کند.



اگرچه استفاده از چاهک متحرک مزایای زیادی را شامل می‌شود اما با چالش‌های جدیدی مانند تبلیغ موقعیت چاهک متحرک در گره‌های حسگر و مسئله تنظیم مسیریابی چاهک مواجهه است. به دلیل اینکه گره چاهک، متحرک است هر گره حسگر قبل از انتقال داده خود باید از آخرین موقعیت چاهک آگاه باشد تا بتواند آن‌ها را به چاهک ارسال کند، در ابتدا ساده‌ترین روش استفاده از الگوریتم سیل‌آسا^{۲۰} است که طبق این روش چاهک متحرک باید موقعیت خود را به تمامی گره‌هایی که در منطقه تحت پوشش شبکه هستند منتشر کند که باعث ایجاد سربار زیادی در شبکه می‌شود. پس با توجه به منابع کمیاب انرژی گره‌ها نحوه نگه‌داری از موقعیت‌های جدید چاهک‌های متحرک یک مشکل اساسی است که برای رفع آن در [۲۱، ۲۲] فقط مجموعه‌ای از سرخوشه‌ها طبق برخی قوانین انتشار مسئول حفظ مسیرهای جدید مکان بعدی چاهک‌های متحرک هستند و در نهایت، آن سرخوشه‌ها اطلاعات محل چاهک‌های متحرک را به صورت کنترل‌شده به سرخوشه‌های باقی‌مانده منتقل می‌کنند. در [۲۳] یک پروتکل مسیریاب چاهک متحرک به نام Grid Routing با هدف کاهش تبلیغات سربار مکان چاهک در شبکه ارائه شده است که با تقسیم شبکه به چندین سلول با اندازه یکنواخت یک ساختار مجازی ایجاد می‌کند و برای به حداقل رساندن کنترل سربار شبکه از یک طرح تنظیم مسیرهای محلی پویا استفاده می‌کند که فقط تعداد محدودی از سرسلول‌ها توسط یکسری قوانین ارتباطی مسیرهای جدید چاهک را تنظیم می‌کنند. همچنین الگوریتم مسیریابی Nested که در [۲۴] پیشنهاد شده است، دارای دو نوع گره طبیعی و روتر است که این گره‌های روتر، حلقه‌ها^{۲۱} را تشکیل می‌دهند. در واقع هدف از ایجاد حلقه‌ها، حفظ آخرین موقعیت چاهک و پاسخ به درخواست موقعیت چاهک دریافت‌شده از گره‌های معمولی، توسط گره‌های روتر است. پس هر زمان که گره حسگر داده‌ای برای انتقال به چاهک داشت، ابتدا درخواست موقعیت چاهک را به نزدیکترین حلقه (با محاسبه شعاع هر حلقه در شبکه و فاصله آن از مرکز منطقه) ارسال می‌کند و سپس نزدیکترین گره روتر در نزدیکترین حلقه، آخرین موقعیت چاهک را به گره حسگر ارسال می‌کند. همچنین برای کاهش سربار زیاد به دلیل تبلیغات مکرر مکان چاهک متحرک در سراسر شبکه در [۲۵] یک پروتکل مسیریابی حلقه تعادل بار^{۲۲} (LBRR) برای شبکه‌های حسگر ناهمگن در مقیاس بزرگ معرفی کرده‌اند که این پروتکل از چهار مرحله به نام ساخت حلقه، انتخاب گره عامل^{۲۳} (AGN) و اعلام محل چاهک، انتقال و در نهایت مرحله تبادل نقش حلقه تشکیل شده است که چالش‌های مربوط به WSNs از جمله به حداقل رساندن مصرف انرژی، تعادل بار و تحویل قابل اطمینان داده‌ها را برطرف می‌کند.

مسیر حرکت چاهک متحرک تأثیر قابل توجهی بر عملکرد شبکه دارد. در رابطه با چالش تنظیم مسیریابی، مسیریابی چاهک هم باید به گونه‌ای باشد که ضمن توازن بار بر روی گره‌های مختلف، طول عمر شبکه را حداکثر سازد. در [۲۶] با استفاده از منحنی Hilbert به عنوان یک مسیر کارآمد برای جمع‌آوری داده‌ها، حرکت چاهک را در زمینه حسگر بهینه می‌کند. در ابتدا گره‌های حسگر به طور تصادفی در قسمت حسگر که به عنوان یک شبکه دو بعدی نشان داده شده است مستقر می‌شوند، سپس خوشه‌ها با توجه به ترتیب منحنی Hilbert تشکیل می‌شوند. برای بهینه‌سازی انرژی در هر خوشه، برنامه‌سازی ILP^{۲۴} را برای هر خوشه اعمال کردند تا نقاط ملاقات مجازی^{۲۵} (VRP) بهینه برای هر خوشه و سطح مطلوب را برای هر گره حسگر پیدا می‌کنند و در نهایت مسیر منحنی Hilbert که به تمام VRP بهینه می‌پیوندد برای حرکت چاهک با هدف بازدید از همه خوشه‌ها ایجاد می‌شود.

در [۲۷] یک روش برای طراحی مسیر چاهک متحرک با استفاده از موقعیت‌های اقامت شناخته شده به عنوان نقاط ملاقات برای دستیابی به داده‌ها معرفی شده است. در روش پیشنهادی نقاط تلاقی خطوط مستقیم بین دو گره حسگر به

²⁰ Flooding

²¹ Rings

²² Load Balanced Ring Routing

²³ Agent node

²⁴ Integer Linear Programming

²⁵ Virtual Rendezvous Point (VRP)

عنوان موقعیت‌های احتمالی نقاط ملاقات در نظر گرفته می‌شوند، سپس از بین این موقعیت‌های احتمالی تعداد بهینه نقاط ملاقات را انتخاب می‌کنند. در نهایت برای طراحی مسیر چاهک متحرک از طریق نقاط ملاقات انتخاب شده از مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده می‌شود.

در [۲۸] روشی به نام طرح انتخاب لنگر کوچک سازی منطقه^{۲۶} (ASAS) برای کوتاه کردن مسیر چاهک متحرک پیشنهاد شده است. ایده ASAS به این صورت است که اول از همه یک مسیر TSP، از موقعیت ایستگاه پایه (محل شروع چاهک متحرک) برای بازدید از موقعیت گره‌های حسگر و در نهایت به موقعیت ایستگاه پایه، براساس یکی از رویکردهای حریصانه یا هیوریستیک ساخته می‌شود و سپس براساس مفهوم رویکرد SHA، مسیر طی شده مسیر اصلی TSP در یک حسگر را با دو خط تشکیل می‌دهد و براساس نقاط لنگر و حداکثر محدوده ارتباطی برای حسگرها می‌تواند مسیر را کوتاه‌تر کند.

در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر چاهک متحرک بعد از کشف موقعیت چاهک و انتخاب یک مسیر بهینه برای رسیدن داده‌ها به چاهک، زمان اتصال به چاهک هم مهم است که باید طوری برنامه‌ریزی شود که در آن زمان مشخص شده، انتقال داده به طور کامل انجام شود. در [۲۹] یک طرح مشارکتی بهینه سازی زمان اقامت چاهک متحرک^{۲۷} (CMS2TO) ارائه شده است که هدف آن بهینه‌سازی زمان اقامت چاهک متحرک در هر خوشه به منظور متعادل‌سازی طول عمر سرخوشه‌های واقع در شبکه است. این طرح پیشنهادی شامل سه مرحله اصلی محاسبه زمان پیشنهاد اقامت، محاسبه آستانه و بهینه سازی زمان اقامت است. در مرحله اول، زمان‌های اقامت برای اقامت چاهک متحرک در خوشه اقامت به گونه‌ای تعیین می‌شوند که واریانس زمان‌های پیشنهاد شده برای اقامت به حداقل برسد و از آستانه فراتر نرود. در مرحله دوم، CMS2TO آستانه زمان اقامت چاهک متحرک را در خوشه اقامت تعیین می‌کند. سرانجام در مرحله سوم، زمان مطلوب اقامت چاهک متحرک با توجه به زمان‌های پیشنهاد شده برای اقامت و آستانه تعیین شده توسط ILP^{۲۸} محاسبه می‌شود.

در [۳۰] یک روش ترکیبی به نام HM-ACOPSO برای برنامه‌ریزی مسیر حرکت کارآمد برای چاهک متحرک که ترکیبی از ACO و PSO است، ارائه شده است. در روش پیشنهادی ابتدا شبکه به خوشه‌هایی تقسیم می‌شود و گره‌هایی با بیشترین وزن را به عنوان گره‌های سرخوشه انتخاب می‌کنند. برای انتخاب کوتاهترین مسیر، چاهک متحرک سرخوشه‌ها را به ترتیب الگوریتم ACO طی می‌کند و سرانجام با استفاده از الگوریتم PSO که هدفش به حداقل رساندن مسیر حرکت چاهک متحرک است، برای هر سرخوشه یک گره لنگر انتخاب می‌کند. در نهایت محدوده ارتباطی هر سرخوشه با توجه به انرژی باقیمانده به صورت پویا تنظیم می‌شود و گره‌های لنگر را برای صرفه‌جویی در زمان اقامت ادغام کرده‌اند. اشکال اصلی این روش این است که از یک چاهک متحرک استفاده کرده‌اند که منجر به تأخیر زیاد در جمع‌آوری داده‌ها می‌شود.

از آنجایی که عملکرد جمع‌آوری داده‌ها به شدت تحت تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک موجود در شبکه است، و استفاده از چندین چاهک متحرک موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش تأخیر در ارسال اطلاعات و کاهش ارتباطات چندگامی می‌شود. در بسیاری از تحقیقات از این معیار برای ایجاد توازن بهتر در شبکه استفاده می‌کنند که در بخش بعد به مروری بر کارهای انجام‌شده در رابطه با استفاده از چندین چاهک متحرک می‌پردازیم.

۳. کارهای انجام شده در رابطه با استفاده از چندین چاهک متحرک

²⁶ Area-Shrinking Anchor Selection Scheme (ASAS)

²⁷ Collaborative Mobile Sink Sojourn Time Optimization (CMS2TO)

²⁸ Integer Linear Programming (ILP)

امروزه استفاده از چندین چاهک متحرک به دلیل توانایی بالقوه آن‌ها در دستیابی موثر و جمع‌آوری داده‌های کارآمد مورد توجه بسیاری از محققان WSN قرار گرفته است. افزایش تعداد چاهک‌های متحرک به معنای توزیع داده‌ها در بین این چاهک‌هاست که منجر به کاهش زمان لازم برای دسترسی به داده‌ها در ایستگاه پایه می‌شود و کاهش این زمان به معنی کاهش تأخیر داده‌ها بین مبدا و مقصد است [۳۱]. و همچنین استفاده از چندین چاهک در شبکه از خرابی شبکه جلوگیری می‌کند زیرا زمانی که یک چاهک به هر دلیلی خراب شد چاهک دیگری وجود دارد که اطلاعات گره‌ها را جمع‌آوری و به ایستگاه پایه ارسال کند.

در روش EGRPM [۳۲] شبکه به برخی سلول تقسیم می‌شود و در هر سلول گره با بیشترین انرژی باقیمانده به عنوان عامل سلول انتخاب می‌شود که بر اساس ارتباط بین سلول‌ها و چاهک‌های متحرک، سلول‌ها به دو دسته سلول‌های ارتباطی تک‌گامی^{۲۹} (SCC) و سلول‌های ارتباطی چندگامی^{۳۰} (MCC) تقسیم می‌شوند. در واقع برای جمع‌آوری داده‌های گره‌های سلولی، از دو چاهک متحرک که در دو مدار هم‌مرکز به شکل لوزی در جهت عقربه‌های ساعت به گونه‌ای حرکت می‌کنند که همزمان نیمی از شبکه توسط چاهک‌ها پوشانده می‌شود، استفاده شده است. برای انتقال داده به چاهک با توجه به محل قرارگیری سلول‌ها سه حالت وجود دارد که عبارتند از: ۱) سلول در فاصله تک‌گامی از چاهک (SCC) قرار دارد که در این حالت عامل سلول بلافاصله داده‌ها را به چاهک متحرک تحویل می‌دهد. ۲) سلول در فاصله دو گامی از چاهک قرار دارد به عبارتی MCC با فاصله یک گام از چاهک، همسایه‌ای دارند. ۳) فاصله عوامل سلولی و چاهک بیش از دو گام است به عبارتی MCC با فاصله یک گام از چاهک، همسایه‌ای ندارند. در این حالت عامل سلول فعلی، بهترین مسیر و کوتاهترین مسیر را از بین مجموعه N_{near} که در مقایسه با عامل سلول فعلی از همسایگان نزدیک به چاهک محسوب می‌شوند، انتخاب می‌کند. در نهایت چاهک‌های متحرک با تکمیل چرخش خود در مدار و جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های مختلف شبکه، داده‌های جمع‌آوری شده را با یک گام به ایستگاه پایه منتقل می‌کنند.

کریشنان و همکاران [۳۳] یک روش خوشه‌بندی اصلاح‌شده را بر اساس پروتکل LEACH برای WSN با استفاده از چندین چاهک متحرک (۳-۱) معرفی کردند. چاهک‌های متحرک برای جمع‌آوری داده‌ها از سرخوشه‌ها، براساس یک ماتریس فاصله که ورودی آن شامل فاصله بین سرخوشه‌ها و چاهک متحرک در شبکه است، در امتداد میدان سنجش حرکت می‌کنند و مسیرهای آن‌ها با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه^{۳۱} (ACO) ارزیابی می‌شود. نویسندگان نشان دادند که روش توسعه‌یافته آن‌ها از، از بین رفتن داده‌ها جلوگیری می‌کند و طول عمر شبکه را بهبود می‌بخشد.

در زمان استفاده از چندین چاهک متحرک بالاخره اگر چاهکی از کار بیفتد شبکه تحت تأثیر قرار می‌گیرد که باعث از بین رفتن بسته، تأخیر زیاد و غیره می‌شود. طرح HALPDG^{۳۲} [۳۴] برای محاسبه مکان دو چاهک متحرک که در امتداد مسیرهای از پیش تعیین‌شده حرکت می‌کنند، از همگام‌سازی زمان loose استفاده کرده است. با استفاده از استراتژی جمع‌آوری داده‌های موجود، شبکه می‌تواند عملکرد عادی جمع‌آوری داده‌ها را به راحتی زمانی که برخی از چاهک‌های متحرک در دسترس نیستند انجام دهد. برای تشخیص به موقع خطای چاهک‌های متحرک، این چاهک‌ها با استفاده از بسته‌های "heartbeat" که در هر یک ثانیه تنظیم کرده‌اند به یکدیگر اعلام می‌کنند که وضعیت آن‌ها سالم است اگر در این زمان چاهکی بسته‌ای از دیگر چاهک‌ها دریافت نکرد تشخیص می‌دهد که آن چاهک در وضعیت سالم نیست و پیام خراب بودن چاهک را همراه با شناسه آن در سراسر شبکه پخش می‌کند. همچنین در این طرح چاهک متحرک میانگین انرژی باقیمانده گره‌های نزدیک به نقاط ساکن را محاسبه می‌کند اگر این میانگین بالاتر از آستانه از پیش تعیین‌شده باشد چاهک

²⁹ Single-hop Communication Cells (SCC)

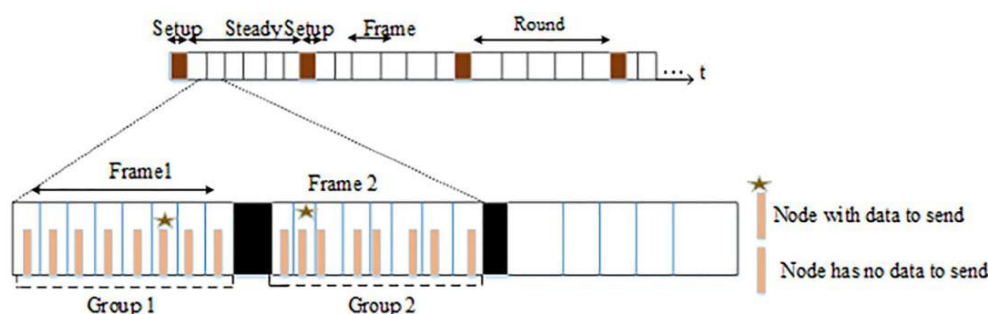
³⁰ Multi-hop Communication Cells (MCC)

³¹ Ant Colony Optimization (ACO)

³² High-Available and Location Predictive Data Gathering (HALPDG)

متحرک برای تعادل مصرف انرژی گره‌ها مسیر حرکت خود را تغییر می‌دهد و یک پیام تنظیم را در سراسر شبکه پخش می‌کند تا شبکه از این تغییر مطلع شود.

در [۳۵] اهمیت چندین چاهک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناهمگن^{۳۳} (HWSNs) که گره‌های حسگر موجود در آن به گره‌های پیشرفته، نرمال و فوق‌العاده طبقه‌بندی می‌شوند را نشان می‌دهد. در ابتدا خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس الگوریتم K-medoid و انتخاب سرخوشه بر اساس ASOA^{۳۴} انجام می‌شود. سرانجام پس از انتخاب سرخوشه، هر کدام از گره‌ها در بازه‌ی زمانی اختصاص داده شده بر اساس مکانیزم‌های زمانبندی TDMA طبق شکل ۳، اطلاعات جمع‌آوری شده خود را به گره سرخوشه ارسال می‌کند. در نهایت استراتژی حرکت چاهک، بر اساس الگوریتم HANT (ترکیبی از Harris Hawks و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه) برای یافتن یک مسیر بهینه استفاده می‌شود که با روش‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم HANT مسئله نقاط داغ حذف می‌شود زیرا شامل ارتباط تک‌گامی از هر سرخوشه به نزدیکترین چاهک متحرک در HWSN است.



شکل ۳- زمانبندی TDMA [۳۵]

در [۳۶] یک پروتکل SOSS با ترکیب SOA^{۳۵} و SSA^{۳۶} در HWSNs برای کشف نقاط ملاقات بهینه و مسیرهای حرکت چندین چاهک متحرک، ارائه شده است که نشان می‌دهند با کاهش تعداد نقاط ملاقات می‌توان طول مسیر چاهک متحرک و همچنین مجموع تأخیر در توزیع داده را کاهش داد. در ابتدا برای تشکیل خوشه از خوشه‌بندی میانگین تغییر^{۳۷} (MSC) و برای انتخاب سرخوشه‌های مناسب از الگوریتم BES استفاده کرده‌اند. پروتکل پیشنهادی از سه مرحله تشکیل شده است که عبارتند از: (۱) مرحله اکتشاف: در این مرحله با استفاده از SOA حرکت چاهک متحرک شبیه‌سازی می‌شود. (۲) محاسبه Fitness: در این مرحله هر چاهک متحرک می‌تواند مسیر خود را با کمک نقاط ملاقات ایجاد کند. (۳) مرحله بهره‌برداری: در نهایت در این مرحله با کمک روش SSA موقعیت به‌روزر شده چاهک را به دست می‌آورند. نویسندگان معتقدند که به دلیل استفاده از چندین چاهک متحرک (۳ عدد) باعث بهبود طول عمر سیستم و مصرف انرژی شده‌اند.

در [۳۷] شبکه به شکل شش ضلعی است. این شش ضلعی از سه لوزی تشکیل شده است که هر لوزی به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شود. شش چاهک متحرک در امتداد یک مثلث داخلی که با اتصال قطرهای بزرگ این سه لوزی شکل گرفته است حرکت می‌کنند. سرخوشه‌ها بر اساس حداکثر انرژی باقیمانده و حداقل Id انتخاب شده‌اند که پس از توقف هر چاهک در ایستگاه توقف، چاهک‌ها یک پیام که حاوی Id چاهک و موقعیت خود است را فقط یک بار در سراسر شبکه

³³ Heterogeneous Wireless Sensor Networks (HWSNs)

³⁴ Adaptive Sunflower Optimization Algorithm (ASOA)

³⁵ Seagull Optimization Algorithm (SOA)

³⁶ SALP Swarm Algorithm (SSA)

³⁷ Mean Shift Clustering (MSC)

پخش می‌کنند و گره‌های حسگر پس از دریافت پیام، فاصله خود را از مکان فعلی چاهک مربوطه محاسبه می‌کنند و مناسب‌ترین چاهک را برای انتقال داده‌های خود انتخاب می‌کنند.

با استفاده از چندین چاهک متحرک یک روش مسیریابی با مصرف انرژی مناسب برای شبکه‌های بی‌سیم در [۳۸] ارائه دادند و برای دستیابی به تعادل بین انرژی باقیمانده و فاصله سرخوشه‌ها تا چاهک متحرک برای افزایش طول عمر سیستم، وزن هر گره را از طریق استفاده از تقسیم انرژی باقیمانده بین گره و فاصله چاهک متحرک محاسبه کردند که عملکرد مناسبی را نشان داد. نویسندگان، اثر تعداد چاهک متحرک بر عملکرد شبکه را هنگام استفاده از روش خوشه‌بندی برای گروه‌بندی گره‌های حسگر در قسمت خطا بررسی کردند و استدلال کردند شبکه بهترین عملکرد را زمانی که از ۳ چاهک متحرک استفاده کرده‌اند، نشان داد و با در نظر گرفتن افزایش هزینه گره چاهک، نیازی به استفاده از چاهک‌های بیشتری نیست.

در [۳۹] گره‌های حسگر از موقعیت جغرافیایی خود فقط زمانی آگاه هستند که گره حسگر خاصی به عنوان سرخوشه انتخاب شود. تعداد تقسیم‌بندی میدان سنجش به تعداد دلخواه چاهک متحرک مستقر، بستگی دارد. در ابتدا از الگوریتم SEA^{۳۸} برای به حداقل رساندن تبادل پیام بین گره‌های حسگر و جلوگیری از چرخش مکرر سرخوشه‌ها استفاده شده است و همچنین یک الگوریتم تعیین محل اقامت بر اساس MWVCP^{۳۹} ارائه شد تا بهترین موقعیت را برای توقف کردن چاهک‌ها و جمع‌آوری داده‌ها از سرخوشه پیدا کند. در نهایت برای ایجاد یک مسیر بهینه چاهک متحرک الگوریتم MOEA پیشنهاد شد که برای ارزیابی مسیرهای بهینه‌شده چاهک متحرک از سه روش بهینه‌سازی SA و GA، ACO استفاده کردند.

یک طرح جمع‌آوری داده‌های کارآمد انرژی با استفاده از چندین چاهک متحرک بر اساس تئوری Cooperative game در [۴۰] ارائه شده است. در مدل پیشنهادی چاهک‌های متحرک بازیکن هستند و حرکت چاهک‌ها به صورت توزیع شده است. منظور از توزیع شده این است که چاهک‌های متحرک در یک منطقه ثابت حرکت نخواهند کرد، آن‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها از مناطق مختلف در سراسر شبکه پیمایش می‌شوند. سپس انتقال داده به ایستگاه پایه به دو روش: ارسال مستقیم و ارسال از طریق دروازه‌های ثابت^{۴۰} انجام می‌شود که فقط تعداد کمی از چاهک‌های متحرک داده‌ها را مستقیماً به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند و چاهک‌های متحرک باقیمانده، حسگرهای دروازه ثابت را با استفاده از مسیریابی Compass انتخاب و داده‌ها را به حالت چندگامی به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند، در نهایت داده‌ها با انتخاب گره بعدی در میان گره‌های همسایه حداقل زاویه را با ایستگاه پایه دارند، به ایستگاه پایه نزدیکتر می‌شوند.

در [۴۱] یک روش انتخاب مسیر بهینه‌شده برای چاهک متحرک را بر اساس برنامه‌ریزی وزنی برای نقاط ملاقات^{۴۱} (WRP) ارائه دادند. رویکرد آن‌ها به منظور تقسیم قسمت سنجش به مناطق کوچک، از روش تقسیم منطقه سازگار مبتنی بر Q-learning استفاده می‌کند. همچنین برای ارزیابی مسیر بهینه از قرار ملاقات به چاهک متحرک از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۴۲} (PSO) استفاده کرده‌اند. نویسندگان استدلال کردند به دلیل کاهش مصرف انرژی در انتقال چندگامی، طول عمر شبکه افزایش یافته است.

یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر ACO با پشتیبانی از چندین چاهک متحرک برای شبکه‌های بی‌سیم به نام IARP در [۴۲] پیشنهاد شده است که از الگوریتم LEACH بهبودیافته برای جلوگیری از خوشه بندی مجدد در هر دور استفاده کرده‌اند. برای یافتن یک مسیر بهینه حرکت چاهک متحرک از سرخوشه‌های مختلف و بازگشت به نقطه اولیه از الگوریتم ACO بهبود یافته استفاده کرده‌اند که در این الگوریتم نه تنها پارامتر فرمون، بلکه پارامترهای انرژی باقیمانده و تعداد گام را نیز در نظر می‌گیرند و همچنین، دامنه جستجوی مورچه‌ها برای صرفه جویی در مصرف انرژی محدود کرده‌اند. در نهایت

³⁸ Stable Election Algorithm (SEA)

³⁹ Minimum Weighted Vertex Cover Problem (MWVCP)

⁴⁰ Static Gateway

⁴¹ Weighted Rendezvous Planning (WRP)

⁴² Particle Swarm Optimization (PSO)

چاهک‌های متحرک از طریق یک مسیر حرکت بهینه توسط الگوریتم بهبود یافته ACO داده‌ها را جمع‌آوری کرده و به ایستگاه پایه تحویل می‌دهند. همچنین در این تحقیق یک الگوریتم تحمل خطا برای مقابله با خرابی سرخوشه‌ها هم ارائه شده است.

الگوریتم پیشنهادی MMSR^{۴۳} [۴۳] از سه چاهک متحرک که یکی از آن‌ها در امتداد قطر دایره و دو چاهک دیگر در امتداد خطوط کمان دایره حرکت می‌کنند، استفاده کرده است. هر گره حسگر جدول چاهک و جدول مسیر را در خود حفظ می‌کند. زمانی که گره حسگر بخواهد بسته‌ای را ارسال کند، تمام همسایگان خود را بررسی می‌کند و یکی از نزدیکترین چاهک‌ها را به عنوان گام بعدی در جدول مسیر خود ثبت می‌کند. و همچنین در جدول چاهک هم ثبت می‌کند که آیا یک گره چاهک در محدوده انتقال آن وجود دارد یا خیر. برای جلوگیری از، از بین رفتن مسیر توسط برخی از گره‌های حسگر که ممکن است به دلیل کاهش انرژی از بین بروند در این مقاله قبل از ارسال بسته داده، گره حسگر بررسی می‌کند که آیا از انرژی باقیمانده کافی برخوردار است یا خیر. از این طریق، گره‌های حسگر با انرژی باقیمانده ناکافی از شبکه حذف می‌شوند و در ارسال بسته‌های داده شرکت نخواهند کرد. در نتیجه، مسیر حفظ خواهد شد و احتمال از دست دادن بسته‌های داده کاهش می‌یابد.

روش مسیریابی آگاه از موقعیت مکانی برای چاهک‌های متحرک کنترل شده LARCMS^{۴۴} در [۴۴] از مسیریابی از قبل تعیین شده برای حرکت دو چاهک متحرک استفاده کرده است که این مسیرها از دو نوار در شبکه تشکیل شده‌اند. زمانی که یکی از چاهک‌های متحرک به گوشه شبکه رسید، دیگری به صورت عرضی به مرکز شبکه حرکت می‌کند. گره‌هایی که در این نوار وجود دارند به عنوان گره‌های آگاه از مکان^{۴۵} شناخته می‌شوند که از این گره‌ها برای ذخیره موقعیت به‌روز شده چاهک‌های متحرک استفاده می‌شود. بنابراین تمامی گره‌های حسگر برای اینکه از موقعیت چاهک متحرک مطلع شوند باید پیام درخواست موقعیت چاهک^{۴۶} (SP) را به گره‌های آگاه از مکان ارسال کنند تا این گره‌ها فاصله بین گره منبع و موقعیت‌های فعلی دو چاهک متحرک را مقایسه کنند و در نهایت توسط پیام پاسخ، موقعیت چاهک متحرکی که به گره منبع نزدیک‌تر است، را به آن گره ارسال کنند.

اکثر روش‌های چندچاهکی که تاکنون ارائه شده‌اند، ظرفیت چاهک‌ها را نامحدود و برای بهینه‌سازی مسیر حسگرها، نزدیکترین چاهک را در نظر می‌گیرند. با توجه به این که انتخاب نزدیکترین چاهک باعث به حداقل رساندن مصرف انرژی شبکه می‌شود، اما در شرایط واقعی که گره چاهک دارای بافر محدود است این انتخاب مناسب نیست، زیرا زمانی که گره چاهک بار بیشتری از ظرفیت خود را دریافت می‌کند باعث از بین رفتن بسته‌های زیادی می‌شود. پس صرفاً انتخاب نزدیکترین چاهک مناسب نیست. برای حل این مشکل در [۴۵] از دو کنترل‌کننده منطق فازی^{۴۷} (FLC) یکی برای انتخاب چاهک و دیگری برای خوشه‌بندی استفاده شده است. اولین FLC پیشنهادی برای انتخاب چاهک، از ظرفیت گره چاهک و هزینه مصرف انرژی برای انتقال داده به گره چاهک استفاده می‌کند و سپس نزدیکترین چاهک بدون تراکم که ظرفیت بیشتری برای پذیرش درخواست زیادی از سرخوشه‌ها دارد را با حداکثر امتیاز انتخاب می‌کند. دومین FLC برای انتخاب سرخوشه، عواملی همچون تعداد همسایه‌ها، انرژی باقیمانده و هزینه انرژی را در نظر می‌گیرد که در نتیجه پس از انتخاب گره مناسب به عنوان سرخوشه سربار ارتباطات درون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای کاهش می‌یابد.

۴. مقایسه روش‌های استفاده از چندین چاهک متحرک

⁴³ Multiple Mobile Sink-based Routing (MMSR)

⁴⁴ Location Aware Routing for Controlled Mobile Sinks (LARCMS)

⁴⁵ Location aware

⁴⁶ Sink Position (SP)

⁴⁷ Fuzzy Logic Controller (FLC)

هدف تمامی این الگوریتم‌ها حذف چاله انرژی، کاهش انرژی مصرفی، کاهش تأخیر، افزایش توان عملیاتی و در نهایت افزایش طول عمر شبکه با استفاده از چندین چاهک متحرک است. در این بخش این الگوریتم‌ها در جدول ۱ مورد نقد و بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۱- خلاصه‌ای از روش‌های استفاده از چندین چاهک متحرک

مراجع	تعداد چاهک متحرک	الگوی حرکتی	معماری شبکه	چکیده	توضیحات
[۳۲]	۲	ثابت	استقرار گره-های همگن	اهداف	بهبود میانگین انرژی مصرفی و بهبود طول عمر شبکه
				مدیریت تحرک چاهک	حرکت در دو مدار هم‌مرکز به شکل لوزی در جهت-عقربه‌های ساعت
				مزایا	به حداقل رسیدن احتمال برخورد بین بسته‌ها
[۳۳]	۱-۳	کنترل شده	استقرار گره-های همگن	معایب	نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها
				اهداف	کاهش فاصله حرکت چاهک متحرک بدون از دست دادن داده
				مدیریت تحرک چاهک	انتخاب مسیر بهینه توسط ACO
[۳۴]	۲	ثابت	استقرار گره-های همگن	مزایا	استفاده بهینه انرژی و به دست آوردن یک مسیر بهینه طبق اختصاص دادن تعداد متوسطی سرخوشه به هر چاهک متحرک
				معایب	افزایش پیچیدگی محاسباتی به دلیل استفاده از ACO
				اهداف	کاهش مصرف انرژی در انتقال چندگامی و در نهایت افزایش طول عمر شبکه
[۳۵]	۴	کنترل شده	استقرار گره-های ناهمگن	مدیریت تحرک چاهک	حرکت در دو مدار هم‌مرکز به شکل مربع
				مزایا	تغییر مسیر حرکت چاهک متحرک برای تعادل مصرف انرژی گره‌ها، بررسی خرابی چاهک‌های متحرک
				معایب	نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها
[۳۵]	۴	کنترل شده	استقرار گره-های ناهمگن	اهداف	کاهش فاصله حرکت چاهک متحرک بدون از دست دادن داده
				مدیریت تحرک چاهک	حرکت در امتداد یک مسیر دایره‌ای خارج از میدان حسگر بر اساس الگوریتم HANT
				مزایا	جلوگیری از مصرف بی‌تعادل انرژی با انتخاب حسگرهای بهینه به عنوان سرخوشه
[۳۵]	۴	کنترل شده	استقرار گره-های ناهمگن	معایب	افزایش پیچیدگی محاسباتی به دلیل استفاده از ACO
				اهداف	افزایش طول عمر شبکه و بهبود مصرف انرژی با کاهش تعداد انتقال چندگامی از گره حسگر به نقاط ملاقات

حرکت در امتداد مسیر محاسبه شده توسط الگوریتم SOSS	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های ناهمگن	کنترل شده	۳	[۳۶]
کاهش طول مسیر چاهک متحرک و کاهش مجموع تأخیر در توزیع داده‌ها	مزایا				
	معایب				
افزایش طول عمر شبکه و کاهش میانگین فاصله بین سر خوشه‌ها و چاهک‌های متحرک	اهداف				
حرکت در امتداد یک مثلث داخلی متشکل از اتصال قطره‌های بزرگ سه لوزی در یک منطقه ۶ ضلعی	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های همگن	ثابت	۶	[۳۷]
کاهش میانگین فاصله بین سر خوشه‌ها و چاهک‌های متحرک توسط منطقه شش ضلعی.	مزایا				
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
از بین بردن چاله انرژی و تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک بدون محدودیت	اهداف				
	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های همگن	ثابت	۳	[۳۸]
تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک در بهبود طول عمر شبکه	مزایا				
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
کاهش تعداد گام، کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	اهداف				
ایجاد یک مسیر بهینه توسط الگوریتم MOEA	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های همگن	ثابت	۱-۴	[۳۹]
الگوریتم SEA از چرخش سر خوشه در هر دور جلوگیری می‌کند.	مزایا				
SEA- با حذف تبادل پیام غیر ضروری در هنگام تشکیل خوشه، انرژی گره را حفظ می‌کند.	معایب				
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	اهداف				
حداکثر جمع‌آوری داده، کاهش از بین رفتن داده‌ها، کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه بدون محدودیت	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های همگن	کنترل شده	N	[۴۰]
ارتباط بهتر بین گره‌های حسگر و چاهک‌ها به دلیل تقسیم منطقه به مناطق کوچکتر	مزایا				
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
تعیین مجموعه‌های نقاط ملاقات و مسیرهای بهینه، کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	اهداف				
انتخاب مسیر بهینه توسط PSO از نقاط ملاقات انتخابی طبق WRP	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره- های همگن	کنترل شده	۵	[۴۱]
کاهش تعداد ارتباطات، متعادل کردن مصرف انرژی	مزایا				

افزایش پیچیدگی محاسباتی به دلیل استفاده از PSO و نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
کاهش ترافیک اطراف هر چاهک و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه	اهداف				
انتخاب مسیر بهینه توسط ACO	مدیریت تحرك چاهک				
کاهش مصرف انرژی توسط ACO بهبود یافته و محدود کردن دامنه جستجو مورچه‌ها، وجود الگوریتم تحمل خطا برای مقابله با خرابی سرخوشه‌ها	مزایا	استقرار گره-های همگن	کنترل شده	۱-۴	[۴۲]
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
کاهش احتمال از دست دادن بسته‌های داده	اهداف				
حرکت یک چاهک در امتداد قطر دایره و دو چاهک دیگر در امتداد خطوط کمان دایره	مدیریت تحرك چاهک				
حذف گره‌های حسگر با انرژی باقی مانده ناکافی از شبکه و نتیجه آن حفظ مسیر و کاهش از دست دادن بسته‌هاست.	مزایا	استقرار گره-های همگن	ثابت	۳	[۴۳]
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
کاهش تأخیر گزارش، کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر	اهداف				
حرکت دو چاهک در دو مدار مشخص شده	مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره-های همگن	ثابت	۲	
مدیریت به‌روزرسانی موقعیت چاهک، به حداقل رساندن تأخیر	مزایا				[۴۴]
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ به دلیل در نظر نگرفتن اولویت خوشه‌ها	معایب				
انتخاب نزدیکترین چاهک بدون تراکم توسط سرخوشه، کاهش مصرف انرژی، بهبود دوره پایداری شبکه بدون محدودیت	اهداف مدیریت تحرك چاهک	استقرار گره-های ناهمگن	کنترل شده	۴	[۴۵]
بهبود تعادل بار در گره‌های چاهک متحرک، بهبود انتقال داده، کاهش از بین رفتن داده‌ها	مزایا				
	معایب				

۵. نتیجه‌گیری

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم انتقال داده‌ها از گره‌های حسگر به چاهک یک مسئله چالش برانگیز است. یک روش برای حل این مشکل، استفاده از چاهک متحرک است. از طرفی عملکرد جمع‌آوری داده‌ها به شدت تحت تأثیر تعداد چاهک‌های

متحرک است. افزایش تعداد چاهک‌های متحرک به معنای توزیع داده‌ها در بین این چاهک‌هاست که منجر به کاهش زمان لازم برای دسترسی به داده‌ها در ایستگاه پایه می‌شود و کاهش این زمان به معنی کاهش تأخیر داده‌ها بین مبدا و مقصد است. به همین خاطر در این مقاله، مروری بر کارهای انجام شده در زمینه تأثیر تعداد چاهک‌های متحرک بر بهبود کیفیت سرویس شبکه انجام شد.

۶. مراجع

- [1] S.J.Ramson and D.J. Moni, "Applications of wireless sensor networks—A survey," in *2017 international conference on innovations in electrical, electronics, instrumentation and media technology (ICEEIMT)*, pp. 325-329, 2017.
- [2] S.Tabibi and A. Ghaffari, "Energy-efficient routing mechanism for mobile sink in wireless sensor networks using particle swarm optimization algorithm," *Wireless Personal Communications*, 104(1), pp. 199-216, 2019.
- [3] V.Agarwal, S.Tapaswi and P.Chanak, "A survey on path planning techniques for mobile sink in IoT-enabled wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, 119(1), pp. 211-238, 2021.
- [4] J.Wang and et al, "An enhanced PEGASIS algorithm with mobile sink support for wireless sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018 Des 2, 2018.
- [5] S.Sharma and et al, "Reinforcement based optimal routing algorithm for multiple sink based wireless sensor networks," in *Progress in intelligent computing techniques :Theory, practice, and applications*, Springer. pp. 481-490, 2018
- [6] R.C.Shah and et al, Data mules: Modeling and analysis of a three-tier architecture for sparse sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 1(2-3): pp. 215-233, 2003.
- [7] S.Roy, N.Mazumdar and R.Pamula, "An energy and coverage sensitive approach to hierarchical data collection for mobile sink based wireless sensor networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(1), pp. 1267-1291, 2021.
- [8] C.Wu and et al, "Graph-based data gathering scheme in WSNs with a mobility-constrained mobile sink," *IEEE Access*, 5, pp. 19463-19477, 2017.
- [9] S.Rashed and M. Soyurk, "Effects of UAV mobility patterns on data collection in wireless sensor networks," in *2015 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNESTAT)*, IEEE, pp.74-79, 2015.
- [10] V.Diniesh and et al, "An Experimental Study and Analysis of Impact on Mobile Sink in Wireless Sensor Networks," in *Advances in Smart System Technologies*, Springer, pp. 253-260, 2021.
- [11] S.Sharma and et al, "Rendezvous based routing protocol for wireless sensor networks with mobile sink," *The journal of Supercomputing*, 73(3), pp. 1168-1188, 2017.
- [12] R.Yarinezhad and A. Sarabi, "Reducing delay and energy consumption in wireless sensor networks by making virtual grid infrastructure and using mobile sink," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 84, pp. 144-152, 2018.
- [13] J.Wang and et al, "Energy efficient routing algorithm with mobile sink support for wireless sensor networks," *Sensors*, 19(7), p. 149,. 2019.

- [14] Z.Andleeb, M.R. Anjum and M.U. Sardar. "Study the impact of multiple mobile sinks on lifetime of wireless sensor networks," in *2016 Sixth International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH)*, IEEE, pp. 418-422, 2016.
- [15] H.Cheng, L. Tao, and X. Zhang, "A Fast and Efficient Broadcast Protocol With a Mobile Sink Node in Asynchronous Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, 7: pp. 92813-92824, 2019.
- [16] A.W.Khan and et al, QDVGDD: "Query-driven virtual grid based data dissemination for wireless sensor networks using single mobile sink," *Wireless Networks*, 25(1), pp. 241-253, 2019.
- [17] S.Tabatabaei and A.M. Rigi, "Reliable routing algorithm based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, 108(4), pp. 2541-2558, 2019.
- [18] M.Zahra and et al, "Integrated environment of metaheuristics for optimal data collection in wireless sensor network with mobile sink," *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018 Oct,1, 2018.
- [19] D.Sethi, "An approach to optimize homogeneous and heterogeneous routing protocols in WSN using sink mobility," *MAPAN*, 35(2), pp. 241-250, 2020.
- [20] C.Tunca and et al, "Distributed mobile sink routing for wireless sensor networks: A survey," *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(2), pp. 877-897, 2013.
- [21] T.Nagamalar and T .Rangaswamy, "Energy efficient cluster based approach for data collection in wireless sensor networks with multiple mobile sink," in *2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, IEEE, 2015.
- [22] J.Wang and et al, "Energy-efficient cluster-based dynamic routes adjustment approach for wireless sensor networks with mobile sinks." *The Journal of Supercomputing*, 73(7), pp. 3277-3290, 2017.
- [23] Q.Liu and et al, "Grid routing: an energy-efficient routing protocol for WSNs with single mobile sink," in *International Conference on Cloud Computing and Security*, Springer, Cham, pp. 232-243, 2016.
- [24] R.Yarinezhad, "Reducing delay and prolonging the lifetime of wireless sensor network using efficient routing protocol based on mobile sink and virtual infrastructure," *Ad Hoc Networks*, 84, pp. 42-55, 2019.
- [25] S.Maurya, V.Gupta and V.K.Jain, "LBRR: Load balanced ring routing protocol for heterogeneous sensor networks with sink mobility," in *2017 IEEE wireless communications and networking Conference (WCNC)*, pp. 1-6, 2017.
- [26] K.Fellah and B. Kechar, "New approach based on Hilbert curve for energy efficient data collection in WSN with mobile sink," *IET Wireless Sensor Systems*, 10(5): pp. 214-220, 2020
- [27] A.Mehto, S.Tapaswi and K.Pattanaik, "Rendezvous point based delay-efficient trajectory formation for mobile sink in wireless sensor networks," in *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, pp. 1-6, 2019.
- [28] T.S.Chen, W.Q.Du and J.J.Chen, "Energy-efficient data collection by mobile sink in wireless sensor networks," in *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, IEE, 2019.

- [29] N.Gharaei and et al, "Collaborative mobile sink sojourn time optimization scheme for cluster-based wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, 18(16), pp. 6669-6676, 2018.
- [30] Y.Gao and et al, "A hybrid method for mobile agent moving trajectory scheduling using ACO and PSO in WSNs," *Sensors*, 19(3), p. 575, 2019.
- [31] H.A.Al-Behadili and et al, "Use of multiple mobile sinks in wireless sensor networks for large-scale areas," *IET Wireless Sensor Systems*, 10(4), pp. 175-180, 2020.
- [32] M.Naghbi and H. Barati, "EGRPM: Energy efficient geographic routing protocol based on mobile sink in wireless sensor network," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 25, p. 100377, 2020.
- [33] M.Krishnan, S.Yun and Y.M.Jung, "Enhanced clustering and ACO-based multiple mobile sinks for efficiency improvement of wireless sensor networks," *Computer Networks*, 160, pp. 33-40, 2019.
- [34] C.Zhu and et al, "A high-available and location predictive data gathering scheme with mobile sinks for wireless sensor networks," *Computer Networks*, 145, pp. 156-164, 2018.
- [35] P.Gupta, S.Tripathi and S.Singh, "Energy efficient hotspot problem mitigation techniques using multiple mobile sink in heterogeneous wireless sensor network," *International Journal of Communication Systems*, 33(18), p. e4641, 2020.
- [36] P.Gupta, S.Tripathi and S.Singh, "Energy efficient rendezvous points based routing technique using multiple mobile sink in heterogeneous wireless sensor networks," *Wireless Networks*, pp. 1-14, 2021.
- [37] A.Karimi and S.M.Amini, "Reduction of energy consumption in wireless sensor networks based on predictable routes for multi-mobile sink," *The Journal of Supercomputing*, 75(11), pp. 7290-731, 2019.
- [38] P.Zhong and F.Ruan, "An energy efficient multiple mobile sinks based routing algorithm for wireless sensor networks," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 323, no.1, p. 012029, IOP Publishin, 2018.
- [39] B.R.AL-Kaseem and et al, "Optimized Energy Efficient Path Planning Strategy in WSN with Multiple Mobile Sinks," *IEEE Access*, 9, 82833-828447, 2021.
- [40] I.Koley and T.Samanta, "Mobile sink based data collection for energy efficient coordination in wireless sensor network using cooperative game model," *Telecommunication Systems*, 71(3), pp. 377-396, 2019.
- [41] K.Prasanth, "Weighted Rendezvous Planning on Q-Learning Based Adaptive Zone Partition with PSO Based Optimal Path Selection," *Wireless Personal Communications*, 110(1), pp. 153-167, 2020.
- [42] N.Moussa and A.E.B.El Alaoui, "IARP: An Intelligent ACO-Based Routing Protocol with Multiple Mobile Sinks Support for Wireless Sensor Networks," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-19, 2021.
- [43] J.Wang and et al, "Multiple mobile sink-based routing algorithm for data dissemination in wireless sensor networks," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(10), pp. 2656-2667, 2015.
- [44] V.Kumar and A. Kumar, "Improving reporting delay and lifetime of a WSN using controlled mobile sinks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(4), pp. 1433-1441, 2019.
- [45] M.Masdari, "Energy efficient clustering and congestion control in WSNs with mobile sinks," *Wireless Personal Communications*, 111, (1), p. 611-642, 2020.