Archive of SID.ir

Journal of Electronical & Cyber Defence
Vol. 9, No. 2, 2021, Serial No. 34

A Heuristic Data Diffusion and Gathering Scheme Using Virtual Line for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink

A. R. Nadinejad, M. Alaei*

*Vali-e-Asr University of Rafsanjan

(Received: 13/04/2020, Accepted: 11/01/2021)

ABSTRACT

In wireless sensor networks (WSNs), the nodes around the sink deplete their energy considerably earlier than other network nodes because they forward all the data packets toward the sink. Hence, the active nodes of the network and the sink are disconnected and also the network is divided into sub-networks. Utilizing mobile sink is a solution for this problem; using a mobile sink can balance the load of network but the manner of data transmission toward the mobile sink in order to achieve the desired QoS and optimizing other parameters such as the delivery ratio, energy conservation, overhead and delay, are big challenges. In this paper, a heuristic algorithm for data diffusion and gathering based on virtual line is proposed in WSNs with mobile sink. In the proposed algorithm, a virtual line is considered in the middle of the network and the rest of the network area is zoned. The virtual line is segmented to facilitate the search phase. Also, the sensed data in different areas of the network are received only in the corresponding part of the virtual line. In this method, the data transfer operation to the mobile sink is performed by sending sink requests in batches, reducing the data search area in the virtual line, and aggregating and reducing the final data volume. The evaluations show the proposed scheme is more efficient and outperforms the recent related works in terms of energy conservation, delay, overhead and delivery ratio.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Data diffusion, Data Gathering, Virtual line, Mobile Sink, Data Aggregation

* Corresponding Author Email: alaeim@vru.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۰۷-۱۹۵

علمی – پژوهشی

یک روش ابتکاری برای انتشار و جمع‌آوری داده با ایجاد خط مجازی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چاهک متحرک

علیرضا نادی‌نژاد[۱]، محمد علائی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران،
۲- دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲)

چکیده

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌های اطراف چاهک ثابت به دلیل اینکه در مسیر انتقال داده از سایر گره‌های شبکه به سمت چاهک هستند، انرژی خود را بسیار زودتر از بقیه گره‌های شبکه از دست می‌دهند و این امر باعث می‌شود ارتباط بسیاری از گره‌های فعال با چاهک قطع شود و نیز، شبکه به چند پاره تقسیم شود. برای حل این مسأله، می‌توان از چاهک متحرک استفاده نمود؛ استفاده صحیح از چاهک متحرک باعث تعادل بار در شبکه می‌گردد. اما مسأله‌ای که وجود دارد این است که داده‌ها چگونه به سمت چاهک متحرک ارسال شوند که کیفیت سرویس در حالت مطلوبی قرار گیرد و پارامترهای کارایی مانند نرخ تحویل داده، انرژی مصرفی، سربار و تأخیر، بهینه شوند. در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری انتشار و جمع‌آوری داده مبتنی بر خط مجازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چاهک متحرک پیشنهاد می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، یک خط مجازی در وسط شبکه در نظر گرفته می‌شود و بقیه سطح شبکه نیز ناحیه‌بندی می‌گردد؛ خط ایجادشده، برای تسهیل در مرحله جستجو، بخش‌بندی می‌شود و همچنین داده‌های حس شده در ناحیه‌های مختلف شبکه، فقط در بخش متناظر خود در خط مجازی دریافت می‌شوند. این روش، با ارسال دسته‌ای درخواست‌های چاهک، کاهش محدوده جستجوی داده در خط مجازی و همچنین تجمیع و کاهش حجم داده‌های ارسالی به چاهک، عملیات جمع‌آوری داده‌ها و انتقال آنها به چاهک انجام می‌گیرد. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی از لحاظ مصرف انرژی، تأخیر، سربار و نرخ تحویل داده در مقایسه با الگوریتم‌های مشابه کارایی بالاتری از خود نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انتشار داده، جمع‌آوری داده، خط مجازی، چاهک متحرک، تجمیع داده.

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم[۱]، زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های موردی هستند که در بسیاری از موارد، نظارت و کنترل بر محیط را بر عهده دارند. ساختار کلی این شبکه‌ها به این صورت است که تعداد زیادی گره همسان یا ناهمسان، در محیط پراکنده می‌شوند و پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر، آنها را به چاهک[۲] ارسال می‌کنند [۱]. چاهک، گرهی است که دارای میزان انرژی بالا، منابع و تجهیزات مورد نیاز می‌باشد. گره‌های حسگر در این شبکه‌ها دارای حافظه، انرژی، قدرت‌پردازش، دامنه حس و برد رادیویی محدودی هستند. در شبکه‌های با وسعت جغرافیایی زیاد، می‌توان از چندین چاهک استفاده کرد تا مسیر ارسال داده‌ها به آنها، بیش از حد طولانی نگردد [۲].

یکی از چالش‌های بزرگ در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله نقطه کانونی[۳] است که در اطراف چاهک ثابت ایجاد می‌شود. گره‌های پیرامون چاهک وظیفه برقراری ارتباط گره‌های سرتاسر شبکه با چاهک و دریافت و ارسال بسته‌های داده آنها به سمت چاهک و برعکس را بر عهده دارند. این گره‌ها به دلیل ترافیک بالا و انتقال داده زیاد، بسیار زودتر از بقیه گره‌های شبکه، انرژی خود را از دست می‌دهند، با اینکه تعداد زیادی گره در شبکه با میزان قابل توجهی انرژی، هنوز زنده هستند. به دلیل مرگ زودهنگام این گره‌ها، ارتباط گره‌های فعال شبکه با چاهک قطع می‌گردد و

* رایانامه نویسنده مسئول: alaeim@vru.ac.ir

[1] Wireless Sensor Networks
[2] Sink
[3] Hotspot

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

عملاً، طول عمر شبکه کاهش می‌یابد. این موضوع به‌عنوان یکی از نقاط ضعف استفاده از چاهک ثابت به شمار می‌آید [۳، ۴].

یکی از راه‌های حل این مسأله، استفاده از چاهک متحرک[1] است؛ استفاده از چاهک متحرک، مشکل تمام شدن زودهنگام انرژی گره‌های اطراف چاهک را برطرف می‌کند، زیرا با جابجا شدن چاهک، نقاط کانونی اطراف چاهک تغییر می‌کنند و مصرف انرژی در اطراف چاهک بین تمام گره‌های شبکه توزیع می‌شود؛ لذا، مصرف انرژی یکنواخت و متوازن خواهد شد که این امر منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌شود. علاوه بر این، چاهک متحرک باعث افزایش اتصال‌گرایی شبکه و کاهش تعداد گام انتقال داده می‌گردد [۵، ۶].

یک الگوریتم انتقال داده کارآمد با چاهک متحرک باید با چندین معیار عملکرد سنجیده شود و الزامات عملکردی مربوطه را برآورده کند؛ از جمله مهم‌ترین معیارهای پایه، انرژی، تأخیر و قابلیت اطمینان، می‌باشند.

انرژی: یک الگوریتم کارآمد موجب مصرف انرژی پایین و متوازن در سرتاسر شبکه می‌گردد. ضمناً، از ایجاد نقطه کانونی که می‌تواند موجب مرگ زودرس در مناطق خاص شبکه و اختلال توپولوژی و قطع همبندی شبکه شود، جلوگیری می‌کند. لذا، افزایش طول عمر شبکه را نتیجه می‌دهد [۷، ۸].

تأخیر: یک الگوریتم کارا باید میزان تأخیر پایینی در مکانیسم به‌دست آوردن موقعیت چاهک متحرک و همچنین انتقال داده به چاهک، ایجاد کند. به‌خصوص، در کاربردهای بلادرنگ، حداقل‌سازی تأخیر بیش‌ترین اهمیت را دارد [۹].

قابلیت اطمینان: الگوریتم‌های کارآمد، باید سیاست‌هایی را برای به‌حداقل‌رسانی ازدست‌رفتن داده‌ها و بالا بردن نرخ تحویل بسته‌های داده به چاهک متحرک، شامل شوند، به‌طوری‌که بالاترین گذردهی را بتوان به‌دست آورد [۱۰].

در این مقاله، یک روش ابتکاری[2] برای انتشار و جمع‌آوری داده با استفاده خط مجازی[3] و چاهک متحرک برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارائه می‌شود. روش پیشنهادی با بخش‌بندی خط مجازی و ناحیه بندی شبکه و همچنین مرتب‌سازی و دسته‌بندی[4] درخواست‌های چاهک و با تشخیص بخش‌های هدف، باعث محدودسازی مناطق جستجو می‌شود و درنهایت با تجمیع داده‌های[5] ارسالی به چاهک، سبب کاهش سربار، مصرف انرژی و تأخیر انتها به انتها و نیز، افزایش نرخ تحویل داده در شبکه می‌شود. برخی از ویژگی‌های الگوریتم پیشنهادی عبارت‌اند از:

۱- در الگوریتم پیشنهادی، ناحیه مجازی یک خط (نوار) است که دقیقاً در وسط سطح شبکه به‌صورت عمودی و بخش‌بندی‌شده در نظر گرفته می‌شود و عملیات جستجوی داده‌های مورد نیاز چاهک در این ناحیه انجام می‌شود.

۲- عملیات جستجوی داده‌های مورد نیاز چاهک، توسط تعداد خاصی از گره‌های موجود در بخش‌های منتخب خط مجازی انجام می‌شود (گره‌های هدایت‌کننده).

۳- عملیات به‌روزرسانی موقعیت چاهک در خط مجازی با حداقل هزینه و تعداد پیام‌های کنترلی انجام می‌شود.

۴- الگوریتم پیشنهادی مقیاس‌پذیر می‌باشد و برای شبکه‌های کوچک و بزرگ قابل به‌کارگیری می‌باشد. در الگوریتم فوق، عرض خط مجازی به دو متغیر تعداد گره‌ها و عرض کل شبکه وابسته است و با تغییر این پارامترها، تغییر می‌کند. با توجه به روابط ۱و۲، که در بخش ۳ توضیح داده خواهد شد، الگوریتم خود را، با تغییرات ذکرشده وفق می‌دهد و با رعایت الزامات کیفیت سرویس، می‌تواند وظیفه خود را انجام دهد و خللی در کارایی الگوریتم ایجاد نمی‌شود. همچنین، این الگوریتم برای چند چاهک متحرک هم قابل پیاده‌سازی است. یعنی خط مجازی بر اساس نزدیک‌ترین چاهک به خودش، داده خود را ارسال می‌کنند و آن چاهک‌ها بر اساس ارتباطی که با هم برقرار می‌کنند، داده‌های مورد نیاز هر کدام را رد و بدل می‌کنند.

۵- در روش پیشنهادی هیچ محدودیتی از بابت نوع حرکت چاهک وجود ندارد. لذا، در پیاده‌سازی، نوع حرکت چاهک به‌صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه مقاله، در بخش ۲، پژوهش‌های پیشین مرتبط مرور می‌شوند. در بخش ۳، روش پیشنهادی با جزئیات ارائه می‌گردد و سپس، در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی‌های روش پیشنهادی انجام می‌گیرد. در نهایت، در بخش ۵ نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

۲- کارهای مرتبط

در ادامه، روش‌ها و الگوریتم‌های مرتبط با روش پیشنهادی در این مقاله مرور می‌شوند و نیز تفاوت عملکرد آنها با آنچه که در این مقاله تحت عنوان روش پیشنهادی شرح داده خواهد شد، عنوان می‌گردد. نویسندگان در [۱۱] یک الگوریتم برای مدیریت توزیع‌شده گره‌ها و توزیع اطلاعات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه داده‌اند که یکی از مهم‌ترین رویکردهای سلسله مراتبی

[1] Mobile sink
[2] Heuristic
[3] Virtual line
[4] Grouping
[5] Data aggregation

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

دراین حوزه است. این روش، مبتنی بر خوشه‌بندی و همکاری درون‌خوشه‌ای و بین‌خوشه‌ای است. افزایش طول عمر شبکه و متوازن‌سازی مصرف انرژی در گره‌های شبکه از نتایج اصلی این روش می‌باشند. در الگوریتم EELCM [۱۲]، انتشار داده در شبکه در مسیرهای بهینه و از پیش تعیین شده انجام می‌شود. شبکه ناحیه بندی می‌شود و بار کاری و نیز انتشار داده در شبکه توزیع می‌گردد. مسیرهای تعیین شده، چنان داده را به چاهک می‌رسانند که هیچ نقطه یا منطقه کانونی ایجاد نمی‌گردد. لذا، تأخیر و مصرف انرژی در شبکه به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

در [۱۳] روش VGB را ارائه داده‌اند که شبکه را به چندین سلول تقسیم می‌کند. در هر سلول، یک گره به‌عنوان گره نماینده انتخاب می‌شود که مسئول نگهداری مختصات آخرین موقعیت چاهک خواهد بود. وقتی یک گره حسگر بخواهد داده حس شده خود را به سمت چاهک ارسال کند، ابتدا یک درخواست به گره نماینده سلول خود ارسال می‌کند تا موقعیت جدید چاهک را به‌دست آورد. سپس، داده خود را به سمت چاهک ارسال می‌کند. گره‌های نماینده به‌صورت دوره‌ای تعویض می‌شوند اما به دلیل محدود بودن تعداد گره‌های نماینده، احتمال رخ دادن نقطه کانونی در سلول‌های خلوت وجود دارد. در روش پیشنهادی، عرض شبکه بر اساس تعداد گره‌های شبکه، تعیین می‌شود و تعداد گره‌های هدایت‌کننده خط برابر با گره‌های حسگر درون خط می‌باشد. بنابراین، افزایش تعداد گره‌ها، موجب محدود شدن گره‌های هدایت‌کننده و احتمال نقطه کانونی نخواهد شد.

الگوریتم ارائه‌شده در [۱۴] (IoGHR)، شبکه را به چهار خوشه تقسیم می‌کند. در هر کدام از خوشه‌ها، گره با بیشترین انرژی، به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود که عملیات انتقال داده به چاهک متحرک را بر عهده دارد و به‌صورت دوره‌ای تعویض می‌شود. این روش برای گره‌های دور از چاهک، باعث تأخیر زیاد می‌شود. همچنین، مصرف انرژی سرخوشه‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از بقیه گره‌هاست و نیز، احتمال بروز نقطه کانونی بالا می‌باشد. اما در روش پیشنهادی چون داده هر ناحیه در بخش متناظر با خودش ذخیره می‌شود؛ تأخیر زیادی به شبکه تحمیل نمی‌شود و همچنین مصرف انرژی، بجای یک گره در هر بخش، بین گره‌های هدایت‌کننده در آن بخش تقسیم شده است.

در الگوریتم D-VGA-AFSA [۱۵]، یک روش انتشار داده ارائه شده است که از ساختار شبکه مجازی به‌صورت سلسله‌مراتبی استفاده می‌کند. در روش فوق، انتقال داده به چاهک در سه مرحله انجام می‌گیرد؛ ابتدا، در مرحله مسیریابی درون‌شبکه‌ای، انتقال داده از گره حسگر به زیرچاهک‌های منتخب انجام می‌شود؛ در مرحله دوم، انتقال داده از زیر چاهک‌های منتخب به زیرچاهک‌های بین‌شبکه‌ای صورت می‌گیرد و در مرحله سوم انتقال داده‌ها به چاهک متحرک انجام می‌گیرد. روش فوق، اولویت را به داده‌های حساس به تأخیر اختصاص می‌دهد. در مواردی که حرکت چاهک قابل پیش‌بینی نباشد، به دلیل هزینه زیادی که بابت مسیریابی مجدد به شبکه تحمیل می‌شود، مصرف انرژی شبکه بالا رفته و تأخیر افزایش می‌یابد. در حالی که در روش پیشنهادی برای هر داده حس شده، نیازی به مسیریابی مجدد نیست بلکه فقط داده به خط مجازی منتقل می‌شود و هزینه مسیریابی برای هر داده حذف می‌گردد.

در روش DHA [۱۶]، توزیع داده‌ها بر اساس دو نوع گره به نام‌های عامل‌خانه[1] و گره دسترسی[2] انجام می‌شود. این الگوریتم از ساز و کار زنجیره پیشرونده برای اعلام مکان چاهک و انتشار داده‌ها استفاده می‌کند. گره دسترسی، چاهک متحرک را به عامل‌خانه نشان می‌دهد و عامل‌خانه چاهک متحرک را به گره‌های حسگر نشان می‌دهد. در این الگوریتم، بار کاری روی عامل‌خانه بسیار زیاد است و تغییر عامل‌خانه نیازمند ارسال بسته به شیوه‌ی سیل‌آسا به کل شبکه است. وجود این اشکال، DHA را از نظر مصرف انرژی ناکارآمد می‌سازد. اما در روش پیشنهادی از یک گره منحصر بفرد برای ارسال داده به چاهک استفاده نمی‌شود بلکه از گروهی از گره‌ها استفاده می‌شود و نیازی به تغییر دوره‌ای آنها نیست.

در [۱۷] یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر داده، موسوم به DDRP ارائه شده است که برای به‌دست آوردن مسیر به چاهک متحرک، از استراق‌سمع بسته‌های داده مربوط به گره‌های حسگر استفاده می‌کند. استراق سمع بسته‌ها توسط گره‌های همسایه فرستنده، مسیری به سمت چاهک فراهم می‌کند. اگر یک‌گره حسگر تا به حال از یک مسیر معتبر برای ارسال داده به چاهک مطلع نشده باشد، از ساز و کار گام تصادفی برای ارسال داده‌های خود در یک جهت تصادفی استفاده می‌کند. این روش برای مواردی که تعداد ارسال‌ها از منابع تکراری کم است، باعث افزایش ارسال‌های تصادفی می‌شود و درنتیجه باعث بالا رفتن مصرف انرژی گره‌های میانی می‌گردد. اما در روش پیشنهادی نیازی نیست که گره حسگر، داده خود را مستقیم به چاهک برساند بلکه با انتقال داده خود به خط مجازی، داده‌ها به‌صورت تجمیعی به چاهک ارسال می‌شوند و فقط گره‌های هدایت‌کننده از آخرین موقعیت چاهک باخبر هستند. بنابراین، نیازی به ارسال

[1] Home agent
[2] Access node

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تصادفی و یا ذخیره آخرین موقعیت چاهک ندارد.

در OMSPP-H [۱۸]، یک روش انتقال داده به سمت چاهک برای شبکه‌های ناهمگن ارائه شده است. در این الگوریتم از طریق انتقال بار از گره‌های با بار کاری بالا به سمت گره‌های با بار کاری پائین، احتمال ایجاد حفره‌های انرژی کاهش داده می‌شود. اما این روش به دلیل اینکه فاصله گره منبع و گره مقصد و محل چاهک را مد نظر قرار نمی‌دهد باعث افزایش تأخیر انتها به انتها می‌گردد. در حالی که در روش پیشنهادی گره‌های حسگر هر ناحیه، داده حس شده خود را به بخش متناظر خود ارسال می‌کنند و در صورت افزایش گره‌های ناحیه، عرض خط هم بیشتر و تعداد گره‌های هدایت‌کننده در آن بخش نیز بیشتر می‌شود و نیازی به ارسال داده‌ها به نقاط دیگر شبکه وجود نخواهد داشت.

نویسندگان در روش EPMS [۱۹]، یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر جستجوی جمعی[1] را با چاهک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارائه کرده‌اند. در این روش، از روش خوشه‌بندی مجازی، استفاده می‌شود؛ برای انتخاب سرخوشه، الگوریتم از انرژی باقیمانده و موقعیت گره‌ها استفاده می‌کند. در این الگوریتم انرژی بالایی برای ایجاد خوشه و تعیین سرخوشه به شبکه تحمیل می‌شود؛ در صورتی که یکی از مزایای روش پیشنهادی این است که برای ایجاد ساختار مجازی، فقط یک خط مجازی و ناحیه‌بندی شبکه تعیین می‌شود که بر اساس موقعیت گره‌هاست و انرژی زیادی از گره‌های شبکه، در مقایسه، گرفته نمی‌شود.

در [۲۰]، با کنترل ازدحام در شبکه‌های با حجم بالایی از داده چندرسانه‌ای، از ایجاد نقاط کانونی و از دست رفتن داده جلوگیری می‌گردد. چاهک متحرک در شبکه با استفاده از گره‌های هماهنگ‌کننده، داده را با کمترین تأخیر از گره‌های حسگر جمع‌آوری می‌کند. لذا، این روش برای کاربردهای بلادرنگ بسیار مناسب می‌باشد. در روش MS-RP-Q [۲۱]، الگوریتمی برای تعادل بار در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. روش فوق یک ایده مبتنی بر خوشه‌بندی است که برای چند چاهک، ارائه شده است. در این الگوریتم از یک مدل لایه‌بندی شده چند گامه استفاده می‌شود. برای کاهش تأخیر و انرژی مصرفی از الگوریتم‌های RPs و RNs استفاده شده است.

در [۲۲] الگوریتمی مرکزی برای تشخیص و محاسبه مساحت حفره‌های در مسیرهای ارسال داده تا چاهک ارائه شده است. تشخیص و پیش‌بینی حفره‌های واقع در سطح شبکه برای جمع‌آوری داده و تحویل به چاهک، از دیدگاه مسیریابی، تأثیر به‌سزایی در ارتقای کارایی جمع‌آوری داده دارد. در این روش با استفاده از رویکردهای هندسه محاسباتی، بعد از تشخیص حفره‌های موجود در محیط، مساحت هر حفره همراه با یال‌های مرزی محاسبه می‌گردد. روش ارائه‌شده در [۲۳]، به‌صورت توزیع‌شده در هر گره توانایی بهینه‌سازی پوشش محیط توسط حسگر و نیز جمع‌آوری داده مکانی را ایجاد می‌کند. لذا، در واحد زمان، داده بیشتری جمع‌آوری می‌گردد و نیز، وابستگی و مشابهت داده‌های ارسالی به چاهک به حداقل ممکن می‌رسد و لذا، نرخ تحویل داده در چاهک بهبود می‌یابد.

روش پیشنهادی در این مقاله، سعی بر این دارد که نواقص روش‌های گذشته را پوشش داده و نیز ایده‌ای کاراتر را ارائه دهد. در این روش بر خلاف روش‌های گذشته، از ارسال همگانی موقعیت چاهک به قسمت بزرگی از شبکه اجتناب می‌شود. برای جلوگیری از پدیده نقطه کانونی، منطقه جستجو کاهش می‌یابد و همچنین با انتخاب زیرساخت ساده، از تحمیل سربار و هزینه زیاد برای ایجاد زیرساخت مجازی، اجتناب می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

در طرح و پیاده‌سازی روش پیشنهادی، هر گره شبکه مجهز به یک سیستم موقعیت‌یاب ساده می‌باشد و لذا مختصات موقعیت خود را می‌شناسد. توزیع گره‌ها در شبکه می‌تواند به‌صورت تصادفی یا معین انجام گیرد؛ روش پیشنهادی قابلیت عملکرد با هر دو نوع توزیع گره‌ها را دارد و به فرض ثابت بودن گره‌های حسگر و هدایت‌کننده و متحرک بودن چاهک طراحی گردیده است. منطقه ملاقات داده‌های حس شده و درخواست‌های چاهک، باید ناحیه‌ای باشد که هزینه زیادی به شبکه متحمل نشود و سربار انرژی کمی داشته باشد و از طرف دیگر به‌گونه‌ای باشد که به‌صورت دوره‌ای نیاز به تغییرات و به‌روزرسانی نداشته باشد. به همین منظور، ناحیه مجازی، به‌صورت یک خط، در وسط شبکه، در نظر گرفته می‌شود. ایجاد خط مجازی دارای سربار انرژی کمی است و نیازی به به‌روزرسانی موقعیت گره‌ها ندارد که این امر باعث کاهش بسیار زیادی در انرژی مصرفی خواهد شد.

خط مجازی به بخش‌هایی[2] تقسیم می‌شود و به‌صورت عمودی در وسط شبکه در نظر گرفته می‌شود. این خط شامل تعدادی گره حسگر ساده و تعدادی گره هدایت‌کننده[3] می‌باشد. گره‌های حسگر معمولی، مانند گره‌های حسگر در خارج از خط مجازی، وظیفه دریافت اطلاعات از محیط را بر عهده دارند. اما

[1] Particle Swarm Optimization (PSO)

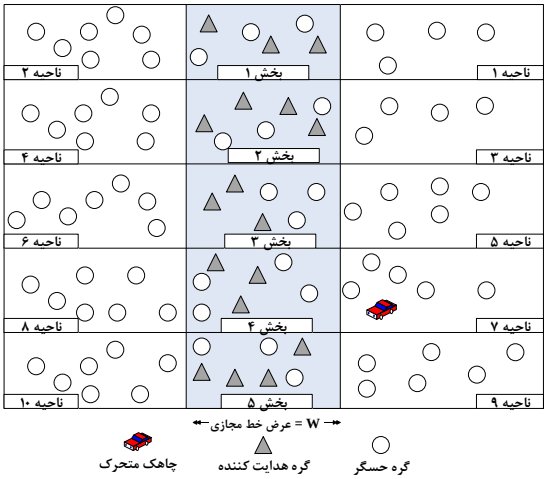
[2] Line sections
[3] Forwarder node

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

گره‌های هدایت‌کننده، آگاه از موقعیت خط و آخرین موقعیت چاهک متحرک هستند و چاهک، به‌صورت دوره‌ای مختصات موقعیت خود را برای این گره‌ها ارسال می‌کند. این گره‌ها نسبت هر گره حسگر معمولی، با حافظه بیشتر و منبع تغذیه بزرگ‌تری مجهز شده‌اند؛ به‌طوری‌که انرژی اولیه هر گره حسگر، ۳ ژول و هر گره هدایت‌کننده، ۴ ژول در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، خط مجازی جهت محدودسازی منطقه جستجوی چاهک، به بخش‌هایی تقسیم می‌شود؛ سطح شبکه نیز ناحیه‌بندی[1] می‌شود. هر بخش خط، با دو ناحیه شبکه متناظر می‌شود؛ از آنجایی که خط در وسط شبکه قرار دارد، به هر بخش از خط مجازی دو ناحیه (در دو طرف آن بخش)، اختصاص می‌یابد که گره‌های حسگر آن دو ناحیه، باید داده خود را فقط به این بخش ارسال کنند.



شکل (۱): خط مجازی، بخش‌بندی آن و ناحیه‌های شبکه.

مراحل روش پیشنهادی به‌طور کلی، در الگوریتم (۱) نمایش داده شده‌اند. الگوریتم ابتکاری پیشنهادی، ایده خود را با تقسیم شبکه و محدودسازی محل جستجو به پیش می‌برد. در این روش شبکه به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شود که هر ناحیه، متناظر با یک بخش در خط مجازی است. وقتی‌که داده‌ای در یک ناحیه حس شود و با کمترین هزینه و با رعایت الزامات کنترل کیفیت به چاهک برسد، یعنی کل شبکه کار خود را به‌خوبی انجام داده است و الگوریتم بهینه می‌باشد و یا به بهینه شدن نزدیک می‌باشد. در ابتدای اجرای الگوریتم، ناحیه‌بندی شبکه، ایجاد خط مجازی و بخش‌بندی آن انجام می‌شود. عرض خط مجازی، تعداد بخش‌های آن و نیز تعداد ناحیه‌های شبکه، بر اساس تعداد گره‌های شبکه، محاسبه می‌گردند. گره‌های حسگر، داده‌های حس شده خود را به خط مجازی ارسال می‌کنند؛ به‌طور موازی، چاهک متحرک نیز درخواست‌های خود، برای داده‌های متفاوت را به‌صورت دسته‌های مرتب‌شده در قالب بسته درخواست[2]، به خط مجازی ارسال می‌کند. قبل از شروع جستجوی داده‌ها در خط مجازی، بخشی که قرار است جستجوی داده از آنجا آغاز گردد، مشخص می‌شود. پس از مشخص شدن بخش هدف، عملیات جستجو برای داده‌های خواسته‌شده در بسته درخواست، شروع می‌شود. پس از عملیات جستجو برای هر بسته درخواست، داده مربوط به هر درخواست، به بسته پاسخ[3] افزوده می‌شود و در انتها پس از کامل شدن بسته پاسخ، داده‌ها به‌صورت تجمیع شده به سمت چاهک متحرک ارسال می‌شوند. هر کدام از مراحل مذکور روش پیشنهادی در زیربخش‌هایی که در ادامه می‌آیند، با جزئیات، شرح داده می‌شوند.

الگوریتم (۱): مراحل مختلف روش پیشنهادی به‌طور کلی

Algorithm 1: the steps of the proposed scheme.

1. **Let** *Alivenodes*=N // total number of sensor nodes
2. **Build** the Virtual-Line and Line-Sections // (Section 3-1)
3. **While** (*Alivenodes* > 0)
4. **Update** sink position in forwarder_nodes //(Algorithm2)
5. **Send** sensed **d**ata from sensor nodes to Virtual-Line, forwarder-nodes //(Algorithm 3)
6. **Send** sink Data Request Packet to Virtual-Line, forwarder-nodes //(Algorithm 4)
7. **Search** in related sections of Virtual-Line**, Aggregate** and **Send** the requested Data from line to sink //(Algorithm 5)
8. **End while**

۳-۱- زیرساخت خط مجازی

الگوریتم پیشنهادی در ابتدا یک خط مجازی به عرض W و تعداد K بخش ایجاد می‌کند؛ مقادیر K و W، حسب تعداد گره‌های شبکه، توسط روابط ۱ و ۲، تعیین می‌شوند. با افزایش تعداد گره‌های شبکه، عرض خط مجازی نیز بیشتر می‌شود تا احتمال رخداد پدیده نقطه کانونی در خط مجازی کاهش یابد. همچنین، تعداد بخش‌های خط مجازی، با افزایش تعداد گره‌ها، افزایش پیدا می‌کند، زیرا با افزایش تعداد بخش‌های خط، محیط جستجو برای درخواست‌های چاهک محدودتر می‌شود.

قابل ذکر است که اندازه عرض خط مجازی در ابتدای ایجاد ساختار شبکه، تعیین می‌شود و مقدار آن به تعداد گره‌های موجود در شبکه و عرض کل شبکه وابسته است. برای تعیین

[1] Zoning

[2] Request packet
[3] Reply packet

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اندازه خط مجازی با توجه به تعداد گره‌های شبکه و عرض کل شبکه، باید رابطه‌ای داشته باشیم که دو شرط داشته باشد. اول اینکه بتوان با افزایش تعداد گره‌های شبکه، عرض خط مجازی را به‌صورت لگاریتمی افزایش داد و همچنین، این افزایش به‌صورت خطی یا نمایی نباشد. زیرا، اندازه خط مجازی مساوی و یا بیشتر از عرض کل شبکه خواهد شد؛ به این منظور، رابطه فوق به‌صورت لگاریتم در مبنای ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. و دوم اینکه باید یک مقدار آستانه برای این رابطه در نظر گرفت تا اندازه عرض خط مجازی از آن آستانه بیشتر نشود و هزینه جستجو در خط مجازی بر اساس الزامات کیفیت سرویس، قابل قبول باشد.

حسب نتایجی که در [۲۴] گرفته شده است، حداکثر مقدار قابل قبول برای فاصله دو گره در ناحیه مجازی یک شبکه، در شرایطی که ناحیه مجازی یک خط باشد و در وسط شبکه قرار داشته باشد تقریباً برابر با یک‌سوم عرض شبکه است. فاصله بیش از این، باعث افزایش هزینه جستجو در خط مجازی و کاهش گذردهی خواهد شد. پس بهترین آستانه، برای اندازه خط مجازی برابر با یک‌سوم عرض کل شبکه می‌باشد. رابطه (۱) چگونگی محاسبه عرض خط مجازی را نشان می‌دهد. در این رابطه، n تعداد گره‌های حسگر شبکه و L عرض شبکه می‌باشد.

$$W = log_{10}\left(\left[\frac{n}{100}\right] + 2\right) \cdot \frac{L}{3} \quad , \quad W \leq \frac{L}{3} \qquad (۱)$$

وقتی تعداد گره‌های شبکه افزایش می‌یابد، احتمال این‌که درخواست‌های درون یک بسته درخواست چاهک، در خط مجازی به هم نزدیک‌تر باشند بیشتر می‌شود. پس همان‌طور که تعداد گره‌ها بیشتر می‌شود باید تعداد بخش‌ها را افزایش داد، تا محدوده جستجو برای هر بسته درخواست چاهک محدودتر شود و با مصرف انرژی و تأخیر کمتری جستجو انجام شود. به همین منظور بهترین رابطه، یک رابطه نمایی بر اساس تعداد گره‌هاست که پس از آزمایش با تعداد گره‌های مختلف و به‌دست آوردن بهترین حالت، رابطه (۲) حاصل شد. در این رابطه، n تعداد گره‌های حسگر شبکه می‌باشد.

$$K = 2^{\left(\left[\frac{n}{100}\right]+2\right)} \qquad (۲)$$

عرض و تعداد بخش‌های خط، تا زمانی که تعداد گره‌های شبکه دچار تغییر نشود، ثابت می‌ماند. گره‌هایی که مؤلفه افقی (X) مختصاتشان بین دو مقدار تعیین‌شده توسط الگوریتم باشد، داخل خط مجازی قرار می‌گیرند. مؤلفه عمودی (Y) مختصات نیز مشخص می‌کند هر گره داخل خط در کدام بخش از خط قرار دارد. برای هر کدام از گره‌ها در هر بخش، دو پارامتر در نظر گرفته می‌شود. یکی حاوی کمترین و دیگری حاوی بیشترین مقدار مؤلفه عمودی مختصات در بین گره‌های آن بخش می‌باشد. این دو پارمتر کمک می‌کنند تا محدوده بخش هر گره مشخص شود؛ مقدار این دو پارامتر، برای همه گره‌های درون یک بخش برابر است. پس از ایجاد زیر ساخت مجازی خط، هر یک از گره‌های حسگر شبکه باید از محدوده بخش متناظر با ناحیه خود در خط مجازی اطلاع داشته باشد؛ ازاین‌رو، کمترین و بیشترین مؤلفه افقی و عمودی مختصات هر بخش، در یک بسته کنترلی به ناحیه‌های متناظر با آن بخش ارسال می‌شوند.

۳-۲- به‌روزرسانی مکان چاهک متحرک

چاهک همراه با حرکت خود در محیط شبکه، به‌صورت دوره‌ای، مختصات موقعیت خود را به گره‌های هدایت‌کننده، در درون خط ارسال می‌کند. الگوریتم (۲)، چگونگی روند به‌روزرسانی مکان چاهک‌متحرک را نشان می‌دهد؛ چاهک از طریق ارسال بسته کنترلیِ موقعیت چاهک[1]، به سمت همسایه‌ای از خود که به خط مجازی نزدیک‌تر است، این عملیات را آغاز می‌کند. گره دریافت-کننده نیز بسته موقعیت چاهک را به همسایه‌ای از خود، که به خط مجازی نزدیک‌تر است، ارسال می‌کند. این روال تا جایی ادامه پیدا می‌کند تا اولین گره هدایت‌کننده در خط مجازی، بسته را دریافت کند؛ آن گره، موقعیت جدید چاهک را برای خود به‌روز می‌کند و نیز بسته دریافتی را به همه گره‌های هدایت‌کننده داخل خط ارسال همگانی می‌کند. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، عملیات به‌روزرسانی موقعیت چاهک فقط بین گره‌های هدایت‌کننده انجام می‌شود. با این عملیات، به‌صورت دوره‌ای مکان جدید چاهک در گره‌های هدایت‌کننده به‌روز می‌شود.

الگوریتم (۲): به‌روز کردن موقعیت جدید چاهک در گره‌های هدایت‌کننده.

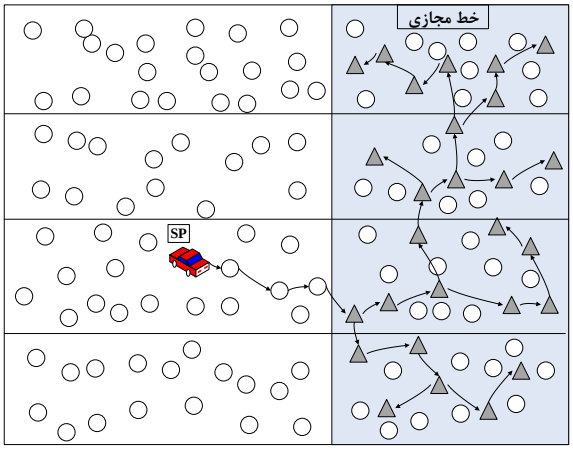
Algorithm 2: Updating sink position for forwarder nodes

1. *sender* = the mobile sink
2. **do**
3. *receiver* = the neighboring node of *sender* which has the minimum distance to the Line among *sender*'s neighbors
4. **send** *sink_pos_packet* to *receiver*
5. *sender* = *receiver*
6. **while** (*receiver* **is not** a forwarder-node)
7. *receiver* **multicast** *sink_pos_packet* to forwarder-nodes

[1] Sink_Pos_packet (SP)

Archive of SID.ir

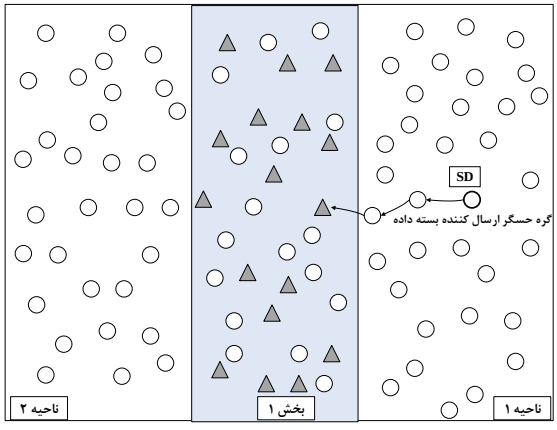
Archive of SID.ir



شکل (۲): مثالی از مسیر به‌روزرسانی موقعیت چاهک در خط مجازی.

۳-۳- ارسال داده حس شده توسط گره حسگر به خط مجازی

هر گره حسگر، بر اساس ناحیه‌ای که در آن حضور دارد، داده حس شده و همچنین مختصات موقعیت خود را در قالب بسته داده حس‌شده[1] به بخش متناظر خود در خط مجازی ارسال می‌کند. به‌طور مثال، در شکل (۳) بخش یک متناظر با ناحیه‌های یک و دو، نشان داده شده است. داده‌های حس‌شده در این دو ناحیه، فقط به بخش یک، ارسال می‌شوند تا بعداً بر اساس نیاز چاهک، این داده‌ها به چاهک ارسال شوند. برای این‌کار، گره حسگر، داده خود را به همسایه‌ای که به خط مجازی نزدیک‌تر است و همچنین خارج از ناحیه خودش نباشد، ارسال می‌کند؛ گره دریافت‌کننده بسته نیز این روال را ادامه می‌دهد تا اینکه گره هدایت‌کننده‌ای در بخش متناظر با ناحیه ارسال‌کننده، بسته داده را دریافت کند، (الگوریتم (۳)).



شکل (۳): ارسال داده حس شده از یک ناحیه به بخش متناظر در خط مجازی.

[1] Sensed_Data_packet (SD)

۳-۴- ارسال درخواست داده[2] توسط چاهک به خط مجازی

در روش پیشنهادی، چاهک برای ارسال درخواست‌های خود برای به دست‌آوردن داده حسگرها، مختصات موقعیت آنها را در بسته درخواست به خط مجازی ارسال می‌کند. به این منظور، چاهک ابتدا درخواست‌ها در یک بازه زمانی را برحسب مؤلفه عمودی مختصاتِ موقعیتِ گره‌های مورد درخواست، مرتب می‌کند و مختصات گره‌هایی که از حیث مؤلفه عمودی، نزدیک به هم هستند، در بسته مشترکی به نام بسته درخواست، به ترتیب مؤلفه عمودی قرار می‌دهد. کمترین و بیشترین مقدار مؤلفه عمودی مختصات در بین درخواست‌های هر بسته، نیز در قالب دو فیلد به نام‌های Min_y و Max_y به بسته درخواست افزوده می‌شوند، (این دو فیلد سبب می‌شوند برای جستجوی داده‌های مورد درخواست چاهک، فقط بخش‌های خاصی از خط مجازی که حاوی داده‌های مورد نظر هستند، جستجو شوند). تعداد درخواست‌ها در هر بسته درخواست، برحسب ترافیک شبکه و نیاز چاهک به اطلاعات حسگرها، قابل تنظیم می‌باشد. در شکل (۴)، قالب بسته درخواست داده، نشان داده شده است. بعد از آماده شدن بسته درخواست، چاهک بسته را به آن همسایه‌ای که به خط مجازی نزدیک‌تر است، ارسال می‌کند. گره دریافت‌کننده بسته هم این روال را با انتخاب از بین همسایگان خود، تکرار می‌کند؛ این عملیات تا جایی که بسته توسط یکی از گره‌های هدایت‌کننده داخل خط مجازی دریافت شود، ادامه پیدا می‌کند. الگوریتم (۴)، روند ارسال بسته درخواست داده توسط چاهک را نشان می‌دهد.

الگوریتم (۳): ارسال داده حس‌شده به سمت خط مجازی.

Algorithm 3: Sending sensed data to virtual line

1. *sender* = source sensor node
2. **do**
3. *receiver* = the neighboring node of *sender* which has the minimum distance to the Line among *sender*'s neighbors
4. **send** *sensed_data_pack* to *receiver*
5. *sender* = *receiver*
6. **while** (*receiver* **is not** a forwarder-node)

Max_y	Min_y	...	مختصات موقعیت گره حسگر مورد درخواست ۴ (x_4,y_4)	مختصات موقعیت گره حسگر مورد درخواست ۳ (x_3,y_3)	مختصات موقعیت گره حسگر مورد درخواست ۲ (x_2,y_2)	مختصات موقعیت گره حسگر مورد درخواست ۱ (x_1,y_1)

شکل (۴): قالب بسته درخواست داده چاهک.

[2] Data request

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

الگوریتم (۴): ارسال بسته درخواست داده توسط چاهک متحرک.

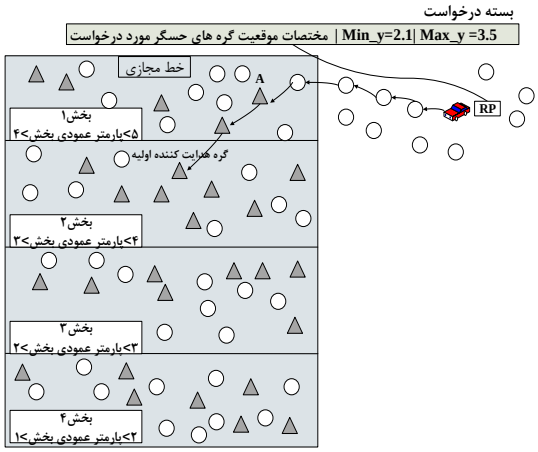
Algorithm 4: Sending sink's data request packet

1. **sort** the *request_list* //sorting the coordinates of requested nodes based on "y" parameter
2. **add** the *request_list* to *request_packet*
3. *Min_y* = the minimum "y" of requested nodes coordinates
4. **add** *Min_y* to *request_packet*
5. *sender* = mobile sink
6. **do**
7. *receiver* = the neighboring node of *sender* which has the minimum distance to the Line among *sender*'s neighbors
8. **send** *request_packet* to *receiver*
9. *sender* = *receiver*
10. **while** (*receiver* **is not** a forwarder-node)

۳-۵- جمع‌آوری داده، مجتمع‌سازی و ارسال آن به چاهک متحرک

همان‌گونه که در بخش ۳-۴ ذکر شد، چاهک بسته درخواست خود را به خط مجازی ارسال می‌کند؛ این امکان وجود دارد که گره هدایت‌کننده داخل خط که بسته‌درخواست را دریافت می‌کند، متعلق به بخشی که قرار است جستجو از آنجا شروع شود، نباشد. به همین دلیل، به‌منظور جستجوی داده، بسته درخواست به سمت بخش هدف هدایت می‌شود؛ بخش هدف از بین دو بخش ذیل انتخاب می‌شود: الف) بخشی که کمترین مؤلفه عمودیِ بسته‌درخواست (*Min_y*)، بین دو مقدار کمترین و بیشترین مؤلفه عمودی آن بخش باشد. ب) بخشی که بیشترین مؤلفه عمودیِ بسته‌درخواست (*Max_y*)، بین دو مقدار کمترین و بیشترین مؤلفه عمودی آن بخش باشد. از بین دو بخش الف و ب، آن که به بخشی که اکنون میزبان بسته درخواست می‌باشد، نزدیک‌تر است، به‌عنوان بخش هدف انتخاب می‌شود.

شکل (۵) مثالی از این موضوع را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، گره A در بخش ۱ خط مجازی بسته درخواست چاهک را دریافت می‌کند. کمترین و بیشترین مؤلفه عمودی بسته به ترتیب، برابر با ۲/۱ و ۳/۵ می‌باشند که هیچ‌کدام در محدوده بخش میزبان (بخش ۱) نمی‌باشند. لذا، بخش الف در این مثال، بخش ۳ و بخش ب، بخش ۲ خواهند بود که بخش ب به‌عنوان هدف انتخاب می‌شود. بسته به بخش پائین‌تر هدایت می‌شود، تا آن بخش نیز بررسی شود؛ این عملیات تا جایی که بسته به یک گره هدایت‌کننده در بخش هدف (بخش ۳) برسد، ادامه دارد. بنابراین، بسته درخواست به بخش ۲ ارسال می‌گردد.



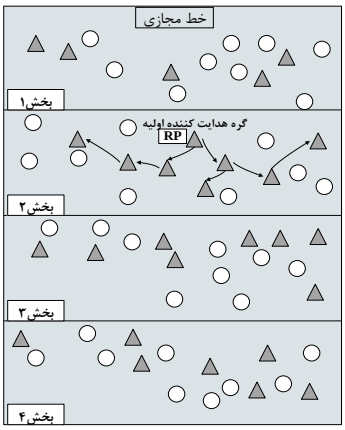
شکل (۵): ارسال بسته درخواست چاهک به بخش هدف در خط مجازی.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در بسته درخواست چاهک، موقعیت گره‌های حسگر مورد درخواست که داده‌ها را از محیط حس کرده‌اند، قرار دارد. از طرفی، همان‌گونه که در بخش ۳-۳ توصیف شد، گره‌های هر ناحیه از شبکه فقط مجاز به ارسال بسته‌های داده حس شده خود به بخش متناظر خود در خط مجازی هستند. لذا، برای یافتن داده حس‌شده هر گره، کافی است بخش متناظر با ناحیه مربوطه، در خط مجازی جستجو شود و نیازی به جستجوی همه خط مجازی نمی‌باشد. شایان ذکر است که بسته داده حس شده و ارسال شده به خط توسط حسگر، علاوه بر داده شامل مختصات موقعیت گره حسگر مربوطه می‌باشد (بخش ۳-۳) که همین مختصات موقعیت برای دست‌یابی به داده در بخش مربوطه در خط مجازی، مورد جستجو قرار می‌گیرد.

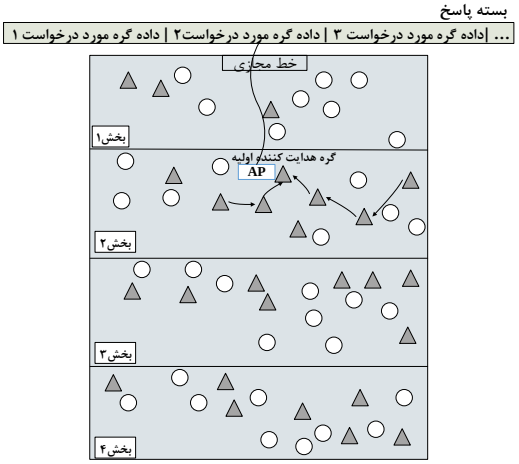
همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، گره هدایت‌کننده‌ای از بخش هدف که بسته درخواست چاهک را دریافت می‌کند (هدایت‌کننده اولیه)، آن را به تمام گره‌های هدایت‌کننده درون بخش ارسال می‌کند و گره‌های دریافت‌کننده این بسته، درصورتی که حاویِ هر کدام از داده‌های مورد درخواست در بسته باشند، داده را به گره هدایت‌کننده اولیه ارسال می‌کنند. گره هدایت‌کننده اولیه، با حذف داده‌های اضافی و مجتمع‌سازی داده‌های دریافتی از سایر هدایت‌کننده‌های بخش، بسته پاسخ را فراهم می‌کند، (شکل (۷)).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۶): ارسال همگانی بسته درخواست توسط گره هدایت‌کننده اولیه.



شکل (۷): ارسال داده به گره هدایت‌کننده اولیه و ساختن بسته پاسخ.

اگر برای تأمین داده مربوط به تمامی درخواست‌های موجود در بسته‌درخواست، به جمع‌آوری داده در بخش(های) دیگر نیز نیاز باشد، بسته درخواست و بسته پاسخ کامل‌نشده (در صورت وجود) برای ادامه جمع‌آوری داده، به بخش بعدی ارسال می‌گردد. حسب اینکه در هنگام ارسال بسته درخواست از بخش میزبان به بخش هدف، بسته از بخش‌های بالاتر یا پایین‌تر به بخش فعلی رسیده است، در ادامه مسیر، به‌ترتیب، به بخش مجاور پایین یا بالا، ارسال می‌گردد.

به روشی که در بخش ۳-۲ ارائه شد، تمامی گره‌های هدایت‌کننده داخل‌خط از آخرین موقعیت چاهک با خبر هستند. لذا، با تکمیل هر بسته پاسخ، گره هدایت‌کننده اولیه، آن را به سمت چاهک ارسال می‌کند. به این منظور، گره هدایت‌کننده اولیه بسته پاسخ را به همسایه‌ای که به چاهک نزدیک‌تر است، ارسال می‌کند. گره دریافت‌کننده بسته پاسخ نیز این روال را تکرار می‌کند تا بسته به چاهک متحرک برسد. الگوریتم (۵)، تمامی رویه جمع‌آوری و مجتمع‌سازی داده در بخش‌ها و ارسال آن به چاهک را نشان می‌دهد.

الگوریتم (۵): رویه جمع‌آوری، مجتمع‌سازی و ارسال داده‌های درخواست شده، به چاهک.

Algorithm 5 : Collection, Aggregation and Sending requested data toward the mobile sink

1.**Begin**
2. **for** i**=1 to** $N_{sections}$ // number of sections
3. **if** (Min_y ≤ S_i(upperY) and Min_y ≥ S_i(lowerY))
4. $A=i$
5. **if** (Max_y ≤ S_i(upperY) and Max_y ≥S_i (lowerY))
6. $B=i$
7. **end for**
8. **if** (|*A*-Host| ≤ |*B*-Host|) // Host is the index of host section of request_packet
9. *Target=A* // target section for request_packet
10. **else**
11. *Target=B*
12. *Next_section = Target*
13. **send** the *request_packet* to *Next_section*
14. A forwarder_node (primary) in *Next_section* receives the *request_packet*
15. primary forwarder-node multicasts the *request_packet* in the section
16. each forwarder containing a requested data, replies to primary forwarder-node
17. primary forwarder-node aggregates the received replies in *reply_packet(s)*
18. Primary forwarder-node sends the completed *reply_packet(s)* toward the sink
19. **if** (*Target* = *A* and *Next_section* > *B*)
20. *Next_section* = *Next_section*+1
21. Primary forwarder_node sends the *request_packet* and incomplete *reply_packet* (if there is) to *Next_section*
22. A forwarder_node (primary) in *Next_section* receives the *request_packet* and incomplete *reply_packet* (if there is)
23. **goto 15**
24. **end if**
25. **if** (*Target* = *B* and *Next_section* < *A*)
26. *Next_section* = *Next_section*-1
27. Primary forwarder_node sends the *request_ packet* and incomplete *reply_packet* (if there is) to *Next_section*
28. A forwarder_node (primary) in *Next_section* receives the *request_packet* and incomplete *reply_packet* (if there is)
29. **goto 15**
30. **end if**
31.**End**

۴- ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی عملکرد آن در مقایسه با سه روش مرتبط اخیر، می‌پردازیم. شبیه‌سازی روش پیشنهادی در محیط NS-۳ انجام شده است؛ به دلیل تطبیق‌پذیری الگوریتم مسیریابی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

AODV با شبکه‌های موردی، حجم کم پردازش و حافظه مورد نیاز که از خواص الگوریتم AODV می‌باشد، از این الگوریتم مسیریابی در شبیه‌سازی این روش استفاده شده است. همچنین برای کنترل دسترسی به کانال مشترک از پروتکل IEEE 802.11 استفاده شده است.

پردازش‌هایی که در این شبیه‌سازی، به گره‌های حسگر محول می‌شود، کارهای پردازشی پیچیده نمی‌باشد. بلکه فقط عملیات مقایسه و انتخاب به‌عنوان پردازش‌های درون گرهی انجام می‌شوند. البته پردازش‌هایی چون مرتب‌سازی و غیره در چاهک متحرک صورت می‌گیرد که دارای ساختاری متفاوت نسبت به حسگرها می‌باشد.

برای به‌دست آوردن هر یک از نتایج روش پیشنهادی، در محیط شبیه‌سازی، الگوریتم سی مرتبه به‌طور مستقل اجرا شده است و خروجی‌های حاصل، میانگین شده‌اند. روش‌های مورد مقایسه عبارت‌اند از روش VGB ارائه‌شده در [۱۳]، روش موسوم به IoGHR، ارائه‌شده در [۱۴] و روش Developed VG_AFSA پیشنهاد شده در [۱۵].

۴-۱- پارامترهای شبیه‌سازی

جدول (۱)، پارامترهای شبیه‌سازی تنظیم‌شده در محیط شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. میزان شعاع حسی و شعاع ارتباطی گره‌های حسگر نیز، در این شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شده‌اند و تغییر آنها در نتایج روش پیشنهادی تأثیری نخواهد داشت. همان‌طور که در مراحل مختلف روش پیشنهادی دیده شد، فرایندهای هیچ یک از مراحل روش، به نوع حرکت چاهک وابستگی ندارند. لذا، هیچ محدودیتی از بابت نوع حرکت چاهک وجود ندارد. ازاین‌رو، در پیاده‌سازی، نوع حرکت چاهک به‌صورت کاملاً تصادفی در نظر گرفته می‌شود.

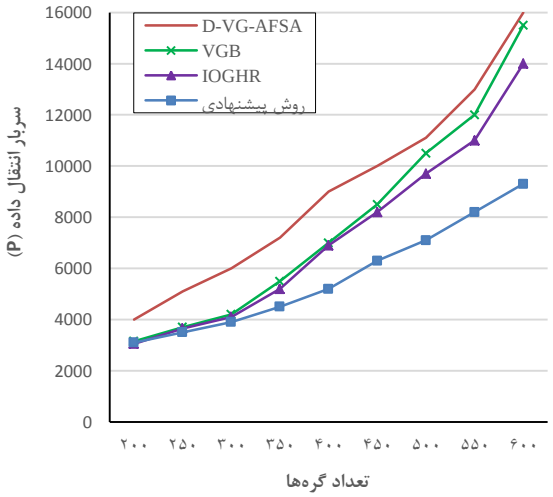
جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مقدار
ابعاد محیط	۲۰۰ در ۲۰۰ متر
تعداد گره‌های حسگر	بین ۲۰۰ تا ۶۰۰
زمان شبیه‌سازی	۹۰۰ ثانیه
شعاع ارتباطی هر گره	۴۰ متر
شعاع حسی هر گره	۲۰ متر
مکان قرارگیری هر گره	تصادفی
بازه زمانی تولید داده حسی	۱ ثانیه
انرژی اولیه هر گره حسگر	۳ ژول
انرژی اولیه هر گره هدایت‌کننده	۶ ژول
بازه تولید یک درخواست از چاهک	۱۰ ثانیه

۴-۲- میزان سربار

میزان سربار، مربوط به انتقال داده کنترلی در روش پیشنهادی حسب تعداد مختلف گره‌ها، با روش‌های مذکور مورد مقایسه قرار گرفت. همان‌طور که شکل (۸) نشان می‌دهد، سربار ناشی از انتقال داده در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه، همواره کمتراست. در روش‌های مورد مقایسه، به ازای هر درخواست داده از طرف چاهک، یک بسته کنترلی به سمت ناحیه یا ناحیه‌های در نظر گرفته شده در شبکه، ارسال می‌شود که با افزایش چگالی گره‌ها و/یا زیادشدن تعداد درخواست‌های چاهک برای داده، سربار انتقال داده شبکه هم به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. اما، در روش پیشنهادی، روش مرتب‌سازی درخواست‌های داده بر حسب مؤلفه عمودی موقعیت گره مورد درخواست و دسته‌بندی درخواست‌ها در بسته‌های درخواست داده، (بخش ۳-۴)، موجب کاهش انتقال بسته‌های کنترلی می‌گردد. درخواست‌های مربوط به گره‌هایی که از حیث مؤلفه عمودی مختصات، نزدیک به هم هستند، در بسته درخواست مشترکی قرار می‌گیرند تا عملیات جستجو و جمع‌آوری داده در یک منطقه حتی‌المقدور کوچک در خط مجازی انجام گیرد و لذا، سربار کمی ایجاد کند.

علاوه‌براین، همان‌طور که در بخش ۳-۵ ذکر شد، عملیات جستجوی داده در خط مجازی فقط درون بخش‌های محتوی داده‌های مورد درخواست و با شروع از بخش هدف انجام می‌گیرد. بنابراین، انتقال داده کنترلی در بخش‌های نامرتبط انجام نمی‌گیرد. همچنین، عملیات تجمیع داده‌های ارسالی به چاهک توسط گره‌های هدایت‌کننده اولیه، باعث کاهش تعداد بسته‌های داده پاسخ و نیز کاهش مسیریابی‌های مورد نیاز و در نهایت کاهش سربار کنترلی ناشی از مسیریابی خواهد شد.



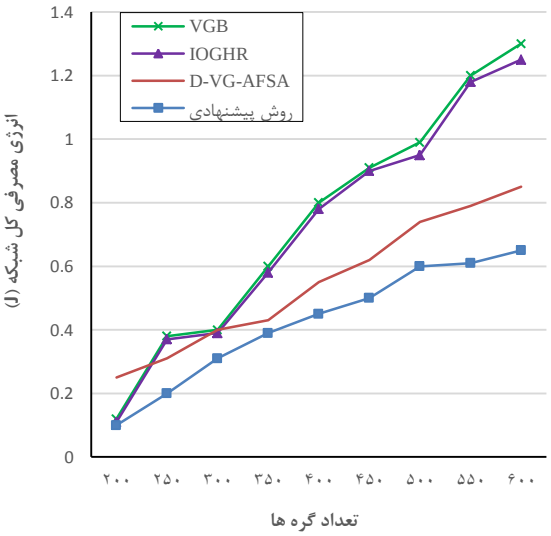
شکل (۸): سربار انتقال داده روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۴-۳- مصرف انرژی

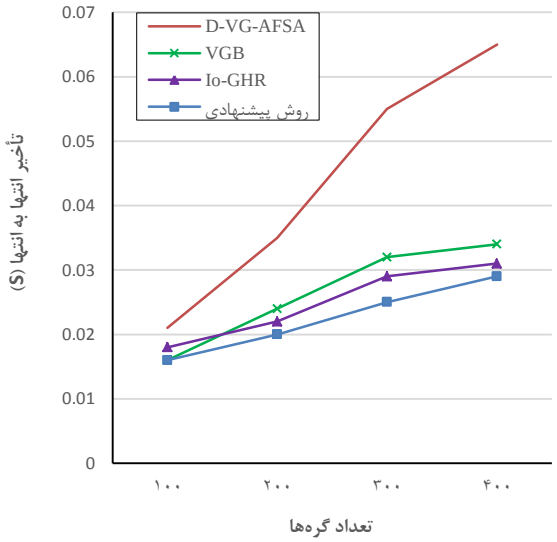
شکل (۹) انرژی مصرفی شبکه با روش پیشنهادی و نیز روش‌های مورد مقایسه را برحسب تعداد گره‌های شبکه نشان می‌دهد. در روش‌های مورد مقایسه، به ازای هر درخواست داده از طرف چاهک، یک بسته کنترلی در شبکه ارسال می‌شود. مسیریابی و انتقال داده هر کدام از درخواست‌های چاهک، باعث افزایش مصرف انرژی گره‌های میانی در شبکه می‌شود. اما، در روش پیشنهادی، درخواست‌های چاهک و پاسخ‌های خط مجازی، هر دو به‌صورت مجتمع‌شده در بسته‌های مربوط، ارسال می‌شوند. لذا، میزان انتقال‌های داده در روش پیشنهادی از روش‌های مورد مقایسه، به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌شود. از طرفی، منطقه جستجو برای به‌دست‌آوردن داده مورد درخواست چاهک، در روش پیشنهادی به دلیل بخش‌بندی خط مجازی، محدود به بخش‌های محتوی داده‌های مورد درخواست چاهک می‌باشد و همه خط مجازی مورد جستجو قرار نمی‌گیرد. این امر، موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی گره‌های شبکه و افزایش طول عمر آنها می‌شود.



شکل (۹): انرژی مصرف‌شده در کل شبکه با روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه

۴-۴- میزان تأخیر

شکل (۱۰)، تأخیر انتها به انتهای شبکه در رسیدن بسته داده را برحسب تعداد گره‌های شبکه نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، تأخیر رسیدنِ بسته در روش پیشنهادی، نسبت به روش‌های مورد مقایسه، با تعداد مختلف گره، کمتر است. همان‌طور که در بخش ۴-۲ برای ارزیابی سربار شرح داده شد، میزان بسته‌های کنترلی و داده تولیدی برای انتقال، در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه کمتر است. بنابراین، بار کاری و ترافیک انتقال داده نیز در شبکه پایین‌تر می‌باشد؛ به دلیل ترافیک پایین‌تر نسبت به روش‌های مورد مقایسه، تأخیر انتقال داده کاهش می‌یابد. این امر با افزایش چگالی گره‌ها و/یا زیادشدن تعداد درخواست‌های چاهک برای داده، بیشتر نمایان می‌باشد.



شکل (۱۰): تأخیر رسیدن بسته در روش پیشنهای و روش‌های مورد مقایسه.

۴-۵- نرخ تحویل داده

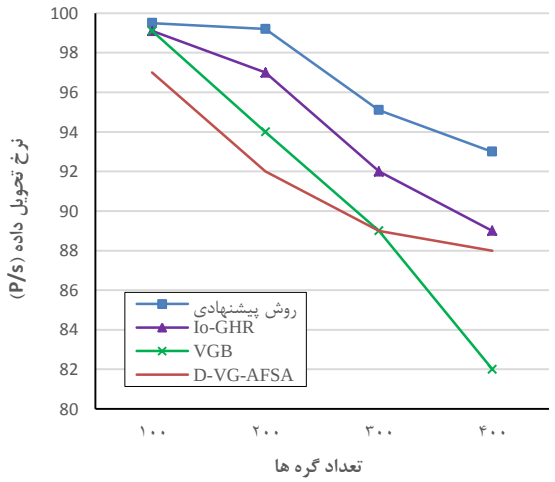
نرخ تحویل داده روش پیشنهادی با روش‌های IoGHR، VGB و VG-AFSA برای تعداد مختلف گره‌ها و نیز برای شبکه با ابعاد مختلف، مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. با افزایش تعداد گره‌ها، نرخ تحویل داده کاسته می‌شود اما این روند برای روش پیشنهادی کندتر است و همواره نرخ تحویل داده برای روش پیشنهادی بیشتر از دو روش دیگر است (شکل (۱۱)).

تأخیر کمتر روش پیشنهادی، از یک سو میزان داده تحویل شده در واحد زمان را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، تعداد بسته‌های کنترلی و داده انتقالی کمتر (ترافیک پایین‌تر)، خصوصاً در شبکه با چگالی گره بالا، میزان ازدست‌رفتن[1] کمتری را برای بسته‌ها نتیجه می‌دهد. ازاین‌رو، میزان داده دریافت شده در واحد زمان (نرخ تحویل) افزایش می‌یابد.

[1] Packet lost

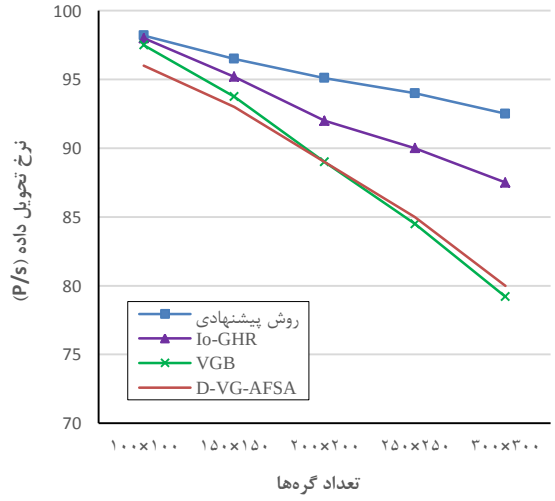
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۱۱): نرخ تحویل داده برای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه با تعداد گره‌های مختلف.

در ادامه، نرخ تحویل بسته در شبکه با تعداد گره ثابت برابر با ۳۰۰ و افزایش ابعاد شبکه، برای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه، محاسبه شد. شکل (۱۲) نشان‌دهنده نحوه تغییرات نرخ تحویل بسته با افزایش سطح شبکه می‌باشد. به‌طور کلی، با افزایش ابعاد سطح، فاصله گره‌ها از یکدیگر بیشتر می‌شود و لذا، زمان ارسال داده افزایش می‌یابد. بنابراین، در واحد زمان مقدار داده دریافتی کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، تغییرات نرخ تحویل بسته توسط روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه، اندک می‌باشد. تأخیر کمتر و نیز سربار کمتر روش پیشنهادی باعث می‌شوند با افزایش فاصله‌ها، به غیر از زمان انتشار داده، عامل دیگری نرخ تحویل بسته را کاهش ندهد. ازاین‌رو، روش پیشنهادی برای شبکه‌های با ابعاد کوچک و بزرگ، کارایی مطلوبی نشان می‌دهد و مقیاس‌پذیر است.



شکل (۱۲): نرخ تحویل داده برای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه با ابعاد مختلف شبکه.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش انتشار و جمع‌آوری داده با ایجاد خط مجازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چاهک متحرک پیشنهاد شد. روش پیشنهادی عملیات انتشار و جمع‌آوری داده را با بخش‌بندی خط مجازی، مرتب‌سازی و دسته‌بندی درخواست‌های چاهک، تشخیص بخش‌های هدف و مرتبط با درخواست‌های چاهک، محدودسازی مناطق جستجو، و همچنین تجمیع داده‌های ارسالی به چاهک، انجام می‌دهد. خط مجازی یک نوار است که دقیقاً در وسط سطح شبکه به‌صورت عمودی و بخش‌بندی‌شده در نظر گرفته می‌شود.

بنا به سیاست‌های این روش، ارسال داده‌های حس‌شده در نواحی مختلف شبکه به بخش‌های مربوط و نیز، فرایند به‌روزرسانی موقعیت چاهک در خط مجازی با حداقل هزینه و تعداد پیام‌های کنترلی اجرا می‌گردند. درخواست‌های چاهک برای داده، به‌صورت مرتب شده بر حسب بخش‌های خط مجازی، ارسال می‌شوند. علاوه‌براین، عملیات جستجوی داده‌های مورد نیاز چاهک، فقط توسط تعداد خاصی از گره‌های موجود در بخش‌های منتخب خط مجازی، با تشخیص بخش هدف، انجام می‌شود و سپس داده‌های حاصل تجمیع و با حداقل سربار، ارسال می‌شوند. بنا بر ارزیابی‌های انجام شده با چگالی‌های مختلف برای گره‌ها در شبکه، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر در این حوزه، سربار، مصرف انرژی و تأخیر انتها به انتهای کمتر و نیز، نرخ تحویل داده بیشتری نتیجه می‌دهد.

نویسندگان در نظر دارند در کارهای آتی خود، در موضوع انتشار داده روی خط، پژوهشی با شرایطی جدید انجام دهند. شرایطی که علاوه بر چاهک، گره‌های حسگر و گره‌های هدایت‌کننده نیز متحرک باشند. در ادامه، پیشنهاد می‌گردد که برای فعالیت‌های آتی، روش پیشنهادی برای شرایطی که در شبکه، هم چاهک متحرک و چاهک ثابت وجود داشته باشد، ادامه یابد.

۶- مراجع

[1]. A. Hawbani et al., "Sink-oriented tree based data dissemination protocol for mobile sinks wireless sensor networks," Wireless Networks, vol. 24, no. 7, pp. 2723-2734, 2018.

[2]. H. I. Kobo, A. M. Abu-Mahfouz, and G. Hancke, "A survey on software-defined wireless sensor networks: Challenges and design requirements," IEEE access, vol. 5, pp. 1872-1899, 2017.

[3]. C. Tunca, S. Isik, M. Y. Donmez, and C. Ersoy, "Distributed mobile sink routing for wireless sensor networks: A survey," IEEE communications surveys & tutorials, vol. 16, no. 2, pp. 877-897, 2013.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

saving in wireless sensor networks with mobile sink," Wireless Networks, vol. 25 ,no. 5, pp. 2953-2961, 2019.

[15]. R. Mitra and S. Sharma, "Proactive data routing using controlled mobility of a mobile sink in Wireless Sensor Networks," Computers & Electrical Engineering, vol. 70, pp. 21-36, 2018.

[16]. D. Sethi and P. P. Bhattacharya, "A Comparative analysis of various mobile sink routing protocols and performance comparison of clustered routing protocols in mobile sink scenario," Majlesi Journal of Electrical Engineering, vol. 12, no. 3, pp. 11-22, 2018.

[17]. C. Zhu, G. Han and H. Zhang, "A honeycomb structure based data gathering scheme with a mobile sink for wireless sensor networks," Peer-to-Peer Networking and Applications, vol. 10, no. 3, pp. 484-499, 2017.

[18]. C. L. Tseng, et al., "Optimal mobile sink path planning for heterogeneous wireless sensor networks," in proceedinds of International Automatic Control Conference (CACS), 2018.

[19]. J. Wang, Y. Cao, B. Li, H. j. Kim, and S. Lee, "Particle swarm optimization based clustering algorithm with mobile sink for WSNs," Future Generation Computer Systems, vol. 76, pp. 452-457, 2017.

[20]. M. Alaei, P. Sabbagh, and F. Yazdanpanah, "A QoS-aware congestion control mechanism for wireless multimedia sensor networks," Wireless Networks, vol. 25, no. 7, pp. 4173-4192, 2019.

[21]. J. Zhang, J. Tang, T. Wang, and F. Chen, "Energy-efficient data-gathering rendezvous algorithms with mobile sinks for wireless sensor networks," International Journal of Sensor Networks, vol. 23, no. 4, pp. 248-257, 2017.

[22]. M. Davoodi Monfared, E. Delfaraz Pahlevanlo, S. Ghobadi Babi, and M. Masoori, "A Centralized Algorithm Based on Voronoi Diagram for Hole Detection Problem in Wireless Sensor Networks," Journal of Electronical & Cyber Defence, vol. 5, no. 3, pp. 39-51, 2017. (In Persian)

[23]. J. Pournazari, M. Alaei, and F. Yazdanpanah, "An energy efficient autonomous method for coverage optimization in wireless multimedia sensor networks," Wireless Personal Communications, vol. 99, no. 2, pp. 717-736, 2018.

[24]. E. B. Hamida and G. Chelius, "Analytical evaluation of virtual infrastructures for data dissemination in wireless sensor networks with mobile sink," In proceedings of the first ACM Workshop on Sensor and Actor Networks, pp. 3-10, 2007.

[4]. P. Rawat, K. D. Singh, H. Chaouchi, and J. M. Bonnin, "Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies," The Journal of supercomputing, vol. 68, no. 1, pp. 1-48, 2014.

[5]. J. Yan, M. Zhou, and Z. Ding, "Recent advances in energy-efficient routing protocols for wireless sensor networks: A review," IEEE Access, vol. 4, pp. 5673-5686, 2016.

[6]. Y. G. Yue and P. He, "A comprehensive survey on the reliability of mobile wireless sensor networks: Taxonomy, challenges, and future directions," Information Fusion, vol. 44, pp. 188-204, 2018.

[7]. S. Wu, J. Niu, W. Chou, and M. Guizani, "Delay-aware energy optimization for flooding in duty-cycled wireless sensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 12, pp. 8449-8462, 2016.

[8]. H. H. R. Sherazi, L. A. Grieco, and G. Boggia, "A comprehensive review on energy harvesting MAC protocols in WSNs: Challenges and tradeoffs," Ad Hoc Networks, vol. 71, pp. 117-134, 2018.

[9]. C. Konstantopoulos, N. Vathis, G. Pantziou, and D. Gavalas, "Employing mobile elements for delay-constrained data gathering in WSNs," Computer Networks, vol. 135, pp. 108-131, 2018.

[10]. S. Al-Sodairi and R. Ouni, "Reliable and energy-efficient multi-hop LEACH-based clustering protocol for wireless sensor networks," Sustainable Computing: Informatics and Systems, vol. 20, pp. 1-13, 2018.

[11]. M. Alaei and J. M. Barcelo-Ordinas, "A collaborative node management scheme for energy-efficient monitoring in wireless multimedia sensor networks," Wireless networks, vol. 19, no. 5, pp. 639-659, 2013.

[12]. M. Alaei and F. Yazdanpanah, "EELCM: An Energy Efficient Load-Based Clustering Method for Wireless Mobile Sensor Networks," Mobile Networks and Applications, vol. 24, no. 5, pp. 1486-1498, 2019.

[13]. 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 vol. 84, pp. 144-152, 2018.

[14]. S. Vahabi, M. Eslaminejad, and S. Dashti, "Integration of geographic and hierarchical routing protocols for energy

Archive of SID.ir