Scientific Journal of Electronical & Cyber Defence
Vol. 12, No. 3, Autumn2024, Serial No. 47

A Method for Energy and Delay Aware Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks

M. Alaei , F. Yazdanpanah*

* Associate Professor، Vali-e-Asr University of Rafsanjan ،Rafsanjan, Iran

(Received:2024 /0729, Revised: 2024/09/21, Accepted: 2024/10/07, Published: 2024/10/22)

ABSTRACT

Wireless multimedia sensor networks have attracted a lot of attention in the research and industrial community due to their influence and importance in scientific research and also their various applications. These networks are a special form of wireless sensor networks in which multimedia data such as video, image and sound are produced and transmitted by multimedia nodes. In many applications, multimedia data must be provided with predefined levels of quality of service. For example, real-time data transfer is essential for providing sensed data to the sink in these applications. Designing the routing protocol according to the requirements of the desired quality of service is always one of the most basic steps in the process of sending data packets. Therefore, in wireless multimedia sensor networks, special and different routing protocols are needed from those used in conventional sensor networks. In this article, a protocol is proposed for routing in multimedia wireless sensor networks by creating cooperation between scalar and multimedia nodes. In the proposed method, suitable criteria for multimedia applications are considered to select route nodes, and the decision to find the best neighbor in a system is made by applying those criteria in fuzzy logic system. The evaluations performed on the proposed method from the viewpoints of delay and energy consumption indicate its superiority over the previous methods.

Keywords: Wireless multimedia sensor networks, Routing, Energy consumption optimization, Delay reduction.

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

«پدافند الکترونیکی و سایبری»
سال دوازدهم، شماره ۳، فصل پاییز ۱۴۰۳؛ ص ۵۹-۴۹

علمی – پژوهشی

روشی برای مسیریابی آگاه از انرژی و تأخیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای

محمد علائی[۱*]، فهیمه یزدان‌پناه[۲]

۱و ۲- دانشیار دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶، انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱)

DOR:https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.3.6.8

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) نویسندگان

چکیده

شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم به دلیل تأثیر و اهمیتی که در تحقیقات علمی و کاربردهای گوناگونشان دارند، توجه زیادی را در جامعه تحقیقاتی و صنعتی به خود جلب کرده‌اند. این شبکه‌ها، شکل خاصی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند که داده‌های چندرسانه‌ای مانند ویدئو، تصویر و صدا در آن‌ها توسط گره‌های چندرسانه‌ای تولید و منتقل می‌شود. در بسیاری از کاربردها، داده‌های چندرسانه‌ای باید با سطوح از پیش تعریف‌شده کیفیت سرویس‌ها، ارائه شوند. به‌عنوان‌مثال، انتقال بلادرنگ داده از ملزومات ارائه داده حس شده به چاهک در این کاربردها، است. علاوه بر این، محدودیت انرژی در منبع تغذیه گره‌ها، در طرح همه پروتکل‌های این شبکه‌ها باید در نظر گرفته شود؛ لذا، طراحی پروتکل مسیریابی متناسب با نیازهای کیفیت سرویس مطلوب، همواره یکی از اساسی‌ترین مراحل طرح روند ارسال بسته‌های داده است. ازاین‌رو، در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم پروتکل‌های مسیریابی خاص و متفاوت با آنچه که در شبکه‌های حسگر معمولی به کار می‌روند، مورد نیاز است. در این مقاله، پروتکلی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای با ایجاد همکاری بین گره‌های معمولی و چندرسانه‌ای، پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، معیارهایی متناسب با کاربردهای چندرسانه‌ای برای انتخاب گره‌های مسیر در نظر گرفته می‌شود و تصمیم‌گیری برای پیداکردن بهترین همسایه در یک سیستم با منطق فازی با اعمال آن معیارها، انجام می‌گیرد. ارزیابی‌های انجام‌گرفته روی روش پیشنهادی از دیدگاه‌های تأخیر و مصرف انرژی، بیانگر برتری آن نسبت به روش‌های قبلی هستند.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم، مسیریابی، بهینه¬سازی مصرف انرژی، کاهش تأخیر

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولی و نیز، شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای، هر دو، از دسته شبکه‌های بی‌سیم موردی هستند. آن‌ها معمولاً گره‌هایی را که توسط باتری کار می‌کنند بکار می‌برند و بنابراین یک دغدغه مشترک به‌عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در طراحی پروتکل‌های آن‌ها و ازجمله، پروتکل‌های مسیریابی، وجود دارد [۱۴-۱]. باوجود این مشابهت‌ها، تفاوت‌های اساسی نیز بین این شبکه‌ها وجود دارد. اولاً، پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولی برای کاربردهای چندرسانه‌ای که نیاز به پهنای باند و انرژی پردازشی بالا و انتقال بلادرنگ دارند، طراحی نشده‌اند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای که حسگرهای ناهمگن در آن‌ها می‌توانند توزیع شوند، جریان‌های ویدئویی، تصویر، صوت و داده‌های معمولی مانند داده‌های تولیدشده توسط حسگرهای دما، رطوبت و موارد مشابه با آن‌ها، باید بین گره‌ها تا ایستگاه پایه منتقل شوند که این امر چالش‌های اضافی به مسیریابی تحمیل می‌کند [۱۸-۴].

ثانیاً معمولاً بین کارایی انرژی و کیفیت سرویس چندرسانه‌ای در هنگام تصمیم برای انتخاب گره‌ها و پیوندها در پروتکل مسیریابی، چالش وجود دارد. به‌عنوان‌مثال، تجمیع داده و فشرده‌سازی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی بکار می‌روند که ممکن است موجب ایجاد تأخیرهای غیرقابل‌قبولی از دیدگاه کیفیت سرویس در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای شوند؛ چراکه کاربردهای چندرسانه‌ای در بیشتر اوقات نیازمند انتقال داده بلادرنگ هستند [۱ و ۲۱-۸]. ثالثاً، داده‌های چندرسانه‌ای حس و تولیدشده نسبت به داده‌های معمولی حجم بسیار بیشتری دارند و لذا، تعداد بسیار بیشتری بسته داده تولید می‌کنند که این موضوع، در کارایی مسیریابی مخصوصاً در نرخ مصرف انرژی و نرخ تغییرات پارامترهای مسیریابی تأثیر می‌گذارد. وقتی‌که یک گره به طور پیوسته محتوای

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

چندرسانه‌ای دریافت و ارسال می‌کند، انرژی بیشتری مصرف خواهد کرد و بنابراین، نیاز به بررسی و تعیین مسیرها به طور پیوسته ازلحاظ انرژی، خواهد بود [۲۴-۱۹].

شکل ۱، معماری جامع شبکه‌های حسگر بی‌سیم را نشان می‌دهد [۱]. در این معماری، گره‌های حسگر چندرسانه‌ای ویدیویی، صوتی و تصویری به‌صورت خوشه‌بندی‌شده، در چند لایه به کار گرفته شده‌اند. علاوه بر این، گره‌های حسگر معمولی برای حس داده‌های معمولی محیط و نیز برای انجام نقش گره میانی در ارسال بسته‌های داده تولیدشده در گره‌های چندرسانه-ای، در خوشه‌ها به‌کاربرده شده‌اند.

بنا به موارد بالا، روش‌های طرح‌شده برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولی، در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای قادر به ارائه کارایی مطلوب نیستند؛ لذا، ضروری است که پروتکل‌های مسیریابی مختص این شبکه‌ها و متناسب با خصوصیات موردی آن‌ها طرح گردد. ازاین‌رو، در این مقاله، روشی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای با ایجاد همکاری بین گره‌های معمولی و چندرسانه‌ای، پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، معیارهایی متناسب با کاربردهای چندرسانه‌ای برای انتخاب گره‌های مسیر، در نظر گرفته می‌شود و تصمیم‌گیری برای پیداکردن بهترین همسایه در یک سیستم با منطق فازی و با اِعمال آن معیارها، انجام می‌گیرد.

منطق فازی، امروزه به حل بسیاری از مسائل مربوط به تصمیم‌گیری کمک می‌کند. به‌طوری‌که مانند تفکرات و ایده‌های ذهن انسانی، درجاتی از درستی یا نادرستی را برای تصمیم محسوب می‌کند و درنتیجه، بهترین تصمیم بر اساس ورودی‌ها را تولید می‌کند. سیستم‌های دیجیتال به‌تنهایی توانایی شبیه‌سازی تفکر انسانی را دارا نیستند؛ زیرا منطق دیجیتال برای هر تصمیم فقط دو وضعیت صفر و یک را در نظر می‌گیرد. منطق فازی دارای چهار مرحله اصلی است.

قوانین پایه: این بخش، شامل همه قاعده‌ها و شرایطی است که به‌صورت «اگر... آنگاه» توسط یک متخصص مشخص شده‌اند تا قادر به کنترل تصمیمات یک سیستم تصمیم‌گیری باشند.

فازی‌سازی: در گام فازی‌سازی، ورودی‌ها به اطلاعات فازی تبدیل می‌شوند. به این معنی که اعداد و ارقام و اطلاعاتی که باید پردازش شوند، به مجموعه‌ها و اعداد فازی تبدیل می‌شوند. داده‌های ورودی که توسط حسگرها در یک سیستم تولید شده‌اند، تغییریافته و برای پردازش در منطق فازی آماده می‌شوند.

بخش استنتاج: در این بخش، میزان انطباق ورودی‌های حاصل از فازی‌سازی با قوانین پایه مشخص می‌شود. به‌این‌ترتیب بر اساس میزان انطباق، تصمیمات مختلفی به‌عنوان نتایج حاصل از استنتاج فازی تولید می‌شود.

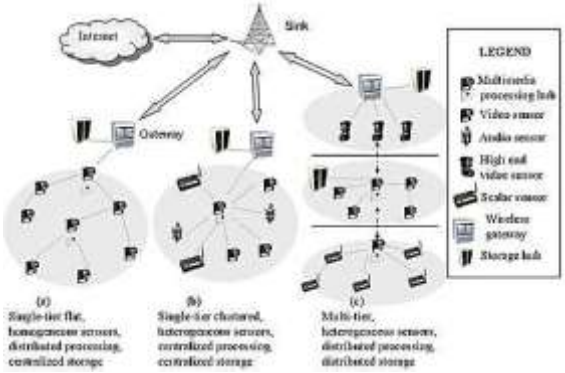
غیرفازی‌سازی: در آخرین مرحله، نتایج حاصل از استنتاج فازی که به‌صورت مجموعه‌های فازی هستند به داده‌ها و اطلاعات رقمی تبدیل می‌شوند که در سیستم‌های دیجیتال قابل به‌کارگیری هستند.

ارزیابی‌های روش پیشنهادی از دیدگاه‌های تأخیر و مصرف انرژی، بیانگر برتری آن نسبت به روش‌های قبلی هستند. مصرف انرژی پایین‌تر، موجب افزایش طول عمر شبکه می‌گردد و کاهش تأخیر انتها به انتها، امکان انتقال بسته‌های داده چندرسانه‌ای به‌صورت بلادرنگ را میسر می‌سازد. طول عمر بیشتر و انتقال بلادرنگ داده، هر دو در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای از ضرورت‌های همیشگی هستند.

بنابراین، نوآوری‌های روش ارائه‌شده در این مقاله را می‌توان در موارد ذیل خلاصه کرد:

- ارائه یک الگوریتم مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای مبتنی بر منطق فازی با معیار جدید میزان داده دریافتی گره و نیز معیارهای فاصله و انرژی
- ایجاد امکان ارتباط بلادرنگ چندرسانه‌ای با کاهش میزان تأخیر انتها به انتها
- افزایش طول عمر شبکه با متوازن‌سازی و بهبود میزان مصرف انرژی

در ادامه این مقاله، در بخش دوم، پژوهش‌های پیشین انجام‌شده در حوزه مورد بحث، مرور می‌شوند. در بخش سوم، مراحل روش پیشنهادی با جزئیات ارائه می‌گردد. بخش چهارم شامل نتایج پیاده‌سازی و ارزیابی‌های روش پیشنهادی است و درنهایت، بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.



شکل (۱). معماری جامع شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای [۱]

۲- پژوهش‌های پیشین

بنا به آنچه در بخش قبل ذکر شد، موضوع مسیریابی در شبکه-های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای در پژوهش‌های این حوزه، به شیوه‌های گوناگون مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه، مروری اجمالی بر کارهای انجام‌شده قبلی دراین‌خصوص، خواهیم داشت.

در [۳]، نویسندگان یک الگوریتم خوشه‌بندی با استفاده از سیستم استنتاج فازی برای سازگاری انتخاب سرخوشه در روش TEEN برای شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند. روش انتخاب تصادفی نمی‌تواند دردسترس‌بودن سرخوشه را برای گره‌ها تضمین کند و نیز، ازآنجایی‌که در الگوریتم اصلی، تشکیل خوشه‌ها بهینه نشده است، طول عمر شبکه با مشکل همراه است. برای بهبود این موضوع، در روش ارائه‌شده برای خوشه‌بندی، ویژگی‌های هر گره حسگر برای ارزیابی احتمال سرخوشه بودن آن، جمع‌آوری می‌شود.

نویسندگان در [۵]بر مشکل بهینه‌سازی هم‌زمان رمزگذاری ویدئو در گره‌های منبع و مسیریابی داده‌های تولیدشده تا چاهک، برای افزایش طول عمر شبکه، تمرکز کرده‌اند. در این پژوهش، دو گام برای راه‌حل مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا، مسیرها با استفاده از پروتکل مسیریابی کوتاه‌ترین مسیر به سمت چاهک کشف می‌شوند؛ سپس، با درنظرگرفتن تغییرات توپولوژی پویا و قابلیت اطمینان پیوند، مناسب‌ترین مسیرها به روشی توزیع‌شده انتخاب می‌شوند. یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی در [۷]پیشنهاد شده است که سعی دارد تعداد گره‌ها را در خوشه‌ها متعادل کند، هدف اصلی این پروتکل، کاهش ازدحام درون خوشه‌ای و کاهش تعداد سرخوشه‌های متراکم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. یک معیار به نام حداکثر نسبت استفاده از سرخوشه نیز برای اطمینان از انتقال قابل‌اعتماد داده‌های چندرسانه‌ای، در این کار پیشنهاد شده است. یک پروتکل مسیریابی جریان ویدئوی بلادرنگ با نرخ داده وفقی در [۸]ارائه شده است. این الگوریتم، از ارسال چند مسیری با محاسبه هزینه پویا برای انتخاب گام بعدی بهره می‌برد. هدف اصلی در این مقاله، کاهش تأخیر و افزایش کیفیت سرویس است.

روش ارائه‌شده در [۹]به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گره‌های همکار، یک سیستم تصمیم‌گیری مبتنی بر شبکه باور عمیق (DBN[1]) را پیشنهاد کرده است. علاوه بر این، محدودیت‌هایی مانند میزان مصرف انرژی گره‌ها برای داده‌های گوناگون، قابلیت اطمینان و تأخیر در هنگام انتقال داده‌های چندرسانه‌ای در شبکه، نیز در این روش مورد مطالعه قرار می‌گیرند. الگوریتم بهینه‌سازی پروانه خود بهبودیافته (SIBOA[2]) برای تنظیم وزن بهینه DBN به‌منظور حصول بهترین انتخاب‌های صحیح پیشنهاد شده است. در [۱۰]، نویسندگان با درنظرگرفتن محدودیت‌های کیفیت سرویس و مصرف انرژی، یک روش مسیریابی مشارکتی انطباقی توزیع‌شده با کارآمدی انرژی (EDACR[3])برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای پیشنهاد کرده‌اند. در این روش، یک مکانیسم مبتنی بر یادگیری تقویتی برای کیفیت سرویس و مسیریابی با مصرف متعادل انرژی با درنظرگرفتن قابلیت اطمینان و تأخیر طراحی شده است.

نویسندگان در [۱۱]یک خط مجازی در میانه شبکه در نظر گرفته و سطح شبکه را ناحیه‌بندی کرده‌اند؛ خط ایجادشده، برای تسهیل در مرحله جستجو، بخش‌بندی می‌شود و همچنین، داده-های حس شده در ناحیه‌های مختلف شبکه، فقط در بخش متناظر خود در خط مجازی دریافت می‌شوند. در 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 با کارایی بالایی، انجام می‌گیرد. در [۱۲]روشی برای مسیریابی کارآمد ازنظر انرژی، ارائه شده است. این الگوریتم نه‌تنها مصرف انرژی را به‌منظور افزایش طول عمر برای انتقال داده‌ها به‌اندازه یک گام بین گره‌های همسایه کاهش می‌دهد، بلکه سعی دارد مصرف انرژی در کل شبکه را هم با مدیریت ترافیک، کاهش دهد. این روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی بوده و هدف، تعیین مسیر به‌صورت بهینه‌شده ازنظر انرژی بر مبنای پارامترهای تعریف‌شده، است. در [۱۳]، روشی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک معرفی شده است. در این روش، ابتدا مقادیر پارامترهای موردنظر دررابطه‌با کیفیت سرویس، از قبیل قابلیت اعتماد، تأخیر انتها به انتها و طول عمر شبکه، حاصل شده و سپس، الگوریتم مسیریابی به‌صورت اکتشافی به‌منظور فراهم‌سازی کیفیت سرویس‌های چندمنظوره، در شبکه عمل می‌کند.

یک روش مسیریابی آگاه از انرژی مبتنی بر خوشه‌بندی مشارکتی در [۱۶]ارائه شده است. در این روش، در هر دور انتقال داده، به‌صورت پویا، سرخوشه بهینه از بین اعضای خوشه، بر اساس ضریب هزینهٔ محاسبه‌شده، انتخاب می‌شود. پارامترهای مورداستفاده برای محاسبه هزینه عبارت‌اند از انرژی، توان انتقال مورد نیاز، پیوند ارتباطی، نسبت سیگنال به نویز و اتلاف انرژی کل شبکه. اثر ادغام داده‌های چندرسانه‌ای صوتی و تصویری و داده‌های معمولی جمع‌آوری‌شده توسط گره‌های حسگر در یک شبکه حسگر چندرسانه‌ای به‌منظور تشخیص و طبقه‌بندی اشیاء در [۱۷]مطالعه شده است. برای انجام این کار، حسگرهای چندرسانه‌ای برای ذخیره انرژی، در حالت خواب نگه داشته می-شوند تا زمانی که توسط حسگرهای معمولی که همیشه فعال هستند، بیدار شوند. نتایج تشخیص شیء به‌دست‌آمده از برنامه‌های کاربردی، برای افزایش کارایی عملیات تشخیص شیء، ترکیب می‌شوند. نتایج نهایی، در قالب متن به چاهک فرستاده می‌شوند و این امر حجم داده‌های ارسال‌شده در شبکه را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

یک روش خوشه‌بندی و مسیریابی کارآمد ازلحاظ انرژی برای

[1] Deep Belief Network
[2] Self-Improved Butterfly Optimization Algorithm
[3] Energy-efficient Distributed Adaptive Cooperative Routing

شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای در [۱۹]برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده است. پروتکل پیشنهادی شبکه را به لایه‌هایی از خوشه‌ها تقسیم می‌کند، بسته‌های داده‌های حاصل از گره‌های حسگر توسط سرخوشه‌ها در هر لایه با همکاری سرخوشه‌های لایه‌های بالاتر در چند گام به سمت چاهک ارسال می‌شوند. روش پیشنهادی از مسیریابی مبتنی بر خوشه با شیوه چند مسیری به‌منظور کاهش مصرف انرژی و نیز ایجاد قابلیت اطمینان بیشتر، استفاده می‌کند. سرخوشه اصلی برای هر خوشه، گرهٔ باانرژی بیشتر نسبت به گره‌های حسگر معمولی انتخاب می‌شود و گره سرخوشه دوم در هر دور، بر اساس فاصله و انرژی باقیمانده برای فشرده‌سازی داده‌های حس شده از گره‌های معمولی و ارسال به سرخوشه اصلی انتخاب می‌شود. درنهایت، برای ارسال اطلاعات به چاهک، یک مسیریابی با تک مسیر درون خوشه‌ای بر اساس فاصله و انرژی باقیمانده و چند مسیر بین خوشه‌ای بر اساس انرژی باقیمانده انجام می‌شود.

هدف الگوریتم ارائه‌شده در [۲۰]، بهینه‌سازی میزان انتقال بسته و بهره‌وری انرژی به‌منظور افزایش عملکرد و قابلیت اطمینان شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم است. این الگوریتم متغیرهایی مانند سطوح انرژی باقیمانده دستگاه‌ها، انرژی لازم برای ارسال و دریافت بسته‌ها و انرژی مورد نیاز برای پردازش و ذخیره داده‌ها را در نظر می‌گیرد. به‌منظور بهینه‌سازی اثربخشی شبکه و تضمین اینکه بسته‌ها به‌موقع و قابل‌اعتماد منتقل شوند، علاوه بر پارامترهای مذکور، ممکن است متغیرهایی مانند نرخ داده، اندازه بسته، و پهنای باند نیز در نظر گرفته شوند.

ویژگی اصلی روش پیشنهادشده در [۲۱]پیش‌بینی مسیر مطمئن و کارآمد ازلحاظ انرژی برای ارسال داده‌ها با استفاده از رویکرد انتخاب بهینه گره روبه‌جلو است. به این منظور، با استفاده از کیفیت پیوند، انرژی و اعتماد، یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی و اعتماد مبتنی بر کیفیت پیوند برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای در این مقاله پیشنهاد شده است. در این روش، شاخص‌های عملکرد پیوند مبتنی بر سخت‌افزار و نرم‌افزار، نشانگر قدرت سیگنال دریافتی، تعداد انتقال مورد انتظار و تابع هزینه پیوند مبتنی بر اعتماد، برای پیش‌بینی مسیر مطمئن و کارآمد ازلحاظ انرژی، استفاده می‌شوند. ازاین‌رو، برای هر گره در مسیر ارسال داده، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

همان‌طور که مرور پژوهش‌های پیشین در این بخش نشان می‌دهد، در روش‌های قبلی، میزان داده دریافتی به‌عنوان یک پارامتر در انتخاب گره‌های برتر بعدی و ایجاد مسیر، مورد مطالعه قرار نگرفته است. درحالی‌که این موضوع به‌عنوان یک پارامتر، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چراکه میزان داده تولیدی در گره‌های حسگر چندرسانه‌ای بسیار بالاتر از گره‌های حسگر معمولی است و لذا، تعداد بسته‌های ارسالی از آن‌ها که نیازمند مسیریابی هستند نیز بالا خواهد بود. علاوه بر این، اعمال پارامترها در یک سیستم تصمیم‌گیری با منطق فازی مختص و متناسب با شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای، صورت نگرفته است. بلکه، همه پژوهش‌ها با رویکرد شبکه‌های حسگر معمولی به طرح الگوریتم پرداخته‌اند. ازاین‌رو، در روش پیشنهادی در این مقاله، به‌منظور طرح پروتکل مختص و کاملاً متناسب با خصوصیات شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای، پارامتر میزان داده دریافتی در انتخاب گره‌های میانی برتر در فرایند تصمیم‌گیری در سیستم پیاده‌سازی شده با منطق فازی، در کنار پارامترهای انرژی و فاصله (طول جغرافیایی انتقال داده) باهدف اثربخشی بیشتر در کمینه‌سازی تأخیر و مصرف انرژی این‌گونه شبکه‌ها، به کار برده می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

در فرآیند مسیریابی، هر گره باید بسته‌های داده‌های حس شده توسط خود را درنهایت به سمت چاهک ارسال کند. این گره اگر خود در همسایگی چاهک باشد، یا به عبارتی بتواند با یک گام بسته را به چاهک تحویل نماید، مستقیماً به چاهک ارسال می‌کند. در غیر این صورت، از بین گره‌های همسایه (تک گام) خود، یک گره را به‌عنوان بهترین همسایه انتخاب و بسته را جهت رسیدن به چاهک به آن تحویل می‌دهد. گره دریافت‌کننده بسته نیز از بین همسایگان خود، بهترین گره را برمی‌گزیند و این عمل تا رسیدن و تحویل بسته به چاهک، ادامه می‌یابد. آنچه بسیار حائز اهمیت است، تعیین معیارهایی برای انتخاب بهترین گره همسایه از بین همسایگان گره جاری و نیز اِعمال معیارها و تصمیم‌گیری در الگوریتم مسیریابی بر اساس معیارها به شکلی دقیق برای تعیین مسیر، است. معیارها و روش تصمیم‌گیری برای بهترین همسایه در روش پیشنهادی، در ادامه بیان می‌گردد.

۳-۱ معیارهای مسیریابی

در این بخش به بررسی معیارهای مناسب برای انتخاب گره بهترین همسایه برای تحویل بسته، می‌پردازیم. مهم‌ترین معیار که معیار جدید پیشنهادشده در این مقاله است، میزان داده‌های دریافتی توسط گره موردنظر از سایر گره‌های شبکه، است؛ اهمیت این معیار به این دلیل است که وقتی گره موردنظر، میزان داده زیادی از گره‌های شبکه دریافت می‌کند، صف بافر طولانی در درون خود و نیز، ترافیک بالایی در همسایگی خود خواهد داشت؛ لذا، به‌منظور کاهش تأخیر و مصرف انرژی، بهتر است که بیش از این، در مسیر جدیدی شرکت داده نشود.

علاوه بر این، به‌منظور بهینه‌سازی، بسته داده باید با طی کمترین مسافت به چاهک برسد. ازاین‌رو، فاصله گره موردنظر تا چاهک یکی دیگر از معیارها برای انتخاب گره بعدی در فرآیند

مسیریابی است؛ به‌منظور محاسبه فاصله گره‌ها تا چاهک، بعد از توزیع گره‌های شبکه، چاهک موقعیت خود را در درون یک بسته کنترلی، همراه با داده‌های دیگری که برای شناخت چاهک برای گره‌های شبکه لازم است، به‌صورت همه پخشی در شبکه ارسال می‌کند و لذا، هر گره قادر خواهد بود فاصله خود را تا چاهک حسب رابطه (۱) به دست آورد؛ (مراحل ۱ تا ۵ در الگوریتم ۱).

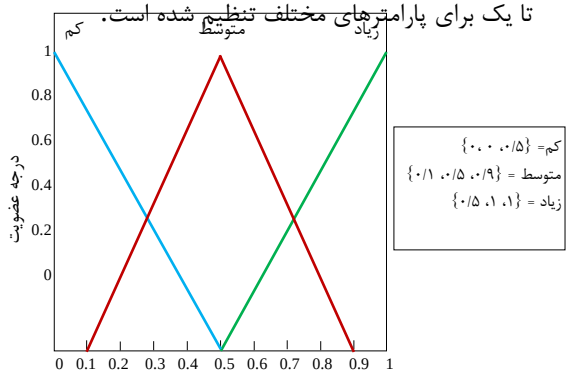
$$D_j^{Sink} = \sqrt{(X_j - X_{Sink})^2 + (Y_j - Y_{Sink})^2 + (Z_j - Z_{Sink})^2} \quad (۱)$$

دراین‌رابطه، X_j, Y_j, Z_j، مختصات جغرافیایی گره موردنظر و X_{sink}, Y_{sink}, Z_{sink}، مختصات چاهک شبکه هستند.

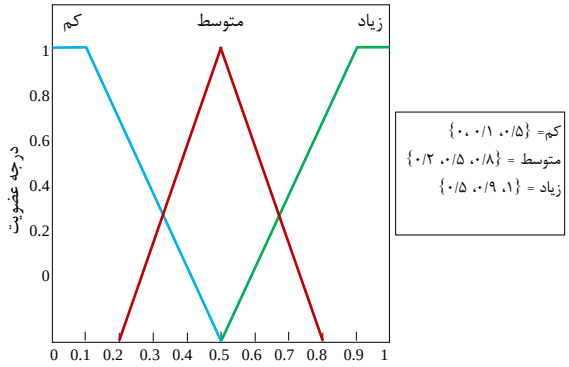
معیار بعدی، میزان انرژی باقیمانده در گره است؛ گره دریافت‌کننده بسته باید علاوه بر میزان انرژی لازم برای حضور و انجام عملیات تعریف‌شده حسگری در شبکه که از وظایف اولیه گره است، انرژی کافی برای شرکت در مسیریابی و ارسال مجدد بسته دریافتی را داشته باشد. درنتیجه، انرژی باقی‌مانده نیز اهمیت بسزایی در انتخاب گره بعدی مسیر، دارد. گره تصمیم‌گیرنده برای انتخاب گره بعدی در مسیر، پارامترهای فاصله تا چاهک، انرژی باقیمانده و میزان داده‌های دریافتی در بافر همه گره‌های همسایه خود را در قالب بسته‌های کنترلی جمع‌آوری می‌کند (مراحل ۶ تا ۹ در الگوریتم ۱). در گام‌های بعد، برحسب این پارامترها، بهترین همسایه را به‌عنوان گره بعدی مسیر در یک سیستم با منطق فازی، شناسایی و انتخاب می‌کند. شایان‌ذکر است که هر سه پارامتر فوق در شبکه‌های با گره‌های متحرک، پویا و متغیر با زمان هستند؛ در شبکه‌های با گره‌های بی‌حرکت، فاصله تا چاهک برای هر گره مقداری ثابت است مگر اینکه چاهک در این شبکه‌ها، متحرک باشد.

۳-۲ تصمیم‌گیری برای بهترین گره همسایه بر اساس سیستم فازی

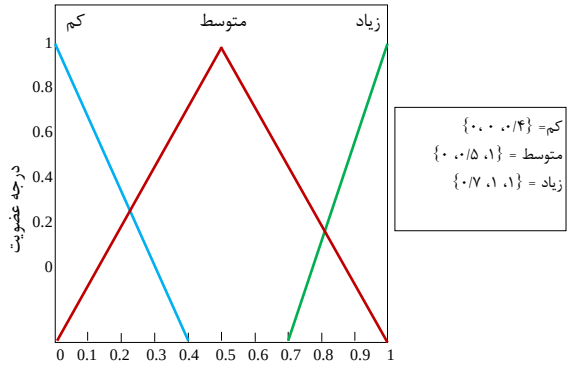
به‌دست‌آوردن بهترین انتخاب برای گره‌های مسیر در مسیریابی حسب پارامترهای مسیریابی مذکور، بر اساس منطق فازی و به‌صورت توزیع‌شده و محلی در گره‌ها، انجام می‌شود. سیستم فازی دارای سه بخش فازی‌سازی[1]، سیستم استنتاج فازی[2] و غیرفازی‌سازی[3] است (مراحل ۱۰تا ۱۳ در الگوریتم ۱). در گام نخست، در فرایند فازی‌سازی، داده‌های ورودی بر اساس توابع عضویت به متغیرهای زبانی فازی تبدیل می‌شوند. شکل ۲ چگونگی توابع عضویت برای هرکدام از ورودی‌ها را نشان می‌دهد. به‌عنوان‌مثال، فاصله تا چاهک می‌تواند کم، متوسط و یا زیاد باشد. مفاهیم کم، متوسط و زیاد مفاهیم فازی هستند و به آن‌ها اصطلاحاً متغیرهای زبانی نیز گفته می‌شود. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، در سیستم فازی متغیر زبانی فازی برای همه پارامترهای ورودی با مقادیر " کم، متوسط و زیاد" تعریف شده است. محور افقی در توابع عضویت به‌صورت نرمال‌شده بین صفر تا یک برای پارامترهای مختلف تنظیم شده است.



الف) مقادیر فازی و تابع عضویت میزان داده ورودی به گره



ب) مقادیر فازی و تابع عضویت انرژی باقی‌مانده گره



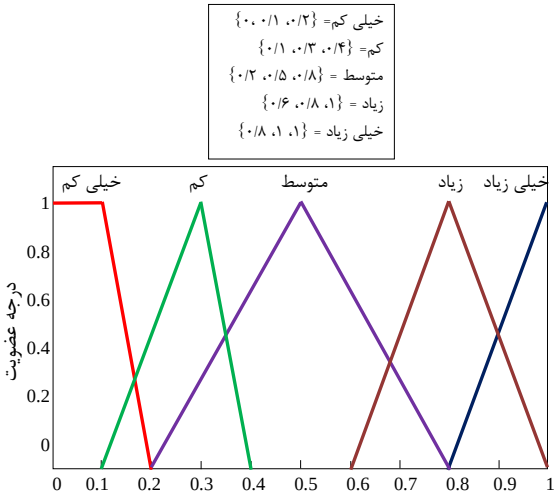
ج) مقادیر فازی و تابع عضویت فاصله گره تا چاهک

شکل (۲). مقادیر فازی و توابع عضویت تعریف‌شده برای محاسبه امتیاز

سیستم فازی در روش پیشنهادی، بر اساس روش ممدانی[4] طرح شده است؛ ازاین‌رو، بخش استنتاج آن، در گام دوم، ورودی‌های فازی‌شده را می‌گیرد و باتوجه‌به قوانین فازی طرح‌شده برای آن، خروجی فازی را تولید می‌کند. سیستم فازی ممدانی با دانش و تجربه انسان سازگاری بالایی دارد و به دلیل طبیعت بصری و

[1] Fuzzification
[2] Inference system
[3] Defuzzification
[4] Mamdani

تفسیری بالا، به طور گسترده‌ای برای کاربردهای مبتنی بر تصمیم-گیری ازجمله انتخاب گره بهینه بسیار کارآمد است. قوانین فازی روش پیشنهادی در سیستم استنتاج فازی، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. خروجی سیستم استنتاج به‌صورت یک متغیر فازی به دست می‌آید.



شکل (۳). مقادیر فازی و تابع عضویت خروجی سیستم استنتاج فازی

جدول (۱). قوانین فازی برای تعیین امتیاز

قاعده	فاصله تا چاهک	انرژی باقی‌مانده	حجم داده دریافتی	امتیاز
۱	کم	کم	کم	متوسط
۲	متوسط	کم	کم	کم
۳	زیاد	کم	کم	بسیار کم
۴	کم	متوسط	کم	زیاد
۵	متوسط	متوسط	کم	کم
۶	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
۷	کم	زیاد	کم	بسیار زیاد
۸	متوسط	زیاد	کم	بسیار زیاد
۹	زیاد	زیاد	کم	متوسط
۱۰	کم	کم	متوسط	کم
۱۱	متوسط	کم	متوسط	بسیار کم
۱۲	زیاد	کم	متوسط	بسیار کم
۱۳	کم	متوسط	متوسط	متوسط
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	کم
۱۵	زیاد	متوسط	متوسط	بسیار کم
۱۶	کم	زیاد	متوسط	بسیار زیاد
۱۷	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد
۱۸	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط
۱۹	کم	کم	زیاد	بسیار کم
۲۰	متوسط	کم	زیاد	بسیار کم
۲۱	زیاد	کم	زیاد	بسیار کم
۲۲	کم	متوسط	زیاد	کم
۲۳	متوسط	متوسط	زیاد	کم
۲۴	زیاد	متوسط	زیاد	بسیار کم
۲۵	کم	زیاد	زیاد	متوسط
۲۶	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط
۲۷	زیاد	زیاد	زیاد	کم

در گام سوم و بخش غیرفازی‌سازی، خروجی بخش استنتاج فازی که یک متغیر فازی و نشان‌دهنده ارزش هر گره همسایه گره جاری برای انتخاب‌شدن به‌عنوان گره بعدی مسیر است، باید به‌صورت یک داده غیرفازی درآید؛ لذا، در این بخش، برعکس بخش فازی‌سازی عمل می‌شود و با استفاده از تابع عضویت خروجی (شکل ۳) داده خروجی به دست می‌آید. محور افقی در شکل ۳ به‌صورت نرمال‌شده بین صفر تا یک برای امتیاز، تنظیم شده است. حسب داده‌های خروجی، گره همسایه با بالاترین امتیاز، به‌عنوان گره بعدی مسیر انتخاب می‌شود (مراحل ۱۴ تا ۱۶ الگوریتم ۱) و بدین ترتیب، تا رسیدن به چاهک شبکه، حلقه تشکیل شده در الگوریتم ۱ تکرار می‌گردد (مراحل بین ۶ و ۱۷ در الگوریتم ۱) و درنهایت مسیر کامل بین گره شماره i تا چاهک، در مرحله ۱۸ الگوریتم حاصل می‌گردد. الگوریتم ۱، شبه کد روش پیشنهادی را بیان می‌کند.

الگوریتم (۱). شبه کد الگوریتم روش پیشنهادی

Energy and Delay Aware Routing Protocol for WMSNs

//* N_j: The node number j
//* S_i: The source node number i
//* R_C: Range of communication
//* D_j^{Sink}: The distance between N_j and the sink
//* $Route_i^{Sink}$: The route from S_i to the sink
//*$Buff_j$: The occupied size of buffer of N_j
//*E_j: The remainder energy of N_j
1: Initialize the WMSN
2: The sink broadcasts (X_{Sink}, Y_{Sink}, Z_{Sink}) in the network area
3: **For** each N_j
4: N_j calculates

$$D_j^{Sink} = \sqrt{(X_j - X_{Sink})^2 + (Y_j - Y_{Sink})^2 + (Z_j - Z_{Sink})^2}$$

5: **End-for**
6: **While** ($D_i^{Sink} > R_C$)
7: S_i sends control message in R_C
8: **For** Each N_j, receiving the control message
9: N_j sends reply message containing (D_j^{Sink}, $Buff_j$, E_j) to S_i
10: S_i converts the input data to fuzzy values (Fig.1)
11: S_i determines the Score(N_j) according to Table 1
12: S_i converts score of N_j with defuzzification (Fig.2)
13: **End-For**
14: S_i selects N_j^{Max} as the N_j with the maximum score
15: $Route_i^{Sink} = Route_i^{Sink} + N_j^{Max}$
16: $S_i = N_j^{Max}$
17: **End-While**
18: Output ($Route_i^{Sink}$)

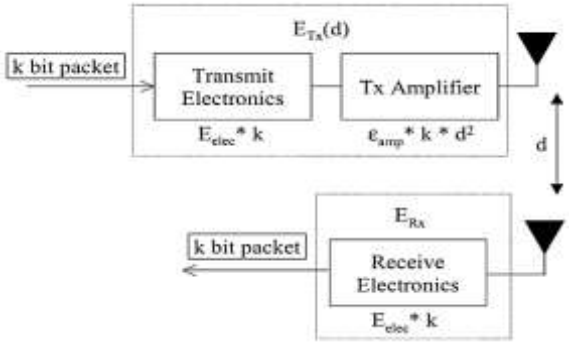
۳-۳- مدل شبکه

در پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از مدل ارائه‌شده در [۱۸]برای انتقال داده و مصرف انرژی مربوط به آن، استفاده شده است. بر اساس این مدل، مقدار انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت l بیت داده در مسافت d (فاصله فرستنده تا گیرنده) را به ترتیب با $E_{Tx}(l,d)$ و $E_{Rx}(l,d)$ نمایش می‌دهیم که با روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌گردند.

$$E_{Tx}(l,d) = \begin{cases} l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{fs} \cdot d^2 & d < d_{th} \\ l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{mp} \cdot d^4 & d \geq d_{th} \end{cases} \quad (۲)$$

$$E_{Rx}(l.d) = l \,.\, E_{elec} \quad (۳)$$

که در این روابط، E_{elec} انرژی مصرفی به‌وسیله تجهیزات الکترونیکی فرستنده/گیرنده (شکل ۴) برای ارسال یا دریافت یک بیت داده است. ε_{fs} انرژی موردنیاز برای تقویت یک بیت در فاصله کمتر از آستانه (d_{th}) و ε_{mp} انرژی برای تقویت یک بیت در فاصله بیشتر از فاصله آستانه می‌باشند.



شکل (۴). تجهیزات الکترونیکی فرستنده/گیرنده در گره‌ها

در روش پیشنهادی، شبکه حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای از دو نوع گرهٔ معمولی و چندرسانه‌ای تشکیل می‌شود. گره‌های معمولی، گره‌های بی‌سیم شامل حسگرهای غیرجهت‌دار، نظیر حسگرهای دما، رطوبت، دود، فشار و مانند آن‌ها، هستند. گره‌های چندرسانه‌ای مجهز به ابزارهای ضبط‌صوت و دوربین برای ضبط ویدئو و تصویر از محیط هستند. به دلیل هزینهٔ زیاد این گره‌ها نسبت به گره‌های معمولی که فاقد این تجهیزات هستند، تعداد کمتری از گره‌های چندرسانه‌ای نسبت به معمولی در محیط پخش می‌شود. گره‌های چندرسانه‌ای در هنگام بروز یک رویداد، شروع به ضبط داده چندرسانه‌ای و ارسال بسته‌های داده جمع‌آوری‌شده به سمت چاهک، می‌کنند. رویداد عبارت از تغییر شرایط محیطی است که توسط گره‌ها قابل‌شناسایی است. گره‌های معمولی مستقرشده در محیط، برای کمک در شناسایی رویدادها و فعال‌کردن گره‌های چندرسانه‌ای بکار می‌روند. یک رویداد یا مستقیماً توسط گره‌های چندرسانه‌ای و یا از طریق گره‌های معمولی شناسایی می‌شود. برای انتخاب گره‌ها و تشکیل مسیر در مسیریابی پیشنهادی و ارسال بسته‌ها به چاهک، همه گره‌های معمولی و چندرسانه‌ای در نظر گرفته و بررسی می‌شوند.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

به‌منظور ارزیابی کارایی و مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با روش‌های دیگر، روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزار Matlab 9.13 R2022b در یک کامپیوتر با پردازنده Intel Core i7 پیاده‌سازی شد. از بین روش‌های ارائه‌شده اخیر، دو روش با تشابه بیشتر با روش پیشنهادی SIBOA [۹] و EDACR [۱۰]که هدف‌های مشترکی را نیز دنبال می‌کنند، انتخاب شدند و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج ارائه‌شده آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، پس از سی بار اجرای مستقل الگوریتم و میانگین‌گیری از خروجی‌های آن‌ها، به دست آمدند و در ارزیابی‌ها مورداستفاده قرار گرفتند. در جدول ۲، پارامترها و فرضیات مورداستفاده در پیاده‌سازی بیان شده‌اند.

جدول (۲). پارامترهای پیاده‌سازی

پارامتر	مقدار
تعداد گره	۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰
سطح شبکه	۱۰۰×۱۰۰ مترمربع
نحوهٔ توزیع گره‌ها	تصادفی
مختصات چاهک	(۵۰ و ۵۰)
انرژی اولیه گره‌های چندرسانه‌ای	۲ ژول
انرژی اولیه گره‌های معمولی	۱ ژول
E_{elec}	۵۰ نانو ژول بر بیت
ε_{mp}	۰،۰۰۱۳ پیکو ژول بر بیت
ε_{fs}	۱۰ پیکو ژول بر بیت
فاصله آستانه	۸۷ متر
طول بسته کنترلی	۳۲ بیت
طول بسته داده (چندرسانه‌ای)	۱۰۲۴ بیت
شعاع ارتباطی (Rc)	۲۵ متر
تعداد گره‌های چندرسانه‌ای	۱۰ و ۲۰ و ۳۰

۴-۱ ترکیب اول

در ترکیب اول، تعداد گره‌های حسگر معمولی ۱۰۰ و تعداد گره‌های حسگر چندرسانه‌ای ۱۰ می‌باشد. شکل ۵ میزان مصرف انرژی شبکه به ازای تعداد مختلفی از رویدادها را برای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه، نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه ازلحاظ مصرف صرفه‌جویانه انرژی، کاراتر است. دلیل این موضوع، انتخاب بهتر گره‌های مسیر در روش پیشنهادی، است. به‌طوری‌که با انتخاب گره‌هایی با کمترین فاصله با چاهک و نیز بیشترین انرژی باقیمانده و کمترین میزان دریافت داده از دیگر مسیرها، مصرف انرژی در مجموعه گره‌های مسیرها و درنتیجه در شبکه کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد رویدادها، میزان بسته داده بیشتری توسط گره‌های چندرسانه‌ای به‌منظور ارسال به چاهک، تولید می‌شود. لذا، مسیرهای بیشتری موردنیاز خواهند بود و میزان مصرف انرژی در هر سه روش افزایش می‌یابد.

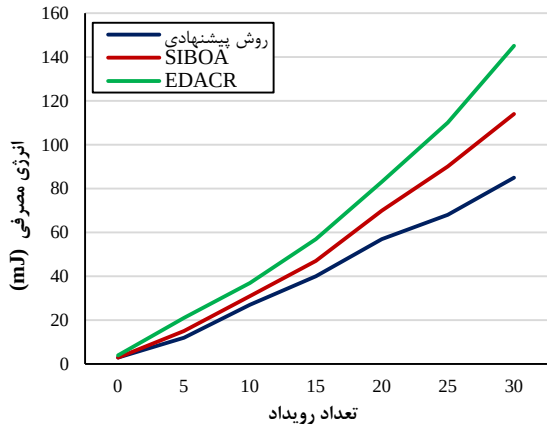
روابط (۴)، (۵) و (۶)، متوسط مصرف انرژی را برای به ترتیب، روش پیشنهادی، SIBOA و EDACR، حسب مدل انتخاب‌شده برای مصرف انرژی، نشان می‌دهند. همان‌گونه که در روابط مشخص است، درروش پیشنهادی، متوسط مصرف انرژی، به دلیل انتخاب همه گام‌های کوتاه‌تر از آستانه و لذا توان پایین‌تر فاصله (d)، کمتر از روش‌های مورد مقایسه، می‌باشد. در روش پیشنهادی، با انتخاب گره‌هایی با کمترین فاصله با چاهک و گام-های کمتر و نیز، کمترین میزان دریافت داده از دیگر مسیرها، که خود باعث مصرف کمتر انرژی می‌شود، مصرف انرژی در گره‌های مسیرها و درنتیجه در شبکه، کاهش می‌یابد. بنابراین، روابط مذکور نیز مؤید آنچه که شکل ۴ بیان می‌کند، می‌باشند.

$$E_1 = l.(2E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^2) \quad (۴)$$

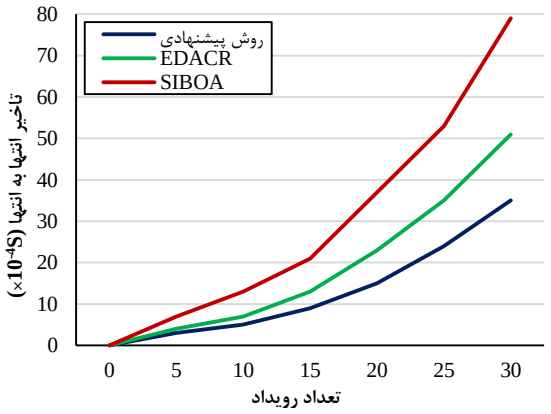
$$E_2 = l.(2E_{elec} + \frac{3}{4}\varepsilon_{fs}d^2 + \frac{1}{4}\varepsilon_{mp}d^4) \quad (۵)$$

$$E_3 = l.(2E_{elec} + \frac{\varepsilon_{fs}}{2}d^2 + \frac{\varepsilon_{mp}}{2}d^4) \quad (۶)$$

در شکل ۶ تأخیر انتها به انتهای شبکه به ازای تعداد مختلفی از رویدادها در روش‌های مختلف نشان داده شده است. تأخیر رسیدن بسته در روش پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر، با هر تعداد رویداد، همواره کمتر است. به دلیل انتخاب گره‌های نزدیک‌تر به چاهک و نیز اولویت در انتخاب گره‌های با ورودی داده کمتر، به‌عنوان گره‌های میانی در مسیر، تأخیر مسیر در روش پیشنهادی کمتر است. هر چه داده‌های ورودی یک گره میانی برای ارسال کمتر باشد، میزان معطلی و زمان انتظار بسته داده در بافر آن گره برای رسیدن نوبت و تصمیم برای انتخاب گره همسایه بعدی برای ارسال روبه‌جلو، کمتر خواهد بود. علاوه بر این، بدیهی است با انتخاب گره‌های با فاصله کمتر با چاهک، زمان انتقال داده کوتاه‌تر خواهد بود. این دو سیاست، در کاهش تأخیر روش پیشنهادی، نقش بسزایی ایفا می‌کنند.



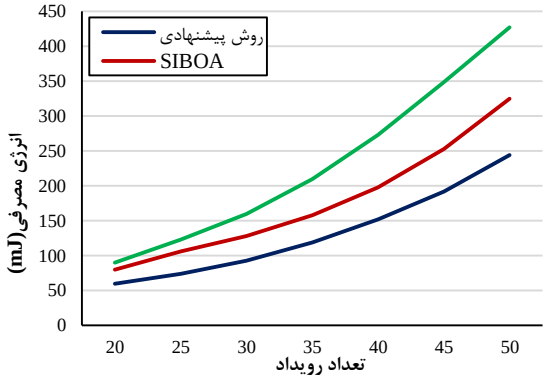
شکل (۵). مصرف انرژی در شبکه با ترکیب اول برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف رویداد



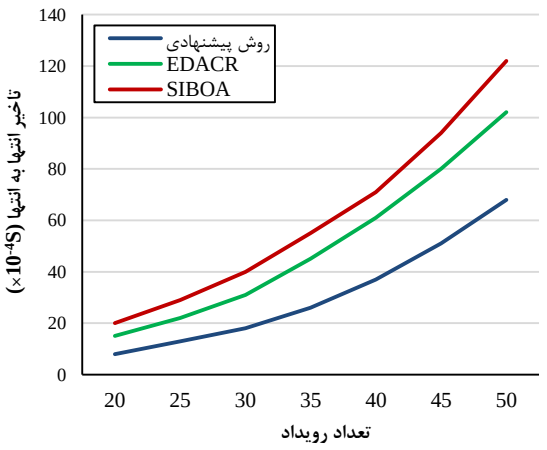
شکل (۶). تأخیر انتها به انتها با ترکیب اول برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف رویداد

۴-۲ ترکیب دوم

ترکیب دوم شبکه برای ارزیابی روش پیشنهادی، از ۲۰۰ گره حسگر معمولی و ۲۰ گره چندرسانه‌ای تشکیل می‌شود. با افزایش چگالی گره‌ها، توانایی شبکه در شناسایی تعداد بیشتر رویدادها، افزایش خواهد یافت. اما، با افزایش رویدادها، در همه روش‌ها، تعداد بسته‌های چندرسانه‌ای حاصل برای ارسال به چاهک افزایش خواهد یافت و لذا، انرژی مصرفی برای ارسال آن‌ها، نیز بالاتر خواهد رفت. از طرفی، چگالی بالاتر گره‌ها، موجب فاصله کمتر بین گره‌ها می‌شود و این امر، شرایط انتخاب بهترین همسایه را از هر دو دیدگاه مصرف انرژی و تأخیر، برای مسیریابی پیشنهادی، آسان‌تر می‌کند. زیرا با تعداد بیشتر گره همسایه، در عمل، تعداد بافرهای بیشتری در سرویس‌دهی به مسیریابی به کار گرفته می‌شوند و بنابراین، طول صف بافر در هر گره کاهش خواهد یافت. درنتیجه، میزان معطلی بسته‌ها در گره‌ها کمتر خواهد بود و تأخیر انتها به انتها کاهش خواهد داشت. به‌عنوان‌مثال، در روش پیشنهادی، در ترکیب اول با ۲۵ رویداد، همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، تأخیر انتها به انتها ۲,۴ میلی‌ثانیه است درحالی‌که در ترکیب دوم با همین تعداد رویداد، تأخیر انتها به انتها به ۱,۳ میلی‌ثانیه (شکل ۸) کاهش می‌یابد.



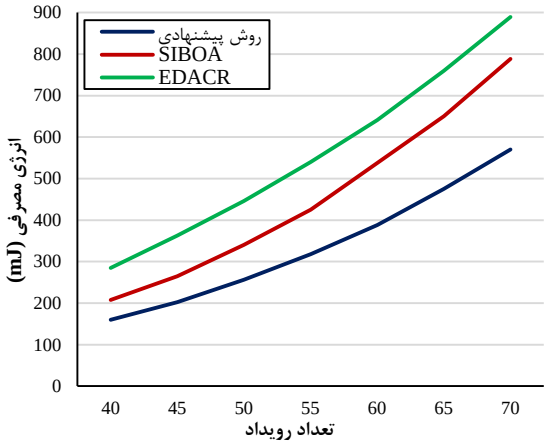
شکل (۷). مصرف انرژی در شبکه با ترکیب دوم برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف رویداد



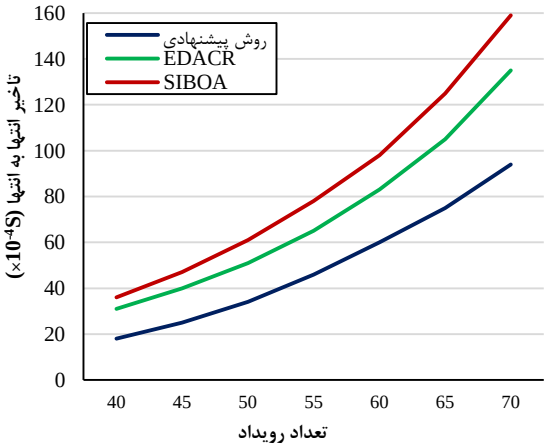
شکل (۸). تأخیر انتها به انتها با ترکیب دوم برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف رویداد

۴-۳ ترکیب سوم

در ترکیب سوم، به‌عنوان یک شبکه با چگالی بالا، ۳۰۰ گره حسگر معمولی و ۳۰ گره چندرسانه‌ای توزیع شد. با افزایش تعداد گره‌های حسگر معمولی، شناسایی تعداد بیشتری رویداد و با افزایش تعداد گره‌های چندرسانه‌ای، قابلیت مانیتور کردن همه رویدادهای شناسایی‌شده به‌طور هم‌زمان مقدور خواهد بود. شکل-های ۹ و ۱۰، میزان انرژی مصرفی و تأخیر انتها به انتها در این ترکیب برای روش‌های مورد مقایسه را نشان می‌دهند. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند، روش پیشنهادی ازلحاظ ذخیره نگاه‌داشتن انرژی گره‌ها و نیز تأخیر انتقال بسته‌ها، از دو روش دیگر بهتر عمل می‌کند. ازاین‌رو، روش پیشنهادی برای سرویس-های بلادرنگ تشخیص رویداد یا تعقیب رویداد که هر دو از کاربردهای پرتقاضای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشند، کارایی بالاتری ارائه می‌دهد؛ چراکه با مصرف صرفه‌جویانه انرژی، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد و از طرفی، با کاهش تأخیر، امکان انتقال داده بلادرنگ را ایجاد می‌کند.



شکل (۹). مصرف انرژی در شبکه با ترکیب سوم برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف رویداد



شکل (۱۰). تأخیر انتها به انتها با ترکیب سوم برای روش‌های مورد

مقایسه با تعداد مختلف رویداد

جدول‌های ۳ و۴ به ترتیب، مقادیر انرژی مصرفی و تأخیر انتها به انتها را برای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه در ترکیب‌های مختلف ایجادشده در پیاده‌سازی و ارزیابی را نشان می‌دهند.

جدول (۳). انرژی مصرفی (mJ) برای روش‌های مورد مقایسه با ترکیب‌های مختلف پیکربندی شبکه

ترکیب اول	روش پیشنهادی	۳	۱۲	۲۷	۴۰	۵۷	۶۸	۸۵
	SIBOA	۳	۱۵	۳۱	۴۷	۷۰	۹۰	۱۱۴
	EDACR	۴	۲۱	۳۷	۵۷	۸۳	۱۱۰	۱۴۵
ترکیب دوم	روش پیشنهادی	۶۰	۷۴	۹۳	۱۱۹	۱۵۲	۱۹۲	۲۴۴
	SIBOA	۸۰	۱۰۶	۱۲۸	۱۵۸	۱۹۸	۲۵۳	۳۲۵
	EDACR	۹۰	۱۲۳	۱۶۰	۲۱۰	۲۷۳	۲۴۹	۴۲۷
ترکیب سوم	روش پیشنهادی	۱۶۰	۲۰۲	۲۵۶	۳۱۸	۳۸۸	۴۷۵	۵۷۰
	SIBOA	۲۰۸	۲۶۵	۳۴۰	۴۲۵	۵۳۸	۶۵۰	۷۸۸
	EDACR	۲۸۵	۳۶۳	۴۴۶	۵۴۰	۶۴۱	۷۶۰	۸۸۹

جدول (۴). تأخیر انتها به انتها (S^{-4}۱۰×) برای روش‌های مورد مقایسه با ترکیب‌های مختلف پیکربندی شبکه

ترکیب اول	روش پیشنهادی	۰	۳	۵	۹	۱۵	۲۴	۳۵
	EDACR	۰	۴	۷	۱۳	۲۳	۳۵	۵۱
	SIBOA	۰	۷	۱۳	۲۱	۳۷	۵۳	۷۹
ترکیب دوم	روش پیشنهادی	۸	۱۳	۱۸	۲۶	۳۷	۵۱	۶۸
	EDACR	۱۵	۲۲	۳۱	۴۵	۶۱	۸۰	۱۰۲
	SIBOA	۲۰	۲۹	۴۰	۵۵	۷۱	۹۴	۱۲۲
ترکیب سوم	روش پیشنهادی	۱۸	۲۵	۳۴	۴۶	۶۰	۷۵	۹۴
	EDACR	۳۱	۴۰	۵۱	۴۵	۸۳	۱۰۵	۱۳۵
	SIBOA	۳۶	۴۸	۶۱	۷۸	۹۸	۱۲۵	۱۵۹

۴. نتیجه‌گیری

در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم، بنا به نوع و حجم داده متفاوت و نیز موارد کیفیت سرویس مورد نیاز، پروتکل‌های مسیریابی خاص و متفاوت با آنچه که در شبکه‌های حسگر معمولی به کار می‌روند، مورد نیاز است. از همین رو، در این مقاله، روشی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای با ایجاد همکاری بین گره‌های معمولی و چندرسانه-ای، بر اساس منطق فازی پیشنهاد و ارائه شد. انتخاب گره‌های مسیر در روش پیشنهادی، بر اساس معیار جدید میزان داده دریافتی گره و نیز معیارهای فاصله و انرژی، انجام می‌شود. نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که روش پیشنهادی ازلحاظ ذخیره نگاه‌داشتن انرژی گره‌ها و نیز تأخیر انتقال بسته‌ها، از روش‌های مورد مقایسه بهتر عمل می‌کند. ازاین‌رو، روش پیشنهادی برای سرویس‌های بلادرنگ تشخیص رویداد و تعقیب رویداد که هر دو، از کاربردهای پرتقاضای شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند، کارایی بالاتری ارائه می‌دهد؛ چراکه با مصرف صرفه‌جویانه انرژی، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد و از طرفی، با کاهش تأخیر، امکان انتقال داده بلادرنگ را ایجاد می‌کند.

۶. مراجع

[1] M. Z. Hasan, H. Al-Rizzo, and F. Al-Turjman, "A Survey On Multipath Routing Protocols for Qos Assurances in Real-Time Wireless Multimedia Sensor Networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 3, pp. 1424-1456, 2017.

[2] H. Shen and G. Bai, "Routing in wireless multimedia sensor networks: a survey and challenges ahead," J. Netw. Comput. Appl., vol. 71, pp. 30-49, 2016.

[3] K. D. Jung, J. Y. Lee, and H. Y. Jeong, "Improving Adaptive Cluster Head Selection of Teen Protocol Using Fuzzy Logic for WMSN," Multimedia Tools and Appllications, vol. 76, no.17, pp. 18175-18190, 2017.

[4] A. Yahya, S. U. Islam, M. Zahid, G. Ahmed, M. Raza, H. Pervaiz, and F. Yang, "Cooperative Routing for Energy Efficient Underwater Wireless Sensor Networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 141888-141899, 2019.

[5] N. Khernane, J. F. Couchot, and A. Mostefaoui, "Maximum Network Lifetime With Optimal Power/Rate And Routing Trade-Off for Wireless Multimedia Sensor Networks," Comput. Commun., vol. 124, pp. 1-16, 2018.

[6] C. Savaglio, P. Pace, G. Aloi, A. Liotta, and G. Fortino, "Lightweight Reinforcement Learning for Energy Efficient Communications in Wireless Sensor Networks," IEEE Access, vol. 7, pp. 29355-29364, 2019.

[7] C. Bejaoui, A. Guitton, and A. Kachouri, "Equal Size Clusters to Reduce Congestion In Wireless Multimedia Sensor Networks," Wirel. Pers. Commun., vol. 97, no. 3, pp. 3465-3482, 2017.

Energy-Efficient and Improved Object Recognition in Wireless Multimedia Sensor Networks," IEEE Sensors, vol. 19, no. 5, pp. 1839-1849, 2019.

[18]W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrish-nan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Transactions on wireless communications, vol. 1, Issue 4, 2002.

[19]M. M. Saleem, S. A. Alabady, "Energy-efficient multipath clustering with load balancing routing protocol for wireless multimedia sensor networks," IET Wireless Sensor Systems, vol. 13, pp.104-114, 2023, DOI: 10.1049/wss2.12061.

[20]L. Jenila, R. Aroul Canessane, "Cross Layer based Energy Aware and Packet Scheduling Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Network," International journal of computers communications & control, Vol. 18, Issue: 2, 2023, Article Number: 4666, https://doi.org/10.15837/ ijccc.2023. 2.4666.

[21]G. Kirubasri, S. Sankar, M. S. Guru Prasad, G. Naga Chandrika, S. Ramasubbareddy, "LQETA-RP: link quality based energy and trust aware routing protocol for wireless multimedia sensor networks," International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2023, https://doi. org/10.1007/s13198-023-01873-9.

[22]Z. Heidary Ghiri, Gh. Mirjalily, "Energy-Harvesting Aware Multi-Hop Routing in Wireless Sensor Networks for Defense Applications," Journal of Electronical & Cyber Defence, Vol. 8, No. 4, 2021, Serial No. 32.(in persian).

[23]R. Mahmoudi, A. Ghaffari, "Energy-Aware Routing in Wireless Sensor Networks Using MLP and Simulated Annealing Algorithms," Journal of Electronical & Cyber Defence, Vol. 9, No. 3, 2021, Serial No. 35.(in persian).https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1400.9.3.11.2

[24]M. Mir, M. Yaghoobi, M. kheirabadi, "Energy Aware Routing in the Internet of Things using improved Grasshopper Metaheuristic Algorithm," Scientific Journal of Electronical & Cyber Defence Vol. 11, No. 1, 2023, Serial No. 41.(in persian).https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.1.2.3

[8] A. A. Ahmed, "A Real-Time Routing Protocol With Adaptive Traffic Shaping for Multimedia Streaming Over Next Generation of Wireless Multimedia Sensor Networks," Pervasive Mob Comput, vol. 40, pp. 495-511, 2017.

[9] M. Nagalingayya and B. S. Mathpati, "Self-improved Butterfly Optimization Algorithm Based Cooperative Routing Model in Wireless Multimedia Sensor Networks," Measurement: Sensors, vol. 24, no. 100536, 2022.

[10]D. Wang, J. Liu, and D. Yao, "An Energy-Efficient Distributed Adaptive Cooperative Routing Based on Reinforcement Learning in Wireless Multimedia Sensor Networks," Computer Networks, vol. 178, no. 107313, 2020.

[11]A. R. Nadinejad, M. Alaei, "A Heuristic Data Diffusion and Gathering Scheme Using Virtual Line for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," Journal of Electronical & Cyber Defence, vol. 9, no. 2, 2021, Serial No. 34.(in persian).

[12]A. Hamzah, M. Shurman, O. Al-Jarrah, and E. Taqieddin, "Energy-Efficient Fuzzy-Logic-Based Clustering Technique for Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," Sensors, vol. 19, no. 3, 2019.

[13]O. Deepa and J. Suguna, "An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for Wireless Sensor Networks," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, vol. 32, Issue 7, pp.763-774, 2020.

[14] "Link Quality and Energy Efficient Optimal Simplified Cluster Based Routing Scheme to Enhance Lifetime for Wireless Body Area Networks," Nano Communication Networks, vol. 37, no. 100465, 2023.

[15]A. A. Ahmed and W. Ali, "A Lightweight Reliability Mechanism Proposed for Datagram Congestion Control Protocol Over Wireless Multimedia Sensor Networks," Trans. Emerg. Telecommun. Technol., vol. 29, no. 3, pp. 1-17, 2018.

[16]Z. Ullah, I. Ahmed, F.A. Khan, M. Asif, M. Nawaz, T. Ali, M. Khalid, and F. Niaz, "Energy-Efficient Harvested-Aware Clustering and Cooperative Routing Protocol for WBAN (E-HARP)," IEEE Access, vol. 7, pp. 100036-100050, 2019.

[17]M. Koyuncu, A. Yazici, M. Civelek, A. Cosar, and M. Sert, "Visual and Auditory Data Fusion for