

یک پروتکل مسیریابی انرژی - کارآمد برای چاهک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از برد رادیویی

محبوبه بهادرانی* (کارشناسی ارشد)
دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل
شهرام جمالی (دانشیار)
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه محقق اردبیلی

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۷ (۱۳-۳)
دوری ۱، شماره ۱/۲، ص ۱۳-۳

یکی از ویژگی‌های شناخته شده در گره‌های حسگر بی‌سیم، منبع محدود باتری است و جایگزین کردن باتری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ که دارای هزاران گره دشوار و در اغلب موارد غیرممکن هستند. بنابراین یک پروتکل انرژی کارآمد^۲ در فرایند مسیریابی لازم است تا بتوان به هدف کمینه‌سازی مصرف انرژی در این شبکه‌ها دست یافت. علاوه بر این، یکی از چالش برانگیزترین عوامل در مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحرک^۳ گره چاهک است. این مقاله، با در نظر گرفتن محدودیت انرژی و تحرک گره چاهک و تمرکز بر فاصله‌ی جغرافیایی گره چاهک و فاصله‌ی جغرافیایی گره درون شبکه به نام گره عامل^۴ با گره‌های همسایه‌ی گره چاهک، یک تابع هدف مناسب ارائه و پروتکل پیشنهادی خود را شرح می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد روش پیشنهادی انرژی کارآمد است و میانگین تأخیر^۵ را نیز کاهش می‌دهد، همچنین نسبت تحویل^۶ بسته در شبکه را کاهش نمی‌دهد.

واژگان کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره چاهک متحرک، انرژی کارآمد، مسیریابی مبتنی بر عامل، میانگین تأخیر.

bahadorani.mahjobeh@gmail.com
jamali@iust.ac.ir

۱. مقدمه

یک شبکه حسگر بی‌سیم شامل تعداد زیادی حسگر هوشمند^۷، مجهز به توان باتری محدود و ارتباطات رادیویی کوتاه برد است.^[۲،۱] یکی از خصوصیات شبکه‌های حسگر بی‌سیم، این است که نیاز نیست مکان استقرار حسگرها کاملاً مهندسی شده باشد. این خاصیت در کاربردهایی که امکان چیش حسگرها یا امکان تغییر مکان حسگرها وجود ندارد، اهمیت به‌سزایی دارد.^[۳] با توجه به آسانی استقرار حسگرها، مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری آنها، شبکه‌های حسگر بی‌سیم در طیف گسترده‌ی کاربردها استفاده می‌شوند.^[۴،۵] به‌طور کلی این کاربردها به دو دسته‌ی نظارت و ردیابی تقسیم می‌شوند.^[۶]

در اغلب کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌ها ساکن هستند اما موارد کاربردی مهمی نیز وجود دارند که در آنها گره‌ها می‌توانند متحرک باشند؛ از جمله یک سرباز در حال حرکت در میدان جنگ و منطقه‌ی دشمن که مشغول جمع‌آوری اطلاعات دشمن و ردیابی سربازان و تانک‌های دشمن است. یا یک کلان شهر که به صورت شبکه حسگر بی‌سیم با مقیاس بزرگ در نظر گرفته می‌شود و اطلاعات ترافیکی توسط کاربران در حال رانندگی از سطح کلان شهر جمع‌آوری می‌شود.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۴/۸، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۰/۵، پذیرش ۱۳۹۶/۴/۱۳

DOI:10.24200/J65.2018.5612

طراحی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، متأثر از عوامل مهم بسیاری است که برای ایجاد یک ارتباط موثر، باید به این عوامل توجه کرد؛ از جمله‌ی این عوامل می‌توان به تداخل^۸،^[۷-۱۲] تجمیع^۹ داده، مقیاس‌پذیری^[۱۳،۱۴] پوشش^{۱۰}،^[۱۵،۱۶] قابلیت اعتماد، تحمل‌پذیری خطا^{۱۱}،^[۱۷،۱۸] خود مدیریت^[۱۲،۱۹] و فراداده^{۱۳}،^[۲۰] انرژی محدود،^[۲۱-۲۳] اشاره کرد.

یکی از پارامترهای اتلاف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحرک گره‌ها و از جمله تحرک گره چاهک است.^[۲۴] چگونگی نقش این پارامتر در مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و راه‌حل‌های مقابله با این پارامتر، در تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی در تحقیقات بسیار کمی تحرک گره چاهک بررسی شده است. گوویندان و همکارانش، روشی پیشنهاد دادند که مبتنی بر مرکزیت داده است و تمام ارتباطات و ایجاد مسیرها به سمت گره چاهک متحرک، بر اساس داده انجام می‌شود.^[۲۵] بی و همکارانش، راه‌حلی پیشنهاد دادند که هر گره مبدأ که ساکن است، ساختاری به شکل توری و متشکل از سلول‌ها، در سراسر شبکه ایجاد می‌کند و گره چاهک متحرک تنها نیاز دارد پیام‌های مکرر موقعیت جدید خود را درون محدوده‌ی کوچک سلول منتشر کند.^[۲۶] کیم و همکارانش، روش درختی ارائه دادند که هم معیار نزدیکی جغرافیایی و هم معیار نرخ بهنگام‌سازی مدنظر گره چاهک را برای اتصال گره چاهک متحرک به درخت در نظر می‌گیرد؛ همچنین از گره چاهک به عنوان

عضو میانی درخت استفاده نمی‌کند.^[۲۷] با توجه به تحرک گره چاهک، در هنگام جمع‌آوری داده، تأخیر تحویل داده به گره چاهک افزایش می‌یابد. نانگ و همکارانش، با در نظر گرفتن مسئله‌ی کمینه‌سازی تأخیر تحویل که یک مسئله‌ی NP کامل است، یک الگوریتم اکتشافی جایگزینی برای حل این مسئله ارائه دادند. این الگوریتم از طریق کوتاه‌سازی مسیر پیمایش و حرکت دادن چاهک متحرک و جمع‌آوری داده به صورت هم‌زمان، به حل این مسئله می‌پردازد.^[۲۸] ژانو و همکارانش، مسئله‌ی تمديد طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم را بررسی کردند به گونه‌ی که چاهک متحرک به صورت تناوبی داده را در امتداد مسیر از قبل تعریف شده جمع‌آوری می‌کند و هر گره حسگر داده‌ی خود را بر روی یک مسیر ارتباطی چندگامی به چاهک متحرک، به‌نگام‌سازی می‌کند.^[۲۹] تحرک چاهک، نرخ تحویل داده را افزایش و نیز مصرف انرژی را کاهش می‌دهد اما تأخیر جمع‌آوری را به دلیل سرعت فیزیکی چاهک متحرک افزایش می‌دهد. واچمن و همکاران، بر چگونگی استفاده‌ی سریع‌تر چاهک متحرک تمرکز کردند. آنها ابتدا یک الگوریتم سازنده‌ی مسیر هموار پایه، مبتنی بر الگوریتم فروشنده دوره‌گرد را بسط دادند. سپس آن را با تنظیمات مسیر بر اساس زمان تماس مورد نیاز در هر گره تمديد کردند.^[۳۰] یافتن یک پروتکل که بتواند مسیرهای مؤثر بین چاهک متحرک و گره‌های حسگر را بیابد اما منابع شبکه را بسیار مصرف نکند، ضروری است. از این رو، جیانگ و همکارانش، یک الگوریتم به نام تعبیه‌ی حریم‌های گره مجازی پیشنهاد دادند. این الگوریتم به هر گره یک مختصات مجازی می‌دهد که ارسال به جلو حریم‌های بسته از گره‌های حسگر را به چاهک تضمین می‌کند.^[۳۱] خان و همکارانش، بر دو پارامتر مهم پیکربندی مسیر تحرک چاهک و مقدار چرخه‌ی کار حسگرها تمرکز کردند. زیرا انتخاب مسیر تحرک، بر کارایی انرژی تأثیر می‌گذارد. همچنین گره‌های حسگر، بخش نسبتاً زیادی از طول عمرشان را در حالت بی‌کاری می‌گذرانند. بنابراین، آنها تأثیر چرخه‌ی کار و شعاع تحرک چاهک و همچنین ارتباط آنها از لحاظ مصرف انرژی را بررسی کردند.^[۳۲] کیم و همکاران، پیشنهاد دادند برای جلوگیری از ایجاد سربار و مصرف بیشتر انرژی به دلیل تحرک گره چاهک، سایر گره‌ها مسیرشان را با یک گره ساکن به نام گره عامل تنظیم کنند سپس گره عامل، مسیر خود را با موقعیت جدید گره چاهک تنظیم کند.^[۳۳] الگوریتم پیشنهادی کیم و همکاران، به نام IAR^{۱۴}، یکی از جدیدترین الگوریتم‌هایی است که در زمینه‌ی تحرک گره چاهک مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم در هر موقعیت جدید گره چاهک، با در نظر گرفتن فاصله‌ی جغرافیایی گره چاهک از گره‌های همسایه‌ی خودش، به نتایج بسیار خوبی در مورد کارایی انرژی انجامیده است. در این مقاله این الگوریتم را بیان می‌کنیم سپس برای ذخیره‌سازی بیشتر انرژی، در هر موقعیت جدید گره چاهک، با در نظر گرفتن فاصله‌ی جغرافیایی گره چاهک و فاصله‌ی جغرافیایی گره عامل از گره‌های همسایه‌ی گره چاهک، یک تابع هدف مناسب ارائه می‌دهیم. در ادامه، مقاله‌ی حاضر به این صورت سازماندهی می‌شود، بخش دوم الگوریتم IAR را شرح می‌دهد. در بخش سوم تابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش پیشنهادی ارائه می‌شود. بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی را در محیط شبیه‌ساز ۱۴۶۰ OPNET Modeler نمایش و مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در بخش پنجم نتیجه‌گیری روش پیشنهادی ارائه می‌شود.

۲. الگوریتم IAR

شرح این الگوریتم به صورت مختصر در بخش‌های جمع‌آوری داده توسط گره عامل و خروج گره چاهک متحرک از محدوده‌ی رادیویی گره عامل ارائه می‌شود.

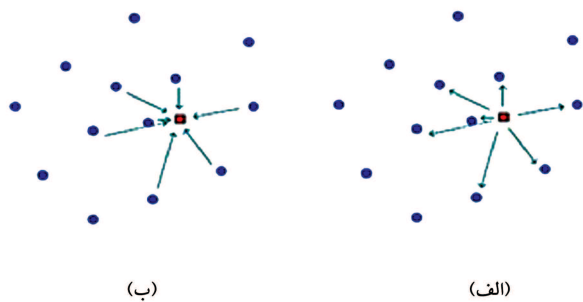
۱.۲. جمع‌آوری داده توسط گره عامل

جمع‌آوری داده از سایر گره‌های درون شبکه حسگر مبتنی بر گره عامل انجام می‌شود. گره چاهک برای انتخاب گره عامل بر اساس فرایند زیر عمل می‌کند:

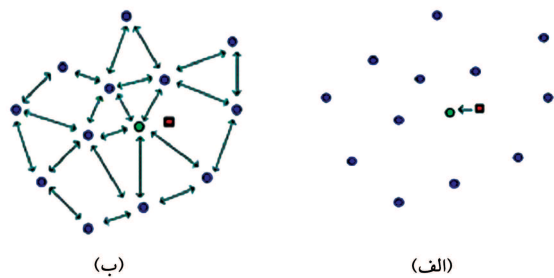
ابتدا یک پیام درخواست را به طور محلی برای همسایگان خود پخش فراگیر می‌کند. گره‌های همسایه با دریافت پیام به گره چاهک پاسخ می‌دهند. بسته‌ی پاسخ شامل مختصات و آدرس گره فرستنده است؛ بنابراین گره چاهک می‌تواند نزدیک‌ترین گره به خود را شناسایی کند. این گره «گره عامل» نامیده می‌شود. گره چاهک مختصات گره عامل را برای استفاده‌های بعدی در خود ذخیره می‌کند. شکل ۱ فرایند انتخاب گره عامل را توسط گره چاهک نمایش می‌دهد.

بعد از شناسایی گره عامل، گره چاهک پیام پرس‌وجوی موردنظر خود را درون شبکه حسگر بی‌سیم، منتشر می‌کند. برای انجام این عمل، ابتدا گره چاهک پیام پرس‌وجو را فقط به گره عامل ارسال می‌کند؛ سپس گره عامل توسط الگوریتم سیل‌آسا پیام پرس‌وجو را در سراسر شبکه‌ی حسگر منتشر می‌کند. شکل ۲ فرایند انتشار پیام پرس‌وجو را نمایش می‌دهد. در طی انتشار پیام پرس‌وجو، هر گره می‌تواند گره بعدی خود را به سمت گره عامل تعیین کند. در واقع مدیریت مسیر بر اساس گره عامل انجام می‌شود؛ به طوری که گره عامل، شکست‌های گره و تغییرات انرژی گره‌ها را در نظر می‌گیرد.

بسته‌ی پرس‌وجو دارای فیلد «تعداد گام» است. بنابراین فاصله‌ی هر گره تا گره عامل تعیین‌شده است. جزئیات این فرایند به این صورت است که گره عامل ابتدا بسته‌ی شامل پیام پرس‌وجو را با تعداد گام صفر به گره‌های همسایه پخش می‌کند؛ سپس گره‌های همسایه‌ی گره عامل، با دریافت بسته‌ی پرس‌وجو و بررسی فیلد تعداد گام در بسته مطلع می‌شوند که فاصله‌ی خودشان تا گره عامل یک گام است؛ سپس آنها فیلد تعداد گام را درون بسته به مقدار یک به‌نگام می‌کنند و بسته را برای همسایگان خود (البته به غیر از همسایه‌ی که فرستنده‌ی بسته‌ی پرس‌وجو است) ارسال می‌کنند. گره‌های همسایه نیز به محض دریافت بسته‌ی پیام پرس‌وجو مطلع



شکل ۱. فرایند انتخاب گره عامل توسط گره چاهک.



شکل ۲. فرایند انتشار پیام پرس و جو.

است، تابع هدفی به صورت زیر در نظر بگیرد:

$$\text{Objective function : Minimum } (0.7 D_{S,N} + 0.3 D_{N,A}) \quad (1)$$

که در آن $D_{S,N}$ فاصله‌ی جغرافیایی گره چاهک تا گره همسایه است و $D_{N,A}$ فاصله‌ی جغرافیایی گره همسایه تا گره عامل است. از آنجایی که گره چاهک متحرک است و گره‌های همسایه مربوط به گره چاهک هستند، فاصله‌ی گره چاهک تا گره همسایه نسبت به فاصله‌ی گره همسایه تا گره عامل نقش مهم‌تری در تابع هدف دارد؛ به همین دلیل به فاصله‌ی گره چاهک تا گره همسایه، ضریب 0.7 اختصاص داده می‌شود و به فاصله‌ی گره همسایه تا گره عامل، ضریب 0.3 اختصاص داده می‌شود. با توجه به تابع هدف مشخص است گره چاهک برای هر همسایه‌ی خود، فاصله‌ی همسایه تا گره عامل و فاصله‌ی همسایه تا خود را محاسبه می‌کند، در نهایت هر همسایه‌ی که مجموع این فواصل برای آن کمینه باشد، به عنوان گره رله‌ی بلافاصل معرفی می‌شود.

۲.۳. تنظیم مسیر رله

گره چاهک متحرک، یک بسته شامل پیام «تنظیم مسیر رله» از طریق گره رله‌ی بلافاصل به گره عامل ارسال می‌کند. گره عامل با دریافت بسته‌ی تنظیم مسیر رله، بسته‌های داده را در امتداد مسیر برگشت این بسته، به سمت گره رله ارسال می‌کند و سپس گره رله‌ی بلافاصل بسته‌ها را به گره چاهک متحرک، تحویل می‌دهد. هر گره حسگر که بروی مسیر رله قرار دارد، گره رله می‌نامند و آخرین گره رله به سمت گره چاهک را گره رله‌ی بلافاصل (IR) گویند.

ممکن است در زمانی که گره چاهک متحرک، خارج از محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار می‌گیرد تا زمانی که مسیر رله تنظیم می‌شود، بسته‌های داده از بین بروند و گره چاهک آنها را دریافت نکند؛ برای اجتناب از این مشکل در بازه‌ی زمانی مذکور، گره عامل بسته‌های داده را در بازه‌ی زمانی مشخص شده انبار می‌کند و هنگام دریافت بسته‌ی تنظیم مسیر رله، بسته‌های داده‌ی انبار شده را به سمت گره چاهک ارسال می‌کند.

۳.۳. خروج گره چاهک متحرک از محدوده‌ی رادیویی گره رله بلافاصل

گره IR مانند گره عامل، در بازه‌ی زمانی مشخص، یک بسته برای بررسی محدوده‌ی رادیویی به گره چاهک متحرک ارسال می‌کند؛ گره چاهک با دریافت این بسته، متوجه خواهد شد هنوز در محدوده رادیویی گره رله بلافاصل قرار دارد و بسته‌ی را به عنوان پاسخ برای گره IR ارسال می‌کند.

اگر در یک بازه‌ی زمانی، گره IR بسته‌ی پاسخ را دریافت نکند متوجه خواهد شد گره چاهک از محدوده‌ی رادیویی گره IR خارج شده است، بنابراین یک بسته به مقصد گره عامل ارسال می‌کند تا به گره عامل اعلام کند برای اجتناب از گم شدن بسته‌های داده، انبارکردن بسته‌های داده را آغاز کند.

همچنین به دلیل تحرک، اگر گره چاهک خود را خارج از محدوده‌ی رادیویی گره IR بیابد، دوباره به طور محلی بسته‌ی پیام درخواست رله به همسایگان خود ارسال می‌کند (مشابه با روش بخش ۱.۳). تا گره چاهک یک گره IR جدید در موقعیت جدید خود انتخاب کند؛ سپس یک بسته‌ی تنظیم مسیر رله از طریق گره IR جدید به گره عامل ارسال می‌کند. بسته‌ی جدید تنظیم مسیر رله مستقل از مسیر رله‌ی قبلی، به گره عامل مسیریابی می‌شود.

از آنجایی که هر گره حسگر درون شبکه‌ی حسگر بی‌سیم، کوتاه‌ترین مسیر به گره

می‌شوند که فاصله‌ی خودشان تا گره عامل دو گام است؛ این فرایند برای تمام گره‌ها انجام می‌شود.

در حقیقت، همان‌طور که گره عامل بسته‌ی پرس‌وجو را درون شبکه‌ی حسگر بی‌سیم منتشر می‌کند، گزاردان‌هایی نیز در جهت معکوس بسته‌ی پرس‌وجو و به سمت گره عامل ایجاد می‌شود.

هر گره حسگر قادر است از میان همسایگان خود آن گره‌ی را که یک گام به گره عامل نزدیک‌تر است به عنوان گره مسیریاب بعدی خود انتخاب کند؛ اگر بیشتر از یک گره برای انتخاب گره مسیریاب بعدی وجود داشته باشد، زمان ورود بسته‌ی پرس‌وجو به آن گره‌ها مقایسه می‌شود و گره‌ی که دارای زمان ورود کمتری است به عنوان گره مسیریاب بعدی تعیین می‌شود.

هنگامی که گره مبدأیی برای گره چاهک داده داشته باشد؛ بسته‌ی داده را به گره مسیریاب بعدی خود ارسال می‌کند و آن گره نیز بسته داده را به گره مسیریاب بعدی خود ارسال می‌کند؛ این روند تکرار می‌شود تا سرانجام گره عامل بسته‌ی داده را دریافت کند. آنگاه گره عامل با دانستن موقعیت فعلی گره چاهک متحرک، بسته‌ی داده را به گره چاهک تحویل می‌دهد.

۲.۲. خروج گره چاهک متحرک از محدوده‌ی رادیویی گره عامل

زمانی که گره چاهک درون محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار دارد، قادر است داده‌ی جمع‌آوری شده توسط گره عامل را به طور مستقیم از گره عامل دریافت کند. با توجه به متحرک بودن گره چاهک، اگر گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار گیرد، از میان گره‌های همسایه در موقعیت جدید خود، نزدیک‌ترین گره را به عنوان گره رله برای تقویت‌کردن بسته‌ها انتخاب می‌کند.

اگر گره چاهک متحرک در یک بازه‌ی زمانی مشخص، هیچ‌گونه بسته‌ی از گره عامل دریافت نکند، متوجه خواهد شد که بیرون از محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار گرفته است؛ زیرا گره عامل به طور تناوبی در یک بازه‌ی زمانی مشخص، یک بسته‌ی تهی که داده‌ی خاصی ندارد، به گره چاهک متحرک ارسال می‌کند تا از داوری نادرست گره چاهک متحرک به تصور اینکه خارج از محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار گرفته است، پیش‌گیری کند.

۳. روش پیشنهادی

در این بخش الگوریتم پیشنهادی به نام IARR^{۱۵}، با تمام جزئیات ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی شامل چهار مرحله است: انتخاب گره رله‌ی بلافاصل، تنظیم مسیر رله، خروج گره چاهک متحرک از محدوده رادیویی گره رله‌ی بلافاصل، حذف مسیر رله‌ی قدیمی.

۱.۳. انتخاب گره رله‌ی بلافاصل^{۱۶}

به محض آنکه گره چاهک متوجه شد بیرون از محدوده‌ی رادیویی گره عامل قرار دارد، یک بسته شامل پیام «درخواست رله» به همسایگان خود ارسال می‌کند؛ گره‌های همسایه توسط بسته‌ی شامل پیام «پاسخ رله» به گره چاهک پاسخ می‌دهند.

گره چاهک، مختصات گره عامل را از قبل در خود ذخیره دارد (بخش ۱.۲) و همچنین بسته‌ی پیام پاسخ رله، دارای مختصات گره فرستنده است؛ بنابراین گره چاهک قادر است برای هر یک از همسایگان خود که فرستنده‌ی پیام پاسخ رله

شده است. گره چاهک با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کند و در هر موقعیت دارای زمان توقف ۵ ثانیه است. هر گره حسگر دارای محدوده‌ی رادیویی ۴۰ متر است. در شبیه‌سازی از ۳۲ عدد گره ساکن و ۸ عدد گره متحرک (که به تدریج افزوده می‌شوند) استفاده شده است. [۲۵، ۲۳]

معیارهای ارزیابی روش پیشنهادی عبارت‌اند از: معیار میانگین انرژی مصرفی، معیار میانگین تأخیر و معیار نسبت تحویل بسته.

معیار میانگین انرژی مصرفی، به‌عنوان میانگین انرژی ارتباطات (ارسال بسته و دریافت بسته) که در سراسر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم مصرف می‌شود، تعریف می‌شود. انرژی در هر گره حسگر به ازای ارسال یک بسته ۰/۶۶ وات و به ازای دریافت یک بسته ۰/۳۹۵ وات مصرف می‌شود. مجموع انرژی مصرفی تمام گره‌های ساکن تقسیم بر تعداد آنها میانگین انرژی مصرفی برحسب وات محسوب می‌شود که با ضرب در ۳۶۰۰، بر حسب ژول به‌دست می‌آید. [۲۶]

معیار تأخیر یک بسته فاصله‌ی زمانی بین لحظه‌ی که یک گره مبدأ آن‌را تولید و ارسال می‌کند و لحظه‌ی که گره چاهک آن‌را دریافت می‌کند، تعریف می‌شود. در هر گره چاهک به ازای یک مبدأ مشخص تأخیر هر بسته به‌دست آورده می‌شود و در نهایت با تقسیم مجموع تأخیر بسته‌ها بر تعداد بسته‌های دریافتی از مبدأ مشخص معیار میانگین تأخیر محاسبه می‌شود. [۲۶]

معیار نسبت تحویل بسته، نسبت تعداد بسته‌های دریافت‌شده توسط گره چاهک به تعداد کل بسته‌های تولیدشده توسط گره مبدأ تعریف می‌شود. در هر گره مبدأ تعداد بسته‌های تولیدی به ازای یک گره چاهک مشخص محاسبه می‌شود و نیز در هر گره چاهک تعداد بسته‌های دریافتی به ازای آن مبدأ مشخص محاسبه می‌شود؛ در نهایت، تقسیم تعداد بسته‌های دریافتی به تعداد بسته‌های تولیدی معیار نسبت تحویل بسته محسوب می‌شود. [۲۶]

شبیه‌سازی روش پیشنهادی، در چهار سناریو انجام شده است که هر یک از سناریوها را شرح می‌دهیم و برای ارزیابی نتایج روش پیشنهادی را با الگوریتم IAR مقایسه می‌کنیم. همچنین مقایسه‌ی نتایج با الگوریتم AODV، که از پرکاربردترین الگوریتم‌های مسیریابی است، را نمایش می‌دهیم.

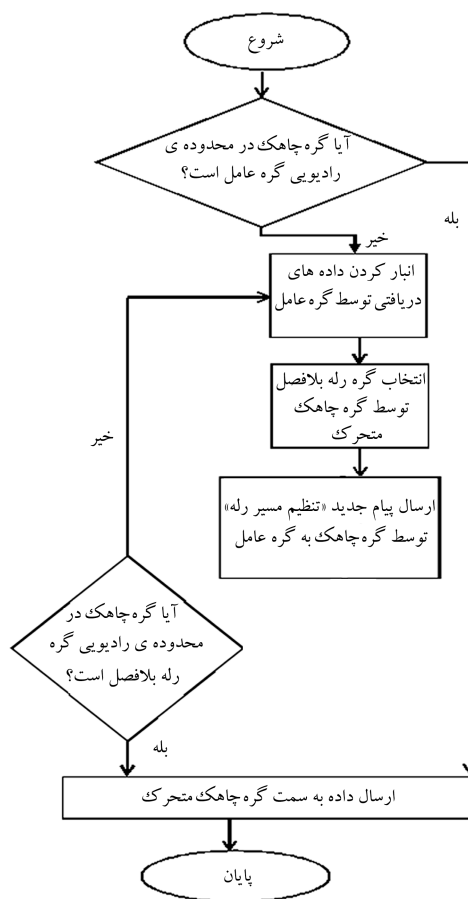
۱.۴. سناریوی اول (دارای یک گره چاهک متحرک)

این سناریو دارای یک گره چاهک متحرک و ۳۲ عدد گره ساکن است که از بین آنها گره‌های ۳، ۱۶، ۲۱، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲، به‌صورت متغیر به‌عنوان گره مبدأ انتخاب می‌شوند. شکل ۴ مسیر حرکت گره چاهک را با خط سیاه رنگ نمایش می‌دهد و نیز با نمایش خطوط قرمز رنگ مسیرهای انتخابی به سمت گره عامل، گره بعدی مربوط به هر گره را مشخص می‌کند.

همان‌طور که در جدول ۱ گزارش شده است، گره عامل گره ۱۲ است. زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۱۲ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۱ را به‌عنوان گره IR انتخاب می‌کند. الگوریتم IAR نیز گره ۱ را به‌عنوان گره IR انتخاب می‌کند. در ادامه‌ی حرکت گره چاهک و خارج شدن آن از محدوده‌ی رادیویی گره IR (گره ۱)، الگوریتم IARR گره ۲ را به‌عنوان گره IR

جدول ۱. گره‌های انتخابی مورد نیاز در سناریوی اول.

الگوریتم	گره عامل	گره IR اول	گره IR دوم
IARR	۱۲	۱	۲
IAR	۱۲	۱	۲۷



شکل ۳. ساختار الگوریتم IARR.

عامل را می‌داند، هر گره به‌عنوان گره IR انتخاب شود، قادر است بسته‌ی تنظیم مسیر رله را در امتداد کوتاه‌ترین مسیری به گره عامل تحویل دهد.

گره عامل با دریافت بسته‌ی تنظیم مسیر رله‌ی جدید، بسته‌های داده و نیز بسته‌های داده‌ی انبارشده را در امتداد مسیر برگشت این بسته به مقصد گره چاهک در موقعیت جدیدش ارسال می‌کند.

۴.۳. حذف مسیر رله‌ی قدیمی

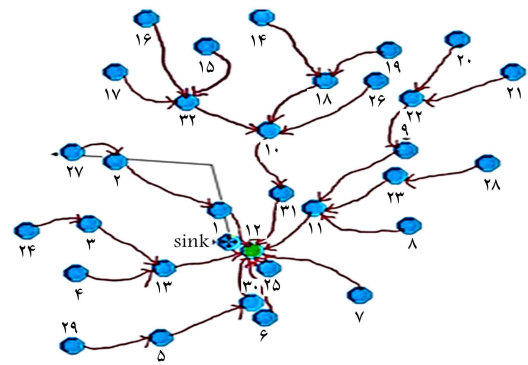
زمانی که گره عامل بسته‌ی تنظیم مسیر رله را دریافت می‌کند، بررسی می‌کند آیا مسیر رله‌ی قدیمی مختص به گره چاهک مورد نظر وجود دارد یا خیر. اگر مسیر رله‌ی قدیمی وجود داشته باشد، یک بسته شامل پیام «حذف مسیر رله» در امتداد مسیر رله‌ی قدیمی ارسال می‌کند؛ به‌عبارت دیگر، هر گره حسگری که بر روی مسیر رله‌ی قدیمی قرار دارد، وضعیت خود را برای آن مسیر حفظ می‌کند تا زمانی که یک بسته‌ی حذف مسیر رله دریافت کند. ساختار الگوریتم پیشنهادی IARR، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

۴. شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار شبیه‌ساز OPNET Modeler ۱۴/۰ استفاده شده است. شبیه‌سازی روش پیشنهادی در مدت زمان ۳۶۰۰ ثانیه، انجام شده است. اندازه‌ی بسته‌ی داده ۶۴ بایت و اندازه‌ی بسته‌ی کنترلی ۳۶ بایت در نظر گرفته

جدول ۲. فاصله‌ی گره مبدأ از گره IR برحسب تعداد گام در سناریوی اول.

مبدأها	تعداد گام تا IR	
	IARR	IAR
مبدأ اول	۲	۴
مبدأ دوم	۴	۶
مبدأ سوم	۴	۶
مبدأ چهارم	۳	۵
مبدأ پنجم	۳	۵
مبدأ ششم	۱	۳
مبدأ هفتم	۱	۳
مبدأ هشتم	۳	۵



شکل ۴. ساختار مسیرهای انتخابی در سناریوی اول.



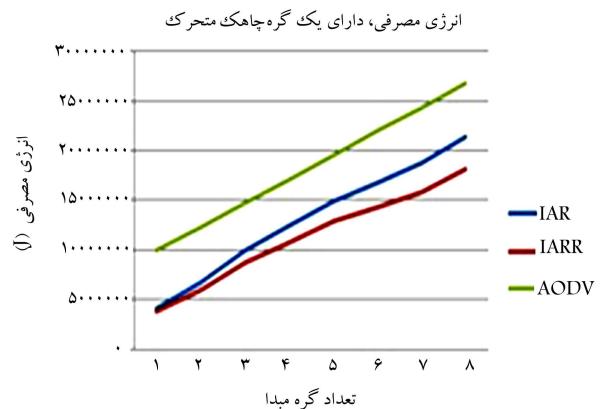
شکل ۶. معیار میانگین تاخیر در سناریوی اول.



شکل ۷. معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی اول.

سیس گره چاهک متحرک سپری می‌کند. شکل ۶ نمودار مربوط به معیار میانگین تاخیر را نمایش می‌دهد.

۳.۱.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی اول
روش پیشنهادی براساس معیار نسبت تحویل بسته مشابه الگوریتم IAR عمل می‌کند. همان‌طور که شکل ۷ نمایش می‌دهد هر دو روش، دارای یک نمودار خطی یکنواخت هستند و متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدأ نیستند. بنابراین روش پیشنهادی نسبت تحویل بسته را در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم کاهش نمی‌دهد. همچنین معیار



شکل ۵. معیار میانگین مصرف انرژی در سناریوی اول.

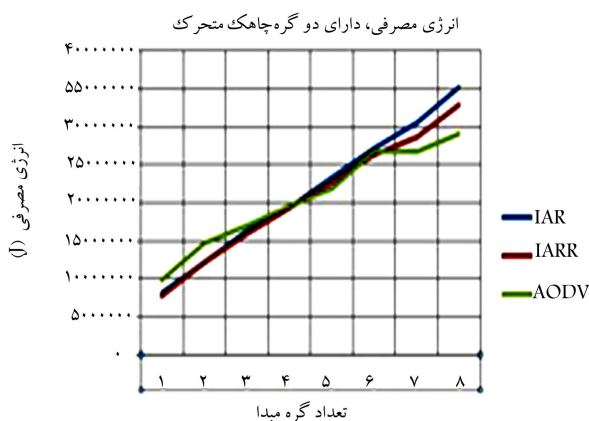
جدید انتخاب می‌کند؛ اما الگوریتم IAR گره ۲۷ را به‌عنوان گره IR جدید انتخاب می‌کند.

۱.۱.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین انرژی مصرفی در سناریوی اول

شکل ۵ میانگین انرژی مصرفی در سناریوی اول که دارای یک گره چاهک متحرک است، نمایش می‌دهد. در نقطه‌ی اول از محور افقی یک گره مبدأ (گره ۳) درون شبکه‌ی حسگر وجود دارد و در نقطه‌ی دوم از محور افقی دو گره مبدأ (گره ۳ و گره ۱۶) و در نقطه‌ی سوم سه گره مبدأ (گره ۳ و گره ۱۶ و گره ۲۱) وجود دارند (این ترتیب تا نقطه‌ی هشتم ادامه دارد). با مشاهده‌ی نمودار مشخص است، AODV بالاترین سطح انرژی مصرفی را دارد. همچنین سطح انرژی در IARR نسبت به IAR پایین‌تر است؛ زیرا همان‌طور که در جدول ۲ گزارش شده است بسته‌ی تولیدشده در هر مبدأ برای رسیدن به IR دوم در الگوریتم IARR با تعداد گام کمتری به مقصد می‌رسد.

علاوه بر این با مشاهده‌ی نمودار مشخص است، با افزایش تعداد گره‌های مبدأ در محور افقی نمودار، انرژی بیشتر مصرف می‌شود؛ زیرا تعداد بسته‌های تولیدشده توسط مبدأها افزایش یافته است و در نتیجه بسته‌های تبادل یافته بین گره‌های حسگر موجود در شبکه‌ی حسگر افزایش می‌یابد.

۲.۱.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین تاخیر در سناریوی اول
یکی دیگر از معیارهای ارزیابی روش IARR، میانگین تاخیر است. روش پیشنهادی نسبت به IAR، کمینه‌سازی میانگین تاخیر را موجب می‌شود؛ زیرا با توجه به جدول ۲ روش پیشنهادی تعداد گام‌های کمتری برای ارسال بسته به سمت گره IR دوم و



شکل ۹. معیار میانگین مصرف انرژی در سناریوی دوم.

جدول ۴. فاصله‌ی گره مبدا از گره IR مربوط به گره چاهک دوم برحسب تعداد گام در سناریوی دوم.

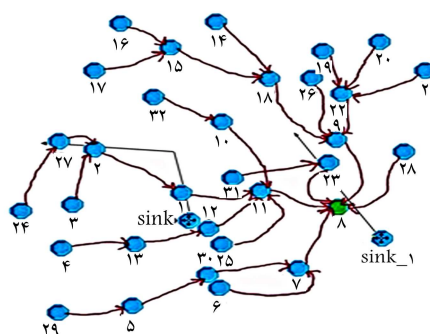
مبداها	تعداد گام تا IR	
	IARR	IAR
مبدا اول	۴	۴
مبدا دوم	۴	۲
مبدا سوم	۳	۱
مبدا چهارم	۱	۱
مبدا پنجم	۴	۴
مبدا ششم	۲	۲
مبدا هفتم	۰	۲
مبدا هشتم	۳	۳



شکل ۱۰. معیار میانگین تأخیر در سناریوی دوم.

همچنین در این سناریو، با افزایش تعداد گره‌های مبدا در محور افقی نمودار، انرژی بیشتر مصرف می‌شود زیرا تعداد بسته‌های تولید شده توسط مبداها افزایش یافته است و در نتیجه بسته‌های تبادل یافته بین گره‌های حسگر موجود در شبکه حسگر، افزایش می‌یابد.

۲.۲.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین تأخیر در سناریوی دوم
 کمیته‌سازی میانگین تأخیر AODV و روش IARR نسبت به IAR در این سناریوی در شکل ۱۰، قابل مشاهده است. در نقطه‌ی دوم و چهارم از محور افقی نمودار، بهبود جزئی در کمیته‌سازی میانگین تأخیر روش پیشنهادی مشاهده می‌شود. زیرا



شکل ۸. ساختار مسیره‌های انتخابی در سناریوی دوم برای گره چاهک دوم.

جدول ۳. گره‌های انتخابی مورد نیاز در سناریوی دوم.

الگوریتم	گره عامل	گره IR
IARR	۸	۲۳
IAR	۸	۹

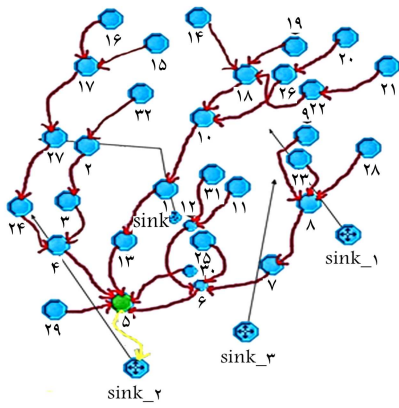
نسبت تحویل بسته در AODV سطح بیشتری نسبت به دو الگوریتم دیگر دارد و برخلاف آنها، متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدا است.

۲.۴. سناریوی دوم (دارای دو گره چاهک متحرک)

این سناریوی همان سناریوی اول است که به آن یک گره چاهک متحرک دیگر اضافه شده است. گره چاهک جدید نیز بر روی یک مسیر مشخص در حال حرکت است. شکل ۸ مسیر حرکت گره‌های چاهک را با خط سیاه رنگ نمایش می‌دهد. از آنجایی‌که در بخش ۱.۴، جزئیات مربوط به گره چاهک اول بررسی شد، در این بخش از بیان آن صرف‌نظر می‌کنیم اما اثر آن را در این سناریوی در نظر می‌گیریم. جدول ۳ گره‌های انتخاب شده توسط گره چاهک متحرک دوم را گزارش می‌دهد. گره عامل ۸ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۸ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۲۳ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند و الگوریتم IAR گره ۹ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند.

۱.۲.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین انرژی مصرفی در سناریوی دوم

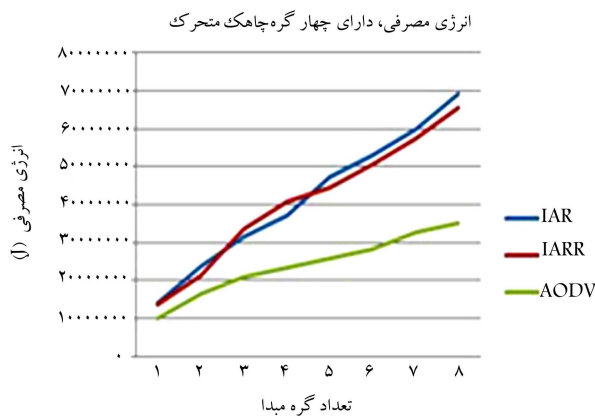
با مشاهده شکل ۹ مشخص است، در چهار نقطه ابتدایی محور افقی، AODV بالاترین سطح انرژی را دارد. همچنین سطح انرژی در IARR نسبت به IAR پایین‌تر است؛ دلیل این مسئله به تعداد گام‌های هر گره مبدا تا گره‌های IR مربوطه، برمی‌گردد. در چهار نقطه ابتدایی از محور افقی نمودار، اختلاف سطح میانگین انرژی در این دو روش، کم است. زیرا با مشاهده جدول ۴، در هر گره مبدا تعداد گام از گره IR در چاهک دوم، برای IARR بزرگتر یا مساوی از IAR است که همچنین با در نظر گرفتن تأثیر تعداد گام نسبت به گره IR در چاهک اول (جدول ۲) بر میانگین انرژی مصرفی، موجب نزدیک شدن سطح انرژی IARR به سطح انرژی IAR شده است. اما در چهار نقطه انتهایی محور افقی نمودار، اختلاف سطح میانگین انرژی دو روش، بیشتر شده و کاهش میانگین انرژی مصرفی در روش IARR مشهودتر است. زیرا بر اساس جدول ۴، در هر گره مبدا تعداد گام از گره IR، برای این نقاط در روش IARR کمتر است و نیز تعداد گام نسبت به گره IR در این نقاط برای روش IARR با توجه به جدول ۲، کمتر است. این دو دلیل به طور میانگین باعث کاهش انرژی مصرفی در روش IARR می‌شوند.



شکل ۱۲. ساختار مسیرهای انتخابی در سناریوی سوم برای گره چاهک سوم.

جدول ۵. گره‌های انتخابی مورد نیاز در سناریوی سوم.

الگوریتم‌ها	گره عامل		گره IR	
	گره چاهک سوم	گره چاهک چهارم	گره چاهک سوم	گره چاهک چهارم
IARR	۵	۶	۴	۱۱
IAR	۵	۶	۴	۸



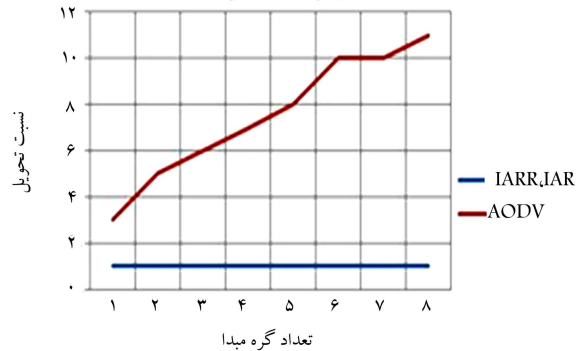
شکل ۱۳. معیار میانگین مصرف انرژی در سناریوی سوم.

الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۱۱ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند و الگوریتم IAR گره ۸ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند.

۱.۳.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین انرژی مصرفی در سناریوی سوم

با مشاهده‌ی شکل ۱۳ مشخص است، AODV پایین‌ترین سطح انرژی را دارد. همچنین سطح انرژی در IARR نسبت به IAR پایین‌تر است؛ دلیل این مسئله به تعداد گام‌های هر گره مبدا تا گره‌های IR مربوط برمی‌گردد. زیرا از بین چهار گره چاهک متحرکی که در این سناریو وجود دارد، فقط گره چاهک سوم است که در هر دو روش IARR و IAR دارای تعداد گام یکسان از گره مبدا به گره IR است (جدول ۶ تعداد گام در مورد چاهک سوم و چهارم را گزارش می‌دهد). اما در سایر گره‌های چاهک در اغلب موارد روش IARR نسبت به روش IAR تعداد گام‌های کمتری از گره مبدا به گره IR دارد و در برخی از موارد در یک گره چاهک خاص (مانند گره چاهک دوم در گره مبدا سوم) تعداد گام‌های بیشتری دارد؛ چون

نسبت تحویل پروتکل‌های IARR, IAR و AODV دارای دو گره چاهک متحرک



شکل ۱۱. معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی دوم.

در نقطه‌ی دوم با اینکه تعداد گام از گره مبدا تا گره IR مربوط به گره چاهک دوم (جدول ۴)، در روش IARR بیشتر از روش IAR است، همچنان تأثیر کم‌بودن تعداد گام از گره مبدا تا گره IR مربوط به گره چاهک اول (جدول ۲)، در روش IARR باقی است که به‌طور میانگین باعث بهبود جزئی در این نقطه از نمودار شده است. در نقطه‌ی چهارم تعداد گام از گره مبدا تا گره IR مربوط، در روش IARR و روش IAR، یکسان است. استثنائاً در نقطه‌ی سوم محور افقی ملاحظه می‌شود روش IARR دارای سطح تأخیر بیشتری به نسبت روش IAR است. زیرا تعداد گام از گره مبدا تا گره IR (جدول ۴)، در روش IARR به نسبت روش IAR، بیشتر است (به گونه‌ی که حتی تأثیر کم‌بودن تعداد گام از گره مبدا تا گره IR مربوط به گره چاهک اول در محاسبه‌ی میانگین اثرگذار نیست).

با مقایسه‌ی نمودار شکل‌های ۶ و ۱۰، مربوط به معیار میانگین تأخیر در سناریوی اول و دوم مشاهده می‌شود با افزایش تعداد گره چاهک، مقدار میانگین تأخیر در تعداد گره‌های مبدا متناظر محور افقی دو نمودار نیز افزایش می‌یابد.

۳.۲.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی دوم روش IARR و IAR عملکردی مشابه دارند و همان‌طور که شکل ۱۱ نمایش می‌دهد این معیار برای این دو روش، به صورت یکنواخت و متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدا نیست؛ اما AODV متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدا است.

۳.۴. سناریوی سوم (دارای چهار گره چاهک متحرک)

این سناریو همان سناریوی دوم است که به آن دو گره چاهک متحرک دیگر اضافه شده است. گره‌های چاهک جدید نیز بر روی یک مسیر مشخص در حال حرکت هستند. شکل ۱۲ مسیر حرکت گره‌های چاهک را با خط سیاه رنگ نمایش می‌دهد. از آنجایی که در بخش‌های ۱.۴ و ۲.۴، جزئیات مربوط به گره چاهک اول و گره چاهک دوم بررسی شد، در این بخش از بیان آنها صرف‌نظر می‌کنیم اما اثر آنها را در این سناریو در نظر می‌گیریم.

جدول ۵ گره‌های انتخاب شده توسط گره چاهک متحرک سوم و چهارم را گزارش می‌دهد. برای گره چاهک سوم، گره عامل گره ۵ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۵ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR و نیز الگوریتم IAR گره ۴ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کنند. گره عامل گره چاهک چهارم گره ۶ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۶ قرار می‌گیرد،

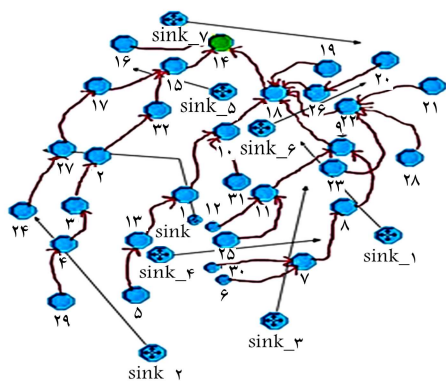
جدول ۶. فاصله‌ی گره مبدأ از گره IR بر حسب تعداد گام در سناریوی سوم.

مبدأها	تعداد گام تا IR			
	IARR		IAR	
	گره چاهک سوم	گره چاهک چهارم	گره چاهک سوم	گره چاهک چهارم
مبدأ اول	۰	۳	۰	۳
مبدأ دوم	۳	۶	۳	۶
مبدأ سوم	۶	۶	۲	۶
مبدأ چهارم	۴	۴	۰	۴
مبدأ پنجم	۱	۳	۱	۳
مبدأ ششم	۱	۱	۲	۱
مبدأ هفتم	۳	۳	۳	۳
مبدأ هشتم	۲	۵	۲	۵

نسبت تحویل پروتکل های IARR, IAR و AODV دارای چهار گره سینک متحرک

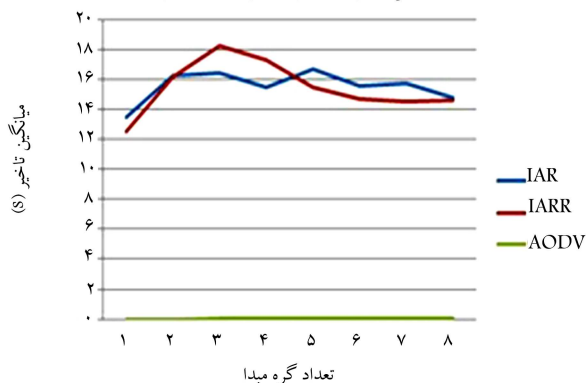


شکل ۱۵. معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی سوم.



شکل ۱۶. ساختار مسیرهای انتخابی در سناریوی چهارم برای گره چاهک هشتم.

میانگین تأخیر، دارای چهار گره چاهک متحرک



شکل ۱۴. معیار میانگین تأخیر در سناریوی سوم.

۴.۴. سناریوی چهارم (دارای هشت گره چاهک متحرک)

در این سناریو هشت گره چاهک متحرک وجود دارد. گره‌های چاهک اول تا چهارم در سناریوهای قبلی بررسی شدند. شکل ۱۶ نمایشی از ساختار شبکه‌ی حسگر بی‌سیم دارای هشت گره چاهک متحرک و مسیر حرکت هر گره چاهک و نیز گره بعدی مربوط به هر گره را برای گره چاهک هشتم ارائه می‌دهد.

جدول ۷ گره‌های انتخاب شده توسط گره چاهک پنجم تا هشتم را گزارش می‌دهد. برای گره چاهک پنجم، گره عامل، گره ۱۳ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۱۳ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۲۵ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند و الگوریتم IAR گره ۷ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند. برای گره چاهک ششم، گره عامل گره ۱۸ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۱۸ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۱۵ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند. برای گره چاهک هفتم، گره ۱۰ و گره ۲۶ و گره ۲۲ به ترتیب برای گره عامل، گره IR روش IARR، و گره IR روش IARR انتخاب می‌شوند. برای گره چاهک هشتم، گره عامل گره ۱۴ است و زمانی که گره چاهک خارج از محدوده‌ی رادیویی گره ۱۴ قرار می‌گیرد، الگوریتم پیشنهادی IARR گره ۱۹ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند و الگوریتم IAR گره ۲۰ را به عنوان گره IR انتخاب می‌کند.

۱.۴.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین انرژی مصرفی در سناریوی چهارم

همان‌طور که شکل ۱۷ نمایش می‌دهد در این سناریو نیز، افزایش تعداد گره‌های

تأثیر سایر گره‌های چاهک به‌طور میانگین محاسبه می‌شود، این امر مفید واقع شده و باعث کاهش میانگین انرژی مصرفی در سراسر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم در روش IARR می‌شود. اما افزایش تعداد گام از گره مبدأ سوم و چهارم تا گره چاهک چهارم در روش IARR به حدی زیاد است که بر محاسبه‌ی میانگین اثر سوء می‌گذارد و باعث افزایش معیار میانگین انرژی مصرفی در نقاط سوم و چهارم محور افقی نمودار شکل ۱۳ شده است.

۲.۳.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین تأخیر در سناریوی سوم با توجه به نمودار شکل ۱۴، در این سناریو کمیته‌سازی میانگین تأخیر در AODV نسبت به سایر روش‌ها و نیز کمیته‌سازی روش IARR نسبت به IARR در مبدأهای مختلف قابل مشاهده است. در برخی نقاط موارد استثنا ملاحظه می‌شود که دلیل آن وجود تعداد گام بیشتر از گره مبدأ تا گره IR در روش IARR نسبت به روش IARR است.

۳.۳.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی سوم در این سناریو نیز نمودار معیار نسبت تحویل بسته، برای روش IARR و IARR یکسان است و همان‌طور که نمودار شکل ۱۵ نمایش می‌دهد این معیار به‌صورت یکنواخت و متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدأ نیست. اما AODV متأثر از افزایش تعداد گره‌های مبدأ است.

جدول ۷. گره‌های انتخابی مورد نیاز در سناریوی چهارم.

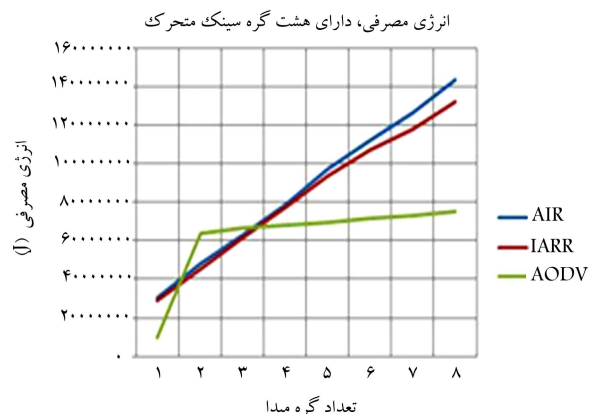
گره IR				گره عامل				
sin k λ	sin k γ	sin k ϕ	sin k δ	sin k λ	sin k γ	sin k ϕ	sin k δ	
۱۹	۲۶	۱۵	۲۵	۱۴	۱۰	۱۸	۱۳	IARR
۲۰	۲۲	۱۵	۷	۱۴	۱۰	۱۸	۱۳	IAR

جدول ۸. فاصله‌ی گره مبدأ از گره IR برحسب تعداد گام در سناریوی چهارم.

تعداد گام تا IR								مبدأ
IARR				IAR				
sin k λ	sin k γ	sin k ϕ	sin k δ	sin k λ	sin k γ	sin k ϕ	sin k δ	
۵	۳	۴	۱	۶	۴	۴	۲	مبدأ اول
۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲	۵	مبدأ دوم
۲	۱	۲	۵	۳	۲	۲	۶	مبدأ سوم
۲	۳	۲	۴	۳	۴	۲	۳	مبدأ چهارم
۷	۴	۵	۲	۸	۵	۵	۳	مبدأ پنجم
۴	۳	۴	۱	۵	۴	۴	۲	مبدأ ششم
۲	۱	۲	۲	۳	۲	۲	۱	مبدأ هفتم
۳	۱	۲	۳	۴	۲	۲	۴	مبدأ هشتم



شکل ۱۸. معیار میانگین تأخیر در سناریوی چهارم.



شکل ۱۷. معیار میانگین مصرف انرژی در سناریوی چهارم.

کارآمد بودن روش پیشنهادی IARR بر اساس معیار میانگین تأخیر نسبت به IAR قابل مشاهده است. همان‌طور که در جدول ۷ گزارش شد گره چاهک پنجم، هفتم و هشتم برای انتخاب گره IR در روش IARR و IAR گره‌های متفاوتی انتخاب می‌کنند. این انتخاب‌ها بر مقدار میانگین تأخیر در سناریوی مورد نظر تأثیر مناسب دارد و باعث کمتر شدن میانگین تأخیر روش IARR می‌شود.

۳.۴.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی

چهارم

نمودار معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی چهارم نیز در روش IARR مشابه روش IAR است. همان‌طور که در شکل ۱۹ قابل مشاهده است، معیار نسبت

مبدأ در محور افقی نمودار باعث افزایش میانگین انرژی مصرفی می‌شود؛ زیرا بسته‌های تولیدی در شبکه افزایش می‌یابند و انرژی گره‌ها بیشتر مصرف می‌شود. روش AODV پایین‌ترین سطح انرژی را دارد و نیز سطح انرژی در روش پیشنهادی IARR پایین‌تر از روش IAR قرار دارد. زیرا با توجه به جدول ۸، تعداد گام از گره مبدأ تا گره IR در روش IARR کمتر از روش IAR است؛ بنابراین، باعث صرفه‌جویی در میانگین انرژی شبکه حسگر بی‌سیم در این روش می‌شود.

۲.۴.۴. ارزیابی نتایج بر حسب معیار میانگین تأخیر در سناریوی چهارم

با توجه به شکل ۱۸ کمینه‌سازی میانگین تأخیر در AODV مشهود است و نیز

۵. نتیجه‌گیری

در اغلب الگوریتم‌های مسیریابی مربوط به مدیریت منبع محدود انرژی درون شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره چاهک ساکن در نظر گرفته شده است. در حالی که با تحرک گره چاهک بخش زیادی از انرژی شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به دلیل بهنگام‌سازی موقعیت‌های پی‌درپی گره چاهک متحرک توسط سایر گره‌های درون شبکه حسگر تلف می‌شود. در این مقاله، الگوریتم جدیدی با در نظر گرفتن تحرک گره چاهک استفاده شده است. این الگوریتم علاوه بر اینکه فاصله‌ی گره چاهک متحرک تا همسایه‌ی خود را در نظر گرفته فاصله‌ی همسایه تا گره عامل را نیز در انتخاب مسیر لحاظ کرده است تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. الگوریتم پیشنهادی در چهار سناریو شامل تعداد مختلف گره‌های چاهک شبیه‌سازی شده است و نتایج حاصل از اجرای شبیه‌سازی با الگوریتم سایر محققان مقایسه شده است. الگوریتم پیشنهادی در مصرف انرژی کارآمد و مؤثر است و میانگین تأخیر را نیز کاهش می‌دهد و همچنین نسبت تحویل بسته را کاهش نمی‌دهد. جمع‌بندی داده توسط گره عامل، تحرک گره‌های مبدأ و سرعت گره‌های متحرک می‌تواند به‌عنوان زمینه‌ی تحقیقات آتی مطرح شود.



شکل ۱۹. معیار نسبت تحویل بسته در سناریوی چهارم.

تحویل بسته درون شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر روندی یکنواخت دارد و تحت تأثیر افزایش تعداد گره‌های حسگر نیست. در حالی که AODV متأثر از افزایش تعداد گره‌های حسگر است.

پانوشته‌ها

- wireless sensor networks
- efficient
- mobility
- agent
- average delay
- delivery ratio
- smart
- interference
- aggregation
- coverage
- fault tolerance
- self manage
- metadata
- intelligent agent based routing (IAR)
- intelligent agent-based routing protocol and based on the radio range (IARR)
- immediate relay

منابع (References)

- Han, Z., Wu, J., Zhang, J., Liu, L. and Tian, K. "A general self-organized tree-based energy-balance routing protocol for wireless sensor network", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **61**(2), pp. 732-740 (Apr. 2014).
- Suh, C., Ko, Y.-B. and Son, D.-M. "An energy efficient cross-layer MAC protocol for wireless sensor networks", in *Advanced Web and Network Technologies, and Applications*, Springer, pp. 410-419 (2006).
- Tubaishat, M. and Madria, S.K. "Sensor networks: An overview", *Potentials, IEEE*, **22**(2), pp. 20-23 (2003).
- Zabin, F., Misra, S., Woungang, I., Rashvand, H.F., Ma, N.-W., Ali, M.A., Misra, F.Z.S., Rashvand, I.W.H.F. and Ali, N.M.M.A. "REEP: Data-centric, energy-efficient and reliable routing protocol for wireless sensor networks", *IET Commun.*, **2**(8), pp. 995-1008 (2008).
- Lee, B.D. and Lim, K.H. "An energy-efficient hybrid data-gathering protocol based on the dynamic switching of reporting schemes in wireless sensor networks", *IEEE Syst. J.*, **6**(3), pp. 378-387 (2012).
- Yick, J., Mukherjee, B. and Ghosal, D. "Wireless sensor network survey", *Comput. Networks*, **52**(12), pp. 2292-2330 (Aug. 2008).
- Huang, H., Hu, G., Yu, F. and Zhang, Z. "Energy-aware interference-sensitive geographic routing in wireless sensor networks", *IET Commun.*, **5**(18), pp. 2692-2702 (Dec. 2011).
- Jain, K., Padhye, J., Padmanabhan, V.N. and Qiu, L. "Impact of interference on multi-hop wireless network performance", *Wirel. Networks*, **11**(4), pp. 471-487 (2005).
- Vakil, S. and Liang, B. "Balancing cooperation and interference in wireless sensor networks", in *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006. SECON'06. 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on*, **1**, pp. 198-206 (2006).
- Burkhart, M., Von Rickenbach, P., Wattenhofer, R., Zollinger, A. and Von Rickenbach, P. "Does topology control reduce interference?", in *Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Mobile ad Hoc Networking and Computing*, pp. 9-19 (2004).

11. Li, X.-Y., Moaveninejad, K., Song, W.-Z. and Wang, W. "Interference-aware topology control for wireless sensor networks", in *SECON*, **5**, pp. 263-274 (2005).
12. Shen, Y., Cai, Y. and Xu, X. "Localized interference-aware and energy-conserving topology control algorithms", *Wirel. Pers. Commun.*, **45**(1), pp. 103-120 (2008).
13. Zhang, W., Cao, G. and La Porta, T. "Data dissemination with ring-based index for wireless sensor networks", in *Network Protocols, 2003. Proceedings, 11th IEEE International Conference on*, pp. 305-314 (2003).
14. Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J. and Kumar, S. "Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks", in *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 263-270 (1999).
15. Karkvandi, H.R., Pecht, E. and Yadid-Pecht, O. "Effective lifetime-aware routing in wireless sensor networks", *IEEE Sens. J.*, **11**(12), pp. 3359-3367 (2011).
16. Drid, H. and Lahoud, S. "Dependable routing protocol considering the k-coverage problem for wireless sensor networks", *Seventh Int. Conf. Netw. Serv.*, pp. 223-227 (2011).
17. Gupta, G. and Younis, M. "Fault-tolerant clustering of wireless sensor networks", in *Wireless Communications and Networking (WCNC), (2003). IEEE*, **3**, pp. 1579-1584 (2003).
18. Gupta, G. and Younis, M. "Performance evaluation of load-balanced clustering of wireless sensor networks", in *Telecommunications (ICT), 2003. 10th International Conference on*, **2**, pp. 1577-1583 (2003).
19. Doumit, S.S. and Agrawal, D.P. "Self-organizing and energy-efficient network of sensors", in *MILCOM 2002. Proceedings*, **2**, pp. 1245-1250 (2002).
20. Zhang, C., Guan, H., Li, M., Wu, M.-Y., Zhang, W. and Tang, F. "Model-aided metadata management for wireless sensor networks", in *Advances in Grid and Pervasive Computing SE - 26*, **3947**, Y.-C. Chung and J. Moreira, Eds. Springer Berlin Heidelberg, pp. 259-268 (2006).
21. Ahmed, N., Kanhere, S.S. and Jha, S. "The holes problem in wireless sensor networks: A survey", *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, **9**(2), pp. 4-18 (2005).
22. Yan, R., Member, S., Sun, H. and Qian, Y. "Energy-aware sensor node design with its application in wireless sensor networks", *Instrum. Meas. IEEE Trans.*, **62**(5), pp. 1183-1191 (2013).
23. Rezaei, Z. and Mobininejad, S. "Energy saving in wireless sensor networks", *Int J Comput Sci Eng Surv*, **3**(1), pp. 23-37 (2012).
24. Bi, Y., Sun, L. and Li, N. "BoSS: A moving strategy for mobile sinks in wireless sensor networks", *Int. J. Sens. Networks*, **5**(3), pp. 173-184 (2009).
25. Govindan, R., Intanagonwiwat, C. and Estrin, D. "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," in *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 56-67 (2000).
26. Ye, F., Luo, H., Cheng, J., Lu, S. and Zhang, L. "A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks", in *Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 148-159 (2002).
27. Kim, H.S., Abdelzaher, T.F. and Kwon, W.H. "Minimum- energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks", in *Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys '03*, pp. 193-204 (2003).
28. Tang, J., Huang, H., Guo, S. and Yang, Y. "Dellat: Delivery latency minimization in wireless sensor networks with mobile sink", *J. Parallel Distrib. Comput.*, **83**, pp. 133-142 (2015).
29. Zhao, H., Guo, S., Wang, X. and Wang, F. "Energy-efficient topology control algorithm for maximizing network lifetime in wireless sensor networks with mobile sink", *Appl. Soft Comput.*, **34**, pp. 539-550 (2015).
30. Wichmann, A. and Korkmaz, T. "Smooth path construction and adjustment for multiple mobile sinks in wireless sensor networks", *Comput. Commun.*, **72**, pp. 93-106 (2015).
31. Jiang, Y., Shi, W., Wang, X. and Li, H. "A distributed routing for wireless sensor networks with mobile sink based on the greedy embedding", *Ad Hoc Networks*, **20**, pp. 150-162 (2014).
32. Khan, M.I., Gansterer, W.N. and Haring, G. "Static vs. mobile sink: The influence of basic parameters on energy efficiency in wireless sensor networks", *Comput. Commun.*, **36**(9), pp. 965-978 (2013).
33. Kim, J.-W., In, J.-S., Hur, K., Kim, J.-W. and Eom D.-S. "An intelligent agent-based routing structure for mobile sinks in WSNs", *Consum. Electron. IEEE Trans.*, **56**(4), pp. 2310-2316 (2010).