

یک الگوریتم مسیریابی با پشتیبانی از گره سینک متحرک جهت افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی سیم

نستوه طاهری جوان

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
آزمایشگاه شبکه های سیار Ad-Hoc
nastoooh@aut.ac.ir

آرش نصیری اقبالی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
آزمایشگاه شبکه های سیار Ad-Hoc
a.eghbali@aut.ac.ir

مهدی دهقان

استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
آزمایشگاه شبکه های سیار Ad-Hoc
dehghan@aut.ac.ir

چکیده: در بسیاری از پیاده سازی های شبکه های حسگر، از ایستگاه-های ثابت برای گره های سینک استفاده می شود، اما با استفاده از گره سینک ثابت انرژی گره های اطراف گره سینک به سرعت مصرف می شود، علاوه بر گره های اطراف سینک، گره هایی که در راستای مسیرهای پرتراپیک قرار دارند نیز به زودی انرژی خود را از دست خواهند داد، به گونه ای که پس از مدتی باعث دوپاره یا چند پاره شدن شبکه خواهد شد، با این شرایط استفاده از گره سینک متحرک بسیار موثر می باشد. در این پژوهش یک الگوریتم جدید، جهت پشتیبانی از گره سینک متحرک بر اساس الگوریتم انتشار هدایت شده پیشنهاد شده است. این ایده از دو فاز کلی تشکیل شده که در فاز اول سعی بر آنست که مسیر تشکیل شده به سمت مکان قبلی گره سینک به نحوی امتداد یابد که به محل فعلی گره سینک برسد. در فاز دوم اجرای الگوریتم، مسیر جدیدی از منابع به سمت مکان فعلی گره سینک تشکیل می شود. الگوریتم پیشنهادی در سناریوهای مختلفی با الگوریتم انتشار هدایت شده مقایسه شده است که نتایج حاصل از شبیه سازی، حاکی از افزایش نرخ تحویل بسته ها به مقصد و همچنین افزایش طول عمر شبکه می باشد.

واژه های کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، روش انتشار هدایت شده، مسیریابی، گره سینک متحرک، افزایش طول عمر شبکه.

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم^۱ از تعداد زیادی گره حسگر که به صورت تصادفی در محیط پراکنده شده اند، تشکیل شده است. هر یک از این گره های حسگر به طور خودمختار و با همکاری سایر گره ها هدف خاصی را دنبال می کند. هر گره توانایی ارتباط با گره ای دیگر را دارد. بدین ترتیب می تواند اطلاعات خود را در اختیار گره دیگری قرار دهد و در نهایت وضعیت محیط تحت نظارت را، به یک گره مرکزی گزارش داده شود [1].

امروزه با پیشرفت فناوری و پایین آمدن قیمت تجهیزات الکترونیکی، نسل جدید از شبکه های بیسیم توسعه پیدا کرده اند که در این شبکه ها، تعداد زیادی حسگر در محیط مورد بررسی پراکنده شده و اطلاعات مورد نیاز، توسط حسگرهای در نظر گرفته شده در گره ها جمع آوری شده و به

صورت گام به گام به گره های مجاور ارسال می شوند تا نهایتاً به گره مقصد برسند. به علت محدود بودن منابع انرژی در اختیار گره های شبکه، یکی از چالش های اصلی در این نوع شبکه ها، جمع آوری اطلاعات حسگرها با مصرف کردن حداقل میزان انرژی مورد نیاز است.

در بسیاری از پیاده سازی های شبکه های حسگر، از ایستگاه های ثابت برای گره های سینک استفاده می شود. یکی از بزرگترین مزیت های استفاده از سینک ثابت، مسائل امنیتی است. اما استفاده از گره سینک ثابت یک عیب بسیار بزرگ دارد و آن اینکه انرژی گره های اطراف گره سینک به سرعت مصرف می شود، علاوه بر گره های اطراف سینک، گره هایی که در راستای مسیرهای پرتراپیک قرار دارند نیز به زودی انرژی خود را از دست خواهند داد، به گونه ای که پس از مدتی باعث دوپاره یا چند پاره شدن شبکه خواهد شد. به این ترتیب استفاده از گره سینک متحرک و غیر ثابت در این موارد بسیار موثر می باشد.

یکی از روش های مطرح جمع آوری اطلاعات در شبکه های حسگر بیسیم، روش انتشار هدایت شده می باشد [2] که یک روش داده-محور است که در آن از زوج های مقدار، داده برای شناسایی داده های مورد نظر در منابع شبکه استفاده می شود. الگوریتم انتشار هدایت شده به منظور تشکیل مسیر از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول گره سینک (چاهک) یک بسته علاقه مندی را در کل شبکه منتشر می کند. با دریافت بسته علاقه مندی در گره مقصد، این گره یک بسته داده اکتشافی را به صورت سیل آسا^۲ در شبکه منتشر می کند. در گام بعدی برای ارسال داده ها به سمت سینک از مسیر همین داده های اکتشافی استفاده خواهد شد. با رسیدن داده های اکتشافی به گره مقصد، این گره یک بسته تقویت کننده مثبت^۳ در جهت عکس مسیر طی شده توسط داده اکتشافی ارسال می کند و گرادین های این مسیر را تقویت می کند تا برای ارسال داده های جمع آوری شده توسط منابع مورد استفاده قرار بگیرند.

همانطور که در بالا شرح داده شده، الگوریتم انتشار هدایت شده یک الگوریتم داده-محور^۴ در شبکه های حسگر است و در این الگوریتم مسیریابی از طریق تبادل داده های محلی بین گره های همسایه صورت می پذیرد. یکی از مشکلات این روش عدم امکان حمایت آن از گره سینک

متحرک است. در این پژوهش یک الگوریتم مسیریابی بر اساس الگوریتم انتشار هدایت شده پیشنهاد می‌شود که در آن از گره‌های سینک متحرک پشتیبانی می‌شود. الگوریتم پیشنهادی از دو فاز کلی تشکیل شده است که در فاز اول سعی بر آنست که مسیر تشکیل شده به سمت مکان قبلی گره سینک به نحوی امتداد یابد که به محل فعلی گره سینک برسد. در فاز دوم اجرای الگوریتم، مسیر جدیدی از منابع به سمت مکان فعلی گره سینک تشکیل می‌شود

ادامه این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است. در بخش ۲ به مرور کارهای مرتبط می‌پردازیم و در بخش ۳، الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود. در بخش ۴ نیز الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود مقایسه شده‌اند و نتایج حاصل از شبیه سازی آنها ارائه شده است. در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آتی آورده شده است.

۲- کارهای مرتبط

الگوریتم انتشار هدایت شده یکی از پرکاربردترین و محبوب‌ترین روش‌های مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد، به دلیل همین عمومیت، روش‌های گوناگونی جهت بهبود عملکرد این الگوریتم ارائه شده اند که می‌توان از میان آنها به روش انتشار بیرون دهنده برای کاربردهایی که در آنها تعداد گیرنده‌ها زیاد است و داده‌های تولید شده نیز حجم بالایی ندارد، اشاره کرد یا روش انتشار جذب یک مرحله‌ای (در مقابل روش اصلی که جذب دو مرحله‌ای هم نامیده می‌شود) که در این روش، منابع پس از دریافت علاقه‌مندی منطبق با داده‌هایشان، مستقیماً پیغام‌های داده را به سمت گیرنده ارسال می‌کنند. همچنین روش‌هایی برای تقسیم کردن شبکه به خوشه‌های کوچکتر پیشنهاد شده است مانند روش LEACH که یک روش سلسله مراتبی فعال است ولی از روش انتشار هدایت شده بهره نمی‌برد [3].

در این روش برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از خالی شدن سریع باتری گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند، از الگوریتمی جهت پراکندن آنها در سطح شبکه به صورت تصادفی، پیشنهاد شده است. در این روش گره‌ها خودشان و بدون نیاز به ارتباط با گره‌های دیگر، تعیین می‌کنند که در ابتدای هر دور به عنوان سرخوشه فعالیت کنند یا خیر. سپس گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند این موضوع را به گره‌های اطراف خود اطلاع می‌دهند و گره‌های اطراف نیز با دریافت پیغام سرخوشه‌ها، گره‌ای را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند که بیشترین قدرت سیگنال را از آن دریافت کنند. سپس در داخل هر خوشه برای جلوگیری از تداخل بین سیگنال‌های خوشه‌های مجاور از روش CDMA استفاده می‌شود.

همچنین روشی به نام GEAR [4] جهت بهبود عملکرد روش انتشار هدایت شده پیشنهاد شده است که در این روش، به جای انتشار علاقه‌مندی‌ها به صورت سیل‌آسا، از محتویات آنها جهت انتشارشان استفاده

می‌کنیم و علاقه‌مندی‌ها تنها در ناحیه مورد نظر، انتشار می‌یابند. همچنین به کمک این روش، منابع موجود، در مسیریابی تأثیر داده می‌شوند تا استفاده از منابع به صورت بهینه‌تری صورت پذیرد.

مطالعات موجود بر روی مسأله پشتیبانی از سینک متحرک اکثراً بر روی افزایش طول عمر شبکه متمرکز شده اند. در حالت کلی می‌توان مسأله حرکت گره سینک را در سه دسته، طبقه بندی کرد. الف: حرکت کاملاً تصادفی^۵ گره سینک، ب: حرکت قابل پیش بینی^۶ گره سینک و ج: حرکت قابل کنترل^۷ گره سینک.

در [5] نویسندگان یک معماری بر اساس حرکت تصادفی گره سینک ارائه داده اند که این معماری را MULE^۸ نام نهاده اند و می‌تواند اطلاعات را از گره‌های حسگر در یک شبکه حسگر خلوت جمع آوری کند. به همین ترتیب در [6] یک معماری دیگر با عنوان SENMA^۹ برای شبکه‌های حسگر با تراکم بالا ارائه شده است، در این معماری اطلاعات جمع آوری شده از حسگرها مستقیماً برای گره عامل^{۱۰} ارسال می‌شود که این گره عامل در حال پرواز بر فراز شبکه حسگر می‌باشد. در [7] نیز یک مدل حرکتی تصادفی برای گره سینک بر اساس پارامترهای تأخیر و نرخ از بین رفته بسته‌ها در نظر گرفته شده است.

در [8] یک راهکار برای حرکت قابل پیش بینی گره سینک ارائه شده است. در این راهکار گره سینک (که در این مقاله ناظر^{۱۱} خوانده می‌شود)، بین مسیرهای از پیش تعریف شده حرکت می‌کند و هنگامی که به گره-های حسگر نزدیک شد، اطلاعات آنها را از طریق یک ارتباط مستقیم دریافت می‌کند. ارائه کنندگان این مقاله نشان داده اند که حرکت گره سینک در یک محدوده دایره ای شکل پوشش داده شده، باعث افزایش طول عمر شبکه و مصرف بهینه انرژی می‌شود. ایده ارائه شده در این راهکار تفاوت‌های بسیار زیادی با سایر راهکارهای که در آنها ارتباط بین گره‌های حسگر و گره سینک چندگانه می‌باشد دارد.

در مقابل این روش‌ها، روش‌هایی نیز وجود دارند که در آنها گره سینک به صورت کاملاً کنترل شده حرکت می‌کند. در AIMMS^{۱۲} که در [9,10] ارائه شده است، یک سرویس دهنده کوچک متحرک در شبکه و از طریق مسیرهای مشخصی حرکت می‌کند تا بتواند داده‌ها را از گره‌های حسگری که در درون شبکه قرار دارند جمع آوری و برای سینک ارسال کند. حرکت این عامل کاملاً کنترل شده است، مثلاً هنگامی که به ناحیه ای با مقدار داده زیاد و گره‌های فراوان رسید، سرعت خود را کاهش داده تا زمان بیشتری را در آن منطقه به سر ببرد.

در [11] سعی شده تا یک الگو برای حرکت گره سینک در راستای مصرف بهینه انرژی معرفی شود. نویسندگان این مقاله استدلال کرده اند که ارتباطات چندگانه در شبکه‌های حسگر باعث می‌شود که انرژی همسایه‌های گره سینک به سرعت کاسته شود، بنابراین آنها پیشنهاد کرده اند که از چندین گره سینک متحرک که هر چند وقت یک بار مکان خود را تغییر می‌دهند، استفاده شود. در این مقاله یک مدل ILP^{۱۳} برای به دست آوردن مکان بهینه گره‌های سینک ارائه شده است. از طرف دیگر

یک مدل ILP دیگر برای مشخص کردن نحوه حرکت گره سینک و مکان-های توقف آنها در [12] ارائه شده است.

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم انتشار هدایت شده با گره سینک متحرک از دو فاز کلی تشکیل شده است که در فاز اول سعی بر آنست که مسیر تشکیل شده به سمت مکان قبلی گره سینک به نحوی امتداد یابد که به محل فعلی گره سینک برسد. در فاز دوم اجرای الگوریتم، مسیر جدیدی از منابع به سمت مکان فعلی گره سینک تشکیل می‌شود. توضیح دقیق‌تر هر یک از این فازها در زیر آورده شده است.

۳-۱- فاز اول الگوریتم MSDD

در این فاز سعی بر آنست که در طول یک دوره زمانی اجرای الگوریتم انتشار هدایت شده، مسیر تشکیل شده به سمت مکان قبلی گره سینک به نحوی امتداد پیدا کند تا به محل قبلی گره سینک برسد. برای این منظور یک گره در نزدیکی گره سینک بایستی نقش گره واسط را ایفا کند که در صورت جابجایی گره سینک و گسسته شدن مسیر قبلی تشکیل شده، مسیر قبلی را گسترش دهد و تا اتصال بین گره‌های منبع و مقصد مجدداً برقرار شود.

در الگوریتم ارائه شده، گره واسط^{۱۴} (RN) آخرین گره مسیر قبل از گره سینک انتخاب می‌شود. نحوه انتخاب گره مسیر به این صورت است که بسته‌های تقویت کننده مثبت در الگوریتم انتشار هدایت شده بر حسب گام زده می‌شوند و گره‌هایی که دارای فاصله یک گام از گره سینک باشند علامت گذاری می‌شوند و در فاز ارسال داده‌ها اگر داده جدیدی به یک گره علامت‌گذاری شده برسد، این گره به عنوان گره واسط جدید در نظر گرفته خواهد شد.

همانطور که در بالا اشاره شد، وظیفه گره واسط، بررسی در دسترس بودن گره سینک می‌باشد و همچنین این گره بایستی در صورتی که گره سینک از برد ارسال خارج شد، مسیری به سمت مکان فعلی گره سینک تشکیل دهد. گره واسط این کار را به وسیله ارسال داده‌های اکتشافی به صورت سیل آسا با حداکثر تعداد گام محدود شده برابر با دو گام به صورت متناوب و در بازه‌های زمانی نسبتاً کوتاه انجام می‌دهد به صورتی که اطمینان یابد در طول یک بازه زمانی، گره سینک در فاصله‌ای بیشتر از دو گام از گره سینک قرار نگیرد. این بازه بایستی با توجه به حداکثر سرعت گره سینک و برد ارسال و دریافت گره‌های حسگر انتخاب شود.

با ارسال بسته داده اکتشافی توسط گره واسط، گره سینک این بسته را دریافت می‌کند و یک بسته تقویت کننده مثبت به سمت گره فرستنده ارسال می‌کند. اگر این بسته که با تعداد گام برحسب گذاری شده است تنها با یک گام به گره واسط برسد نشان دهنده این موضوع است که گره سینک همچنان در برد گره واسط قرار دارد ولی اگر این بسته در دو گام به گره واسط برسد نشان دهنده این موضوع است که گره سینک از برد گره واسط خارج شده است و بایستی گره جدیدی که در برد گره سینک باشد،

به عنوان گره واسط جدید انتخاب شود. در این مرحله گره واسط جدید گره‌ای است که بسته تقویت کننده مثبت ارسال شده توسط گره سینک را در یک گام دریافت کند و همچنین گره واسط قبلی که این بسته را در دو گام دریافت کرده است از نقش گره واسط خارج شده و به عنوان یکی از گره‌های مسیر عمل خواهد کرد و از این پس بررسی حضور گره سینک در برد گره واسط بر عهده گره واسط جدید خواهد بود.

در **Error! Reference source not found.** نحوه انتخاب و جابجایی گره واسط (RN) نشان داده شده است. در قسمت (A) مسیر تشکیل شده از گره منبع (Src) به گره مقصد (Sink) نشان داده شده است که در آن، آخرین گره مسیر به عنوان گره RN انتخاب شده است. در قسمت (B) نحوه انتشار داده‌های اکتشافی به اندازه دو گام نشان داده شده است. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، گره‌های با فاصله یک گام از گره واسط، بسته داده اکتشافی را در اولین گام (e1) و گره‌های با فاصله دو گام، این بسته را در مرحله دوم (e2) دریافت می‌کنند.

همانطور که در قسمت (C) مشاهده می‌شود در صورتی که گره مقصد، بسته داده اکتشافی را در دو گام دریافت کند گره دریافت کننده بسته تقویت کننده مثبت در گام اول به عنوان گره واسط جدید انتخاب خواهد شد و گره دریافت کننده بسته تقویت کننده در گام دوم (گره A) که گره واسط در دوره قبلی بوده به عنوان یک گره مسیر در نظر گرفته خواهد شد و به این ترتیب مسیر جدید در جهت حرکت گره مقصد توسعه خواهد یافت.

۳-۲- فاز دوم الگوریتم MSDD

با حرکت گره سینک و امتداد یافتن مسیر به سمت آن با روشی که در فاز اول الگوریتم معرفی شد، مسیر به صورت گام به گام امتداد خواهد یافت و مسیر تشکیل شده، مسیر مناسبی نخواهد بود و حتی در صورتی که گره سینک به سمت گره منبع حرکت کند، طول مسیر همچنان در هر گام افزایش خواهد یافت. به منظور بهبود کیفیت مسیر و تشکیل مسیری با حداقل تعداد گام‌های ممکن فاز دوم الگوریتم ارائه شده، معرفی می‌شود.

در این فاز در طول بازه زمانی کوتاه‌تری نسبت به دوره اجرای الگوریتم انتشار هدایت شده مسیر جدیدی از منابع به سمت گره سینک تشکیل خواهد شد. برای تشکیل مسیر از اطلاعات داده‌های اکتشافی منتشر شده در ابتدای دوره الگوریتم انتشار هدایت شده در گره استفاده می‌شود و دیگر نیازی به ارسال مجدد داده‌های اکتشافی در کل گره‌های شبکه نیست که موجب می‌شود که سربار تشکیل مسیر جدید به نحوه قابل توجهی کاهش یابد.

برای تشکیل مسیر جدید، گره سینک هر ۱۰ ثانیه یک بسته تقویت کننده مثبت را به صورت همه‌پخشی^{۱۵} به گره‌های همسایه‌اش ارسال می‌کند. گره‌های همسایه هر یک از طریق گرادیان‌های تشکیل شده خود، این بسته را به گره منبع می‌رسانند. البته در هر گره تنها اولین بسته تقویت کننده مثبت دریافت می‌شود و از بسته‌های تکراری صرف‌نظر می‌شود. با رسیدن بسته تقویت کننده مثبت به گره منبع، داده‌های از این

۴-۱-۱- مدل انرژی

در شبیه‌سازی ns، از پروتکل ۸۰۲،۱۱ جهت شبیه‌سازی سناریوهای بیسیم استفاده می‌گردد. مدل انرژی و پارامترهای ۸۰۲،۱۱ در شبیه‌سازی MSDD مطابق با کد اصلی DD در نظر گرفته شده‌اند و میزان انرژی مورد نیاز برای دریافت و ارسال مطابق با به ترتیب برابر با ۰،۶۶۰ وات برای ارسال و ۰،۳۹۵ وات برای دریافت داده‌ها در نظر گرفته شده است که مطابق با انرژی مصرفی در کارت PCM-CIA WLAN معرفی شده در ns2 است.

۴-۱-۲- سناریوهای شبیه‌سازی

در این مقاله الگوریتم انتشار هدایت شده (DD) با الگوریتم MSDD مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. برای مقایسه دقیق‌تر بین این دو الگوریتم، الگوریتم ارائه شده در این مقاله در سه حالت MBS1 (اجرای فاز اول الگوریتم)، MBS2 (اجرای فاز دوم الگوریتم بدون در نظر گرفتن فاز اول) و نهایتاً MBS12 که پیاده‌سازی کامل الگوریتم MSDD می‌باشد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده، از سه نوع سناریو استفاده شده است. در این سناریوها درصد تعداد بسته‌های دریافت شده در گره مقصد و تاخیر متوسط بسته‌های ارسال شده به عنوان پارامترهای مورد ارزیابی در نظر گرفته شده‌اند.

در سناریوی اول تعداد منابع از یک منبع تا سه منبع در نظر گرفته شده‌اند و اثر افزایش تعداد مسیرها بر روی کارایی مسیریابی و افزایش تاخیر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در سناریوی دوم، یک مسیر رفت و برگشت برای حرکت گره سینک در نظر گرفته شده است که در آن، گره سینک از مکانی نزدیک گره منبع شروع به حرکت کرده و از آن دور می‌شود و در فاصله معینی توقف کرده و پس از گذشت مدت زمانی دوباره به سمت گره سینک حرکت خواهد کرد. این سناریو برای سرعت‌های ۱۰ متر الی ۵۰ متر بر ثانیه برای گره سینک شبیه‌سازی شده است. نهایتاً در سناریوی سوم گره سینک از گره منبع با سرعت ثابت شروع به دور شدن می‌کند که این سناریو بدترین حالت ممکن برای حفظ کردن ارتباط بین گره منبع و مقصد است. این سناریو هم به ازای سرعت‌های متفاوت گره سینک شبیه‌سازی شده است.

پارامترهای شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵-۱: پارامترهای شبیه‌سازی

سناریو	اندازه شبکه	فاصله متوسط بین گره‌ها	سرعت حرکت گره سینک	تعداد منابع گره‌ها	انرژی اولیه	زمان شبیه‌سازی	ترخ ارسال منابع
سناریوی ۱	۱۰ × ۱۰	۱۰۰ متر	۱۰ m/s	۱ الی ۳	۲۵ ژول	۱۵۰ ثانیه	۵ بسته در ثانیه
سناریوی ۲	۱۰ × ۲۰	۱۰۰ متر	۱۰ الی m/s	۲۵ ژول	۱۵۰ ثانیه	۵ بسته در ثانیه	
سناریوی ۳	۱۰ × ۳۰	۱۰۰ متر	۱۰ الی m/s	۲۵ ژول	۱۵۰ ثانیه	۵ بسته در ثانیه	

به بعد از مسیر جدید که به احتمال زیاد (بسته به الگوری حرکتی گره سینک) نسبت به مسیر قبلی، تعداد گام‌های کمتری خواهد داشت، به گره سینک ارسال می‌شوند. همچنین به روش ارائه شده در فاز اول، در این فاز آخرین گره مسیر قبل از گره سینک به عنوان گره واسط جدید انتخاب خواهد شد.

در **Error! Reference source not found.** نحوه تشکیل مسیر جدید در فاز دوم الگوریتم MSDD نشان داده شده است. در قسمت (A) مسیر تشکیل شده از گره منبع به سمت تمامی گره‌های شبکه در فاز دوم الگوریتم انتشار هدایت شده با بر چسب (e) نشان داده شده است. همانطور که می‌دانیم، در الگوریتم انتشار هدایت شده، بسته‌های داده‌های اکتشافی در جهت خلاف جهت انتشار بسته‌های داده اکتشافی به سمت گره منبع منتشر می‌شوند. در قسمت (B) در **Error! Reference source not found.** نحوه ارسال بسته تقویت کننده مثبت توسط گره مقصد و نحوه ارسال این بسته‌ها توسط گره‌های شبکه به گره منبع نشان داده شده است. مشابه الگوریتم انتشار هدایت شده، اولین بسته تقویت کننده مثبت که در گره منبع دریافت شده است مسیر جدید بسته‌های داده را تعیین خواهد کرد و در این مسیر اولین گره قبل از گره سینک، نقش گره واسط را خواهد داشت.

در این فاز اگر مسیر جدیدی تشکیل نشود مسیر قبلی از طریق روش مطرح شده در فاز اول الگوریتم ادامه خواهد یافت. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود مسیر جدید تشکیل شده در این فاز نسبت به مسیر قبلی طول کمتری دارد.

۴- شبیه‌سازی

در این بخش، به بیان نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده می‌پردازیم. در این آزمایش‌ها الگوریتم پیشنهادی در سناریوهای مختلفی با الگوریتم DD مقایسه می‌شود. برای مقایسه دقیق‌تر بین این دو الگوریتم، الگوریتم ارائه شده در این مقاله در سه حالت MBS1 (اجرای فاز اول الگوریتم)، MBS2 (اجرای فاز دوم الگوریتم بدون در نظر گرفتن فاز اول) و نهایتاً MBS12 که پیاده‌سازی کامل الگوریتم MSDD می‌باشد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱- بستر شبیه‌سازی

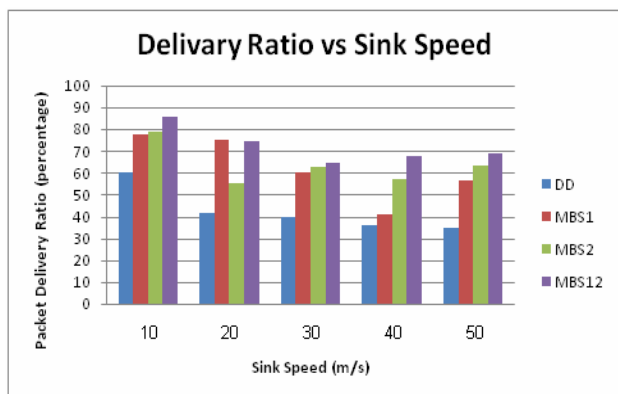
برای پیاده‌سازی الگوریتم از کد diffusion 3.20 که همراه بسته نرم‌افزاری ns 2.33 عرضه شده، استفاده شده است [14]. در این بسته دو نسخه از الگوریتم انتشار هدایت شده وجود دارد که عبارتند از diffusion و diffusion3. نسخه diffusion، پیاده‌سازی ساده شده الگوریتم می‌باشد و جزئیات کمتری را در بر می‌گیرد. در الگوریتم MSDD از فیلتر Two-Phase Pull در diffusion3 استفاده شده است که در آن نسخه کامل الگوریتم diffusion 3.20 پیاده‌سازی شده است.

۲-۴- نتایج شبیه‌سازی

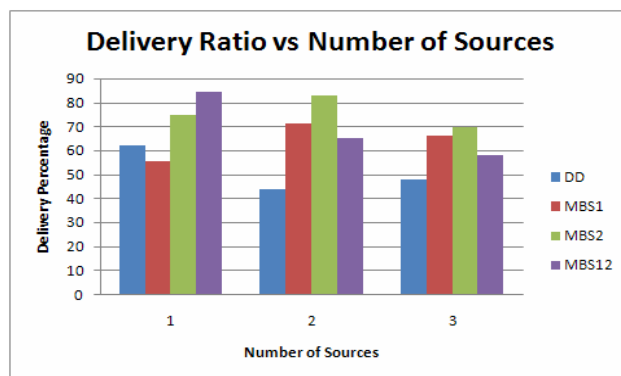
در این بخش نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی ارائه می‌شوند.

۱-۲-۴- سناریوی اول

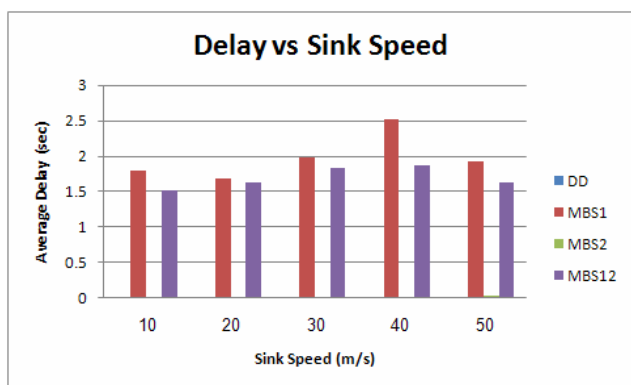
در این سناریو در ۱-۵، تاخیر متوسط بسته‌های دریافتی با افزایش تعداد منابع مورد ارزیابی قرار گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود، درصد بسته‌های دریافتی با افزایش تعداد منابع کاهش خواهد یافت که این کاهش بازدهی به دلیل افزایش احتمال پدیده تصادم است. طبق این سناریو الگوریتم MBS12 به ازای یک منبع و الگوریتم MBS2 به ازای تعداد منابع بیشتر، کارایی بیشتری نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی دارند.



شکل ۳-۵: ارزیابی درصد بسته‌های دریافت شده در گره مقصد به سرعت گره



شکل ۱-۵: درصد دریافت بسته‌ها با افزایش تعداد منابع

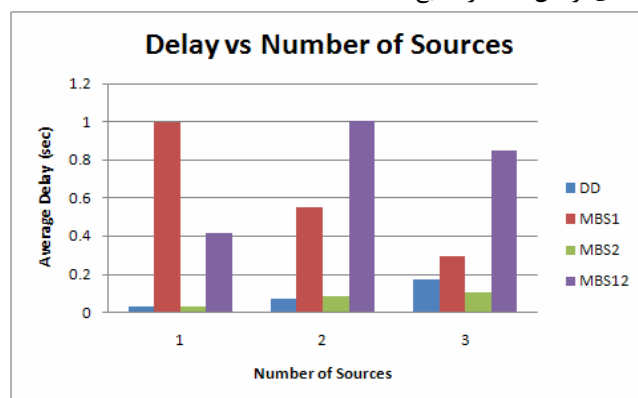


شکل ۴-۵: ارزیابی نسبت تاخیر بسته‌های دریافت شده به سرعت گره سینک

۳-۲-۴- سناریوی سوم

در این سناریو گره مقصد از نزدیکی گره سینک شروع به حرکت کرده و با سرعت ثابت از آن دور می‌شود. از آنجایی که در این سناریو، سینک دائماً در حال دور شدن از گره منبع می‌باشد، در سرعت‌های بالاتر از ۱۰ متر بر ثانیه، درصد بسته‌های دریافت شده زیر ۲۰ درصد است. همانطور که در شکل ۵-۵ مشاهده می‌شود الگوریتم MBS12 نسبت به سایر روش‌ها، خصوصاً در سرعت‌های بالاتر کارایی بالاتری خواهد داشت.

در شکل ۲-۵ میزان تاخیر متوسط بسته‌های دریافتی در مقصد برای الگوریتم‌های مورد نظر، مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، الگوریتم‌های MBS1 و MBS12 نسبت به سایر روش‌ها، تاخیر بیشتری دارند که این تاخیر، ناشی از تصادم بین داده‌های اکتشافی منتشر شده توسط گره‌های واسط در این دو روش با بسته‌های داده‌های ارسال شده از منابع است.

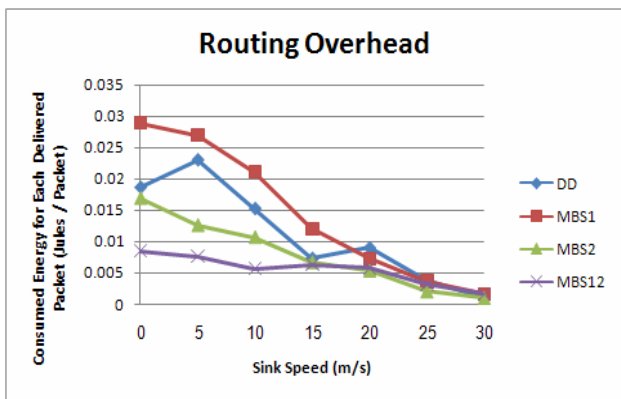


شکل ۲-۵: ارزیابی تاخیر متوسط بسته‌های دریافتی با افزایش تعداد منابع

۲-۲-۴- سناریوی دوم

در این سناریو، تعداد بسته‌های دریافت شده در گره مقصد و تاخیر متوسط بسته‌های دریافت شده در گره مقصد با تغییر سرعت گره سینک

همچنین شکل ۵-۸ معیار مناسبی از میزان مصرف انرژی مفید گره‌های شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل، میزان انرژی مصرف شده جهت هر بسته دریافت شده در گره سینک در فرآیند مسیریابی نشان داده شده است. با توجه به این شکل در می‌یابیم که روش MBS12 نسبت به سایر روش‌های پیشنهادی در این سناریو از لحاظ مصرف انرژی، کارایی بالاتری دارد.



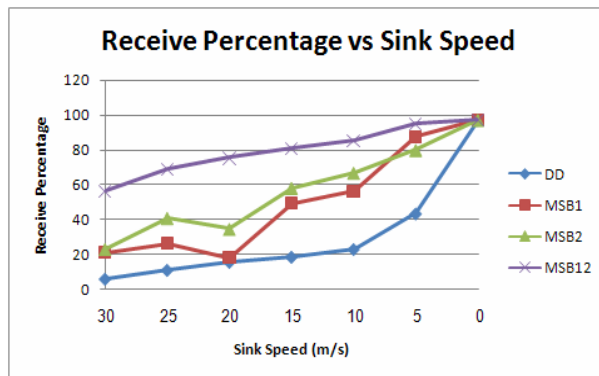
شکل ۵-۸: بررسی سربار مسیریابی بوسیله میزان متوسط انرژی مصرف شده برای هر بسته

۵- نتیجه گیری

یکی از مهمترین مسائل مطرح برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم مسئله موازنه بار و مصرف انرژی در بین گره‌های موجود در شبکه است. استفاده از گره سینک ثابت در این نوع شبکه‌ها باعث می‌شود انرژی گره‌های اطراف گره سینک به سرعت مصرف شود. علاوه بر گره‌های اطراف سینک، گره‌هایی که در راستای مسیرهای پرتراфик قرار دارند نیز به زودی انرژی خود را از دست خواهند داد، به گونه‌ای که پس از مدتی شبکه دو یا چند پاره خواهد شد. در این حالت استفاده از گره سینک متحرک بسیار موثر خواهد بود.

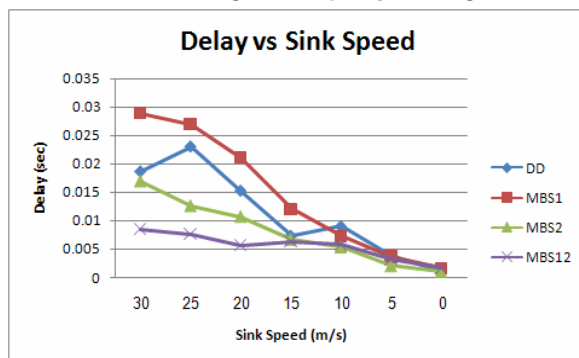
در این پژوهش یک الگوریتم مسیریابی برای پشتیبانی از گره سینک متحرک بر اساس الگوریتم انتشار هدایت شده ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی دارای دو فاز می‌باشد که در فاز اول سعی بر آنست که در طول یک دوره زمانی اجرای الگوریتم انتشار هدایت شده، مسیر تشکیل شده به سمت مکان قبلی گره سینک به نحوی امتداد پیدا کند تا به محل قبلی گره سینک برسد و یک گره در نزدیکی گره سینک بایستی نقش گره واسط را ایفا کند. در فاز دوم اجرای الگوریتم، مسیر جدیدی از منابع به سمت مکان فعلی گره سینک تشکیل می‌شود.

برای ارزیابی ایده پیشنهادی، ما آن را در سه حالت با الگوریتم پایه انتشار هدایت شده مقایسه کرده ایم که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی بهبودهای قابل توجهی در پارامترهای درصد بسته‌های دریافت شده در مقصد و طول عمر گره‌های شبکه نشان می‌دهند.



شکل ۵-۵: ارزیابی درصد بسته‌های دریافت شده در گره مقصد به سرعت گره سینک

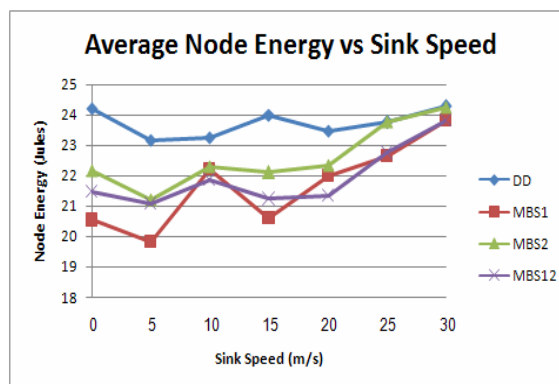
همچنین در سرعت‌های بالاتر در این سناریو روش MBS12 نسبت به سایر روش‌ها در سرعت‌های بالاتر از ۱۰ متر در ثانیه، تاخیر کمتری خواهد داشت، که این مساله در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.



شکل ۵-۶: ارزیابی نسبت تاخیر بسته‌های دریافت شده به سرعت گره سینک

۴-۲-۴- سربار الگوریتم

در شکل ۵-۷ میزان انرژی متوسط گره‌های شبکه پس از ۱۵۰ ثانیه، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، سربار مسیریابی در بدترین حالت نسبت به الگوریتم انتشار هدایت شده کمتر از ۱۴ درصد می‌باشد.



شکل ۵-۷: میزان انرژی متوسط باقیمانده در گره‌های شبکه بعد از ۱۵۰ ثانیه

- [13] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, D. Estrin. "Highly Resilient Energy-efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of ACM MOBIHOC*, pp 251--253, 2001.
- [14] ns-2.33 network simulator.
- [15] Handziski, A. K'opke, H. Karl, C. Frank, W. Drytkiewicz, "Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering," *European Workshop on Wireless Sensor Networks 2004 (EWSN 2004)*, pp. 172–187, 2004.

زیر نویس ها

-
- 1 Wireless sensor network
 - 2 Flooding
 - 3 Positive Reinforcement
 - 4 Data-Centric
 - 5 Random
 - 6 Predictable
 - 7 Controlled mobility
 - 8 Mobile Ubiquitous LAN Extensions.
 - 9 SEnsor Networks with Mobile Agents
 - 10 Agent
 - 11 Observer
 - 12 Autonomous Intelligent Mobile Micro-server
 - 13 Integer Linear Programming
 - 14 Relay Node
 - 15 Broadcast

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," In *Proceedings of Computer Networks*, 2002, pp.393-422.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," *ACM/IEEE Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, 2002.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks (LEACH)," *Proceedings of 33rd hawaii international conference systems science - vol.8*, pp 3005-3014, January 2004.
- [4] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," *UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023*, May 2001.
- [5] S. J. Rahul C. Shah, Sumit Roy and W. Brunette, "Data MULEs: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks," in *Proc., IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA)*, Anchorage, alaska, USA, May 2003, pp. 30–41.
- [6] L. Tong, Q. Zhao, and S. Adireddy, "Sensor networks with mobile agents," in *Proc., IEEE MILCOM 2003*, vol. 22, no. 1, Boston, MA, USA, Oct. 2003, pp. 688–693.
- [7] S. Jain, R. C. Shah, G. Borriello, W. Brunette, and S. Roy, "Exploiting mobility for energy efficient data collection in sensor networks," in *Proc., 2nd IEEE/ACM Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt)*, Cambridge, UK, Mar. 2004.
- [8] A. Chakrabarti, A. Sabharwal, and B. Aazhang, "Using predictable observer mobility for power efficient design of sensor networks," in *Proc., 2nd Int. Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, Palo Alto, CA, USA, Apr. 2003, pp. 129–145, also in *Lecture Notes in Computer Science, Vol. & (NO) (2634)*, pp. 129-145.
- [9] A. Kansal, M. Rahimi, W. J. Kaiser, M. B. Srivastava, G. J. Pottie, and D. Estrin, "Controlled mobility for sustainable wireless networks," in *Proc., IEEE Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, Santa Clara, CA, Oct. 2004.
- [10] A. Kansal, A. Somasundara, D. Jea, M. B. Srivastava, and D. Estrin, "Intelligent fluid infrastructure for embedded networks," in *Proc., ACM MOBISYS 2004*, Boston, MA, USA, June 2004, pp. 111–124.
- [11] S. R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash, and S. Venkatesan, "Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile base stations," in *Proc., IEEE GLOBECOM 2003*, vol. 22, no. 1, San Francisco, CA, USA, Dec. 2003, pp. 377–381.
- [12] Z. M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis, and C. Petrioli, "Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime," in *Proc., 38th Hawaii International Conference on System Sciences*, Big Island, Hawaii, Jan. 2005.