

طراحی یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی برای کاربردهای چند سینکی در شبکه های حسگر بی سیم

نستوه طاهری جوان

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شرق
دانشکده فنی مهندسی، گروه کامپیوتر
nastoooh@aut.ac.ir

آرش نصیری اقبالی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
eghbali@aut.ac.ir

مهدی دهقان

دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
dehghan@aut.ac.ir

مطرح در این شبکه‌هاست و کارهای زیادی هم در سال‌های اخیر در این مورد صورت گرفته است [2,3,4].

به کارگیری شبکه‌های حسگر بی‌سیم در ابتدا بر اساس سناریوهای چند منبع - تک سینک^۳ بود که در آنها گره سینک داده‌های ارسال شده از جانب همه گره‌های منبع را دریافت می‌کرد، اما امروزه سناریوهایی با چندین سینک مطرح می‌شود که در ذیل به ذکر چند مورد از کاربردهای آن خواهیم پرداخت.

در شبکه‌های با مقیاس بزرگ و تعداد گره‌های زیاد وجود سینک‌های چندتایی نه تنها برای افزایش قابلیت مدیریت‌پذیری بلکه برای کاهش اتلاف انرژی در هر گره نیاز می‌باشد. در کاربردهای حساس و پر ریسک مانند استفاده از شبکه‌های حسگر در مناطق نظامی، در نظر گرفتن یک سینک به عنوان تنها دریافت کننده و جمع‌آوری کننده اطلاعات، می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلاتی در شبکه شود.

از آنجائیکه یکی از مسائل مهم و چالش برانگیز در شبکه‌های حسگر مسئله انرژی و طول عمر گره‌ها در شبکه است. بنابراین داشتن یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی می‌تواند به بهبود کارایی شبکه کمک شایانی بکند. الگوریتم [5] Directed Diffusion یکی از روش‌های مسیریابی مطرح در شبکه‌های حسگر می‌باشد که یک الگوریتم داده محور است. یکی از مهمترین عیوب این الگوریتم در هنگام مواجهه با چندین سینک نمود پیدا می‌کند. در این روش در صورتیکه سینک خاصی توسط اپراتور برای دریافت و جمع‌آوری اطلاعات مشخص نشده باشد، گره منبع داده مورد نظر را برای تمامی سینک‌ها ارسال خواهد کرد. بالطبع در این حالت علاوه بر اشغال بی‌مورد گره‌های میانی، مصرف انرژی در بین گره‌ها زیاده‌تر شده و این امر منجر به کاهش طول عمر مفید شبکه خواهد شد. نهایتاً پس از رسیدن داده‌ها به سینک‌های متعدد، خود این گره‌های سینک باید داده‌های رسیده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده بعد از هماهنگی آنها را با یکدیگر ادغام نموده و سپس داده‌های ادغام شده توسط یک سینک مشخص به اپراتور ارسال شود [6]. مصرف غیرکارآمد انرژی که در این حالت رخ می‌دهد یکی از حیاتی‌ترین خصیصه‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم (یعنی مصرف بهینه انرژی) را زیر سوال برده و باعث می‌شود که در صورت برطرف نکردن این مشکل الگوریتم مسیریابی انتشار هدایت شده در چنین وضعیتی (یک منبع و چند سینک) روش مسیریابی مناسبی نباشد. روش

چکیده: یکی از مهم‌ترین و چالش برانگیزترین مسائل در شبکه‌های حسگر مسئله انرژی و طول عمر گره‌ها است که در شبکه‌های با مقیاس بزرگ بیش از پیش نمایان می‌شود. متداول‌ترین سناریو در این شبکه‌ها، سناریوهای یک منبع - چند سینکی هستند که استفاده از یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی در این حالت کارایی شبکه را بهبود چشمگیری می‌بخشد. الگوریتم انتشار هدایت شده مطرح‌ترین روش مسیریابی در شبکه‌های حسگر می‌باشد که یک الگوریتم داده - محور است و در مواجهه با سناریوی یک منبع - چند سینک، به تعداد گره‌های سینک، مسیرهای مجزا جهت ارسال داده تشکیل می‌دهد که این امر باعث مصرف بالای انرژی و کاهش طول عمر شبکه می‌شود. در این مقاله روشی ارائه شده است که در آن با در نظر گرفتن تعداد گام‌ها و نیز انرژی گره‌های موجود بر مسیرها، مناسب‌ترین سینک از بین چندین سینک موجود انتخاب و داده‌ها برای آن ارسال می‌شوند. نتایج به دست آمده از طریق شبیه‌سازی نشان می‌دهند که این روش می‌تواند به مقدار قابل توجهی میانگین سربار مسیریابی و میزان مصرف انرژی در شبکه را کاهش داده و از طرف دیگر تعداد بسته‌های تحویل داده شده و مدت زمان برقراری اتصال را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، الگوریتم‌های مسیریابی، مسیریابی چندسینکی، بهینه‌سازی مصرف انرژی.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر رشد بسیاری را در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ شاهد بوده‌ایم. شبکه‌های حسگر شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک می‌باشند که برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند [1]. بر خلاف شبکه‌های موردی^۲ که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه‌های حسگر به نظر بیایند، گره‌ها در شبکه‌های حسگر، معمولاً فاقد آدرس‌های منحصر بفرد می‌باشند و آنچه بیشتر در این شبکه‌ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره‌ها پس از فرآیند پراکندن آنها در محیط، گره‌های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن، یکی از چالش‌های

پیشنهادی که در ادامه به بحث پیرامون آن خواهیم پرداخت برای حل این مشکل طراحی شده است.

در ادامه این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش دوم کارهای مرتبط بررسی می‌شوند، در بخش سوم الگوریتم مسیریابی پیشنهادی ارائه شده است و در فصل چهارم نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود ارائه شده است. در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آتی آورده شده است.

۲- کارهای مرتبط

الگوریتم مسیریابی انتشار هدایت شده [5,6] یکی از مهمترین روشهای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد، که از مفهوم نامگذاری داده‌ها بهره برده است و یک روش گیرنده-محور^۴ است. در این روش، داده‌ها به صورت زوجهای داده-مقدار نمایش داده می‌شوند. نحوه عملکرد این الگوریتم، به این صورت است که گره گیرنده، ابتدا یک پیغام علاقه‌مندی^۵ تولید می‌کند و آن را در طول شبکه پراکنده می‌کند. سپس گره‌های شبکه با مقایسه علاقه‌مندی دریافتی با داده‌های جمع‌آوری شده، پی می‌برند که داده درخواستی را در اختیار دارند یا خیر و در صورت در اختیار داشتن داده‌ها، یک پیغام داده اکتشافی^۶ به سمت گیرنده ارسال می‌کنند تا مسیر داده‌ها مشخص شود. با مشخص شدن مسیر، داده‌های درخواستی به سمت گیرنده ارسال می‌شوند. در این رویکرد برای تشکیل مسیر از مفهومی به نام گرادیان^۷ استفاده شده است که در هر گره هنگام عبور علاقه‌مندی‌ها تشکیل می‌شود و در آن، مشخصه علاقه‌مندی و گره همسایه‌ای که علاقه‌مندی از طریق آن دریافت شده، ذخیره می‌شود. هنگام تشکیل شدن مسیر، داده‌های اکتشافی از همین گرادیان‌ها برای تشخیص بهترین مسیر (مثلاً از طریق همسایه‌ای برای اولین بار علاقه‌مندی را به این گره ارسال کرده است) به سمت گیرنده، استفاده می‌کنند. همچنین در این الگوریتم، گیرنده از مکانیسمی به نام تقویت کردن^۸ استفاده می‌کند تا همسایه‌هایی را که سرعت جمع‌آوری داده بالاتری دارند را نسبت به سایرین در اولویت قرار دهد.

علاوه بر موارد ذکر شده، در این روش هر گره‌ای می‌تواند داده‌ها را پردازش کند و آنها را پس از ترکیب و خلاصه‌سازی، به سمت گره بعدی ارسال نماید که این امر می‌تواند تا حد زیاد از ترافیک عبوری شبکه بکاهد.

روش EDDD [7,8] روش انتشار هدایت شده را که در حالت پایه از ترافیک حساس به زمان پشتیبانی نمی‌کند، در زمینه‌های زیر بهبود می‌بخشد:

ایجاد فیلترهای بلادرنگ برای بهبود تاخیر انتها به انتها برای ترافیک بلادرنگ

ایجاد فیلترهای Best Effort برای رسیدن به یک تعادل انرژی سراسری برای افزایش طول عمر شبکه

بازیابی بلادرنگ برای جبران سریع خطای گره یا لینک برای ترافیک بلادرنگ

روش EDDD از لحاظ فراهم کردن سرویس‌های متمایز برای ترافیک‌های بلادرنگ و Best Effort، نسبت به روش انتشار هدایت شده مزیت دارد. همچنین در این روش، ترافیک بلادرنگ نسبت به روش انتشار هدایت شده با تاخیر کمتری مواجه می‌شود و طول عمر شبکه در این الگوریتم بالاتر می‌باشد. بیشتر روشهای مطرح شده برای پراکندن اطلاعات، روی مسیریابی در لایه ۳ متمرکز شده‌اند بنابراین این الگوریتم به اندازه کافی به محتوای برنامه‌های کاربردی برای فیلتر کردن یا پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای، دسترسی ندارند. در واقع می‌توان گفت بیشتر روشهای مسیریابی بر اساس به حداقل رساندن مصرف کل انرژی در شبکه طراحی شده اند و هیچ گونه تفکیکی بین کیفیت سرویس ارائه شده بین جریانهای مختلف قائل نمی‌شوند ولی الگوریتم EDDD، علاوه بر بهینه کردن توان مصرف شده در گره‌ها، به روی کیفیت سرویس ارائه شده برای جریان داده‌های مختلف نیز تاکید می‌شود.

[9] PWave یکی از روشهای مسیریابی در سناریوهای چند منبع - چند سینک است که در آن سربار کاهش یافته و طول عمر شبکه در مقایسه با روش انتشار مستقیم، افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. در این الگوریتم به هریک از گره‌ها یک پتانسیل تخصیص داده می‌شود. کمترین پتانسیل متعلق به گره سینک با مقدار صفر می‌باشد. بستر پتانسیلی ساخته شده، مقیاس پذیر، مستحکم با قابلیت پشتیبانی از سناریوهای چند سینکی می‌باشد. یکی دیگر از مزایای این الگوریتم این است که تضمین می‌دهد بسته‌ها هیچگاه داخل حلقه نمی‌افتند. البته در این روش تابع هدف رساندن بسته‌های اطلاعات به تمامی گره‌های سینک است به طوری که نیاز به ارسال بسته‌های تکراری به حداقل برسد.

همچنین روشی به نام GEAR [10] جهت بهبود عملکرد روش انتشار هدایت شده پیشنهاد شده است که در این روش، به جای انتشار علاقه‌مندی‌ها به صورت سیل آسا، 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 تاثیر داده می‌شوند تا استفاده از منابع به صورت بهینه‌تری صورت پذیرد.

۳- الگوریتم مسیریابی پیشنهادی آگاه از انرژی برای

کاربردهای چندسینکی

با توجه به مواردی که در بخش قبل مرور شد، یک روش مسیریابی باید علاوه بر توانایی پیاده‌سازی سناریوی یک گره منبع - چند گره سینک،

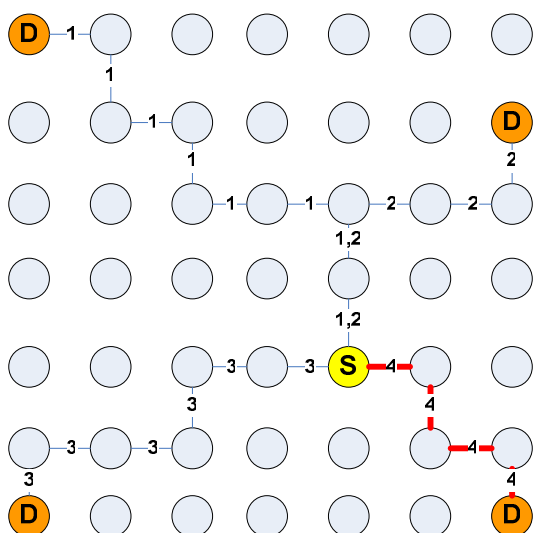
فاکتورهای مهمی مانند مصرف بهینه انرژی، طول عمر شبکه و تعادل بار ترافیکی را نیز لحاظ کند.

در روش پیشنهادی، مراحل پخش علاقه‌مندی توسط سینک در کل شبکه، پخش رویداد مقدماتی توسط منبع، تشکیل گرادیانها، تقویت مسیر توسط پیامهای تقویت و سایر جزئیات همانند الگوریتم انتشار هدایت شده می‌باشد. تفاوت اصلی در شروع مرحله ارسال داده اصلی به سینک‌ها خودنمایی می‌کند، به این صورت که برخلاف روش انتشار هدایت شده سنتی که در آن در طول تمامی مسیرهای تقویت مثبت شده به سمت گره‌های سینک، داده اصلی ارسال می‌شود، در این روش داده تنها به یکی از چندین گره سینک ارسال خواهد شد. تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام سینک می‌تواند برای ارسال داده اصلی بهینه باشد براساس شمارش تعداد گام‌ها و فاکتور انرژی صورت می‌گیرد.

در این روش بعد از برقراری مسیرها به تعداد سینک‌های موجود، تصمیم‌گیری برای انتخاب سینک مناسب با توجه به معیارهای سنجش بهینه‌ترین سینک از بین سینک‌های مختلف انجام می‌گیرد، به این صورت که هر مسیر دارای یک شناساگر مسیر (path-id) می‌باشد که این جزء شامل فاکتور تعداد گام (طول مسیر) و نیز فاکتور مهم انرژی باقیمانده می‌باشد. از بین سینک‌های موجود، سینکی برای دریافت داده‌های شبکه انتخاب خواهد شد که در حلقه اول کمترین تعداد گام را داشته باشد و نیز حداقل انرژی گره‌های موجود در مسیر آن از یک حد آستانه‌ای کمتر نباشد. مکانیزمی که برای ردیابی و بازسازی مسیرهای از بین رفته به کار رفته همان مکانیزم بکار رفته در روش انتشار هدایت شده می‌باشد (یعنی فرستادن پیامهای تقویت مثبت). البته در این حالت می‌توان پیام بازسازی مسیر را هر ۲۰ یا ۳۰ ثانیه یکبار در طول مسیر فرستاد که ما با ارزیابی این فاکتور دریافتیم که اگرچه با اعمال این قانون طول مدت زمان یک اتصال در شبکه کاهش می‌یابد ولی احتمال از دست رفتن بسته‌ها کم‌تر خواهد شد. در شکل ۱ نمونه‌ای از نحوه انتخاب مسیر بر اساس کمترین تعداد گام نشان داده شده است. در این شکل گره S، گره منبع و گره‌های D مشخص کننده گره‌های سینک می‌باشند. همچنین در این شکل شناسه مسیر بر روی هر مسیر مشخص شده است. همانطور که در شکل مشخص است، در این الگوریتم هر مسیر می‌تواند چندین شناسه داشته باشد که به صورت لیستی در داخل هر گره ذخیره می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی جهت شمارش تعداد گام یک فیلد به بسته‌های تقویت کننده مثبت افزوده می‌شود. بنابراین بسته تقویت کننده مثبت در جهت حرکت خود از گره سینک تا گره مبدا تعداد گام را شمارش کرده و به اطلاع مبدا می‌رساند. از طرف دیگر جهت اندازه‌گیری حداقل انرژی گره‌های موجود بر روی یک مسیر، یک فیلد داده‌ای جدید به بسته‌های تقویت کننده مثبت اضافه می‌شود، به این ترتیب که گره‌های میانی پس از دریافت این بسته، در صورتی که انرژی باقیمانده آنها از

مقدار درج شده در این بسته کمتر باشد، انرژی باقیمانده خود را در این فیلد ثبت می‌کنند. به این ترتیب گره مبدا می‌تواند به حداقل انرژی موجود در گره‌های یک مسیر پی ببرد.



شکل (۱) نحوه انتخاب مسیر بر اساس کمترین تعداد گام

شبه کد الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل روال کار الگوریتم و نحوه تصمیم‌گیری و عملکرد گره مبدا نشان داده شده است.

۴- شبیه‌سازی

در این بخش نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، ارائه می‌شوند. برای این منظور الگوریتم‌های زیر شبیه‌سازی شده اند انتشار هدایت شونده، که با عنوان DD در شکل‌ها و نمودارها آورده شده است.

الگوریتم چند سینکی پیشنهادی که با عنوان MSDD¹⁰ در شکل‌ها و نمودارها آورده شده است.

۴-۱- متدولوژی شبیه‌سازی

طراحی و چینش یک محیط برای شبیه‌سازی جهت ارزیابی کارایی شبکه‌های سنسور با مشکلات و مسائل تجربی و مفهومی بسیاری مواجه است. در این قسمت انتخابهای صورت گرفته و راه‌کارهای استفاده شده جهت شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود.

نسخه پروتکل

ما جهت شبیه‌سازی از نسخه پایه الگوریتم انتشار هدایت شده (DD) که همراه شبیه‌سازی [11] NS-2.31 ارائه می‌شود، استفاده کرده‌ایم. در شبیه‌سازی از Diffusion3 که کامل‌ترین پیاده‌سازی از DD می‌باشد [12] و قابلیت ارزیابی واقعی تری در اختیار می‌گذارد، استفاده شده است.

```

[Source Node]
if (INTEREST packet received) {
    if (new packet_source) {
        insert packet_source to the path_list
    }
    if (new INTEREST packet is received) {
        broadcast EXPLORATORY DATA packet
    }
}
if (POSITIVE REINFORCEMENT packet received) {
    update base_station_hop_count and base_station_time_stamp and path_energy
    in the path_list (within the packet_source record)
}
On (send DATA packet) {
    Select the path with minimum hop_count with path_energy > energy_threshold
    and current_time - time_stamp > refresh_threshold
    if (energy of all paths in the path_list falls below energy_threshold) {
        select path with minimum hop_count and current_time - time_stamp >
        refresh_threshold
    }
}
[Sink Node]
after receiving EXPLORATORY DATA packet, send POSITIVE REINFORCEMENT
packet to the source node each refresh_period

```

شکل (۲) شبه کد الگوریتم پیشنهادی

سناریوی دوم یک گره منبع به همراه پنج گره سینک قرار داده شده- است. در هر سناریو پارامترهای زیر ارزیابی شده‌اند:

- حداقل، میانگین و حداکثر انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه.
- طول دوره و مدت زمان هر اتصال.
- نرخ از بین رفتن بسته‌ها.
- سربار مسیریابی.
- تعداد بسته‌های تحویل شده به مقصد.
- میانگین تاخیر انتها به انتها.

برای بررسی و اندازه‌گیری انرژی مصرف شده در گره‌ها، هر اجرای شبیه‌سازی 400 ثانیه در نظر گرفته شد که در این بازه انرژی تک تک گره‌ها هر 25 ثانیه اندازه‌گیری شده‌است. برای محاسبه سربار مسیریابی و نرخ از بین رفتن بسته‌ها نیز در طول کل زمان هر شبیه‌سازی، این پارامترها اندازه‌گیری شده‌اند. جهت اندازه‌گیری مدت زمان هر اتصال بین گره‌ها، انرژی اولیه گره‌ها برابر 5 ژول در نظر گرفته شده‌اند تا بتوان به طور دقیق طول دوره هر اتصال را اندازه‌گیری کرد.

از طرفی جهت بارزتر شدن تاثیر انتخاب کوتاه‌ترین مسیر توسط الگوریتم پیشنهادی، دو سناریوی جداگانه اجرا شده‌اند. در سناریوی اول، مبدا کوتاه‌ترین مسیر را به سمت سینک انتخاب می‌کند و در

مدل بار

در الگوریتم پایه DD بسته‌های علاقمندی هر 30 ثانیه و داده اکتشافی هر 50 ثانیه به صورت سیل آسا پخش می‌شوند. ما در این شبیه‌سازی از همین مقادیر پیش فرض استفاده کرده ایم. ترافیک استفاده شده در این شبیه‌سازی، ترافیک Ping با نرخ 2 بسته در هر ثانیه می‌باشد.

مدل انرژی

در DD پایه، از پروتکل IEEE 802.11 برای لایه کنترل دسترسی به واسطه (MAC) استفاده شده است که ما نیز جهت سازگاری از همین پروتکل در لایه MAC استفاده کرده‌ایم. همچنین برای گره‌ها از کارت PCM-CIA WLAN در شبیه‌ساز NS-2 استفاده شده‌است. این کارت برای ارسال 0.660 وات و برای دریافت 0.395 وات انرژی مصرف می‌کند. در نهایت برد هر گره به طور ثابت و برابر 200 متر و همه اتصالاتها دو طرفه در نظر گرفته شده‌است.

سناریوهای شبیه سازی

برای شبیه‌سازی از یک شبکه گرید با اندازه 20*20 گره استفاده شده- است که در این حالت فاصله دو گره مجاور 100 متر در نظر گرفته شده‌است. برای بررسی و تحلیل تاثیر تعداد گره‌های سینک بر کارایی الگوریتم‌ها، مصرف انرژی در دو سناریوی جداگانه اندازه‌گیری شده- است. در سناریوی اول، یک گره منبع به همراه دو گره سینک و در

سناریوی دوم، مبدا به مسیر تصادفی را تا سینک انتخاب می‌کند. البته در این سناریوها تاثیر افزایش سینک‌ها نیز با اعمال دو سینک و پنج سینک بررسی شده‌است.

محاسبه انرژی

برای بررسی راندمان مصرف انرژی در الگوریتم‌ها، همه سناریوهای مطرح شده در این بخش در نظر گرفته شده‌اند، با این توضیح که انرژی اولیه تک تک گرّه‌ها 5 ژول در نظر گرفته شده‌است. در سناریوهای ما گرّه مبدا به طور منظم و متناوب و با نرخ دو بسته در هر ثانیه شروع به ارسال بسته‌های Ping به سمت سینک می‌کند و در طول 400 ثانیه هر شبیه‌سازی، هر 25 ثانیه یک‌بار انرژی همه گرّه‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

محاسبه مدت زمان یک اتصال

برای بررسی راندمان مصرف انرژی و تاثیر توزیع بار بر روی مدت زمان اتصال‌ها، همه سناریوهای مطرح شده در این بخش، در نظر گرفته شده‌اند و تاثیر افزایش تعداد سینک‌ها از دو سینک به پنج سینک بررسی و تحلیل شده‌اند. در سناریوهای ما گرّه مبدا شروع به ارسال بسته‌های Ping به سمت گرّه سینک می‌کند و این کار را به طور منظم تا زمانی تکرار می‌کند که انرژی گرّه‌ها به اتمام رسیده، مسیر موجود شکسته شده و در نتیجه اتصال خاتمه یابد. مدت زمان بین لحظه شروع ارسال بسته‌ها تا لحظه شکستن مسیر به خاطر اتمام انرژی گرّه‌ها، مدت زمان یک اتصال در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه سربار مسیریابی

برای محاسبه و مقایسه سربار مسیریابی در الگوریتم‌های مورد ارزیابی، همه سناریوهای مطرح شده در این بخش اجرا شده و تعداد بسته‌های غیر داده در طول کل زمان شبیه‌سازی شمارش می‌شوند. سپس جهت محاسبه سربار، تعداد این بسته‌های غیر داده، بر تعداد بسته‌های داده‌ای که تحویل مقصد شده‌اند، تقسیم می‌شود. کسر حاصل را به عنوان سربار مسیریابی در نظر می‌گیریم.

محاسبه نرخ از بین رفتن بسته‌ها

برای محاسبه نرخ از بین رفتن بسته‌ها، تعداد کل بسته‌های از دست رفته را بر تعداد کل بسته‌های ارسال شده تقسیم می‌کنیم. در این محاسبه هم بسته‌های داده و هم بسته‌های غیر داده لحاظ می‌شوند.

محاسبه میانگین تاخیر انتها به انتها

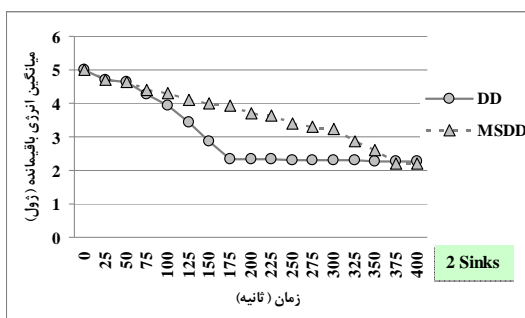
برای محاسبه میانگین تاخیر انتها به انتها، فاصله زمانی مابین ارسال اطلاعات از مبدا تا دریافت اطلاعات در سینک به ازای همه بسته‌های داده اندازه‌گیری شده و میانگین آنها محاسبه شده‌است.

۴-۲-۴ نتایج شبیه سازی

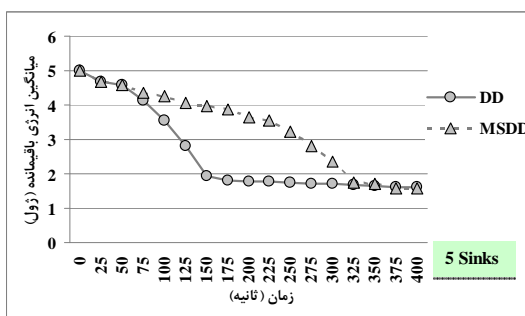
در این قسمت نتایج به دست آمده از شبیه سازی ارائه می‌شوند.

۴-۲-۱- میانگین انرژی باقیمانده در گرّه‌ها

همانطور که قبلاً گفته شد یکی از اهداف اصلی الگوریتم پیشنهادی ما، کاهش میزان مصرف انرژی در گرّه‌ها بود. بنابراین یکی از فاکتورهای که ما مورد ارزیابی قرار داده ایم میانگین انرژی باقیمانده در گرّه‌ها است. در این بخش از ارزیابی ما تعداد سینک‌ها را یک بار ۲ (برای شکل ۳) و یک بار ۵ (برای شکل ۴) در نظر گرفته ایم. همانطوریکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود میانگین انرژی باقیمانده در گرّه‌ها در الگوریتم پیشنهادی، بعد از گذشت ۱۵۰ ثانیه از شروع شبیه سازی، حدوداً دو برابر الگوریتم انتشار هدایت شده می‌باشد که این امر به دلیل اجتناب از ارسال همزمان داده به تمامی سینک‌های موجود و مصرف کمتر انرژی در گرّه‌ها می‌باشد. در نمودار MSDD مشاهده می‌شود که بعد از گذشت ۱۵۰ ثانیه از شروع شبیه سازی میزان انرژی باقیمانده در گرّه‌ها تقریباً از یک نمودار خطی پیروی می‌کند که این به دلیل خالی شدن گرّه‌ها از انرژی و شروع مرگ آنهاست.



شکل (۳) مقایسه میانگین انرژی باقیمانده در گرّه‌ها در الگوریتم‌های DD و MSDD با دو گرّه سینک

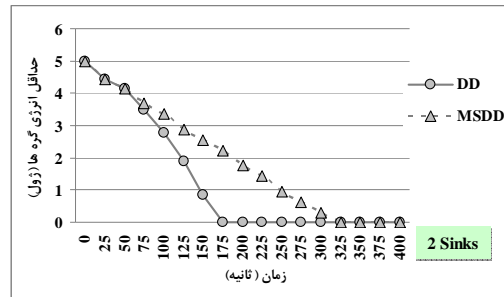


شکل (۴) مقایسه میانگین انرژی باقیمانده در گرّه‌ها در الگوریتم‌های DD و MSDD با پنج گرّه سینک

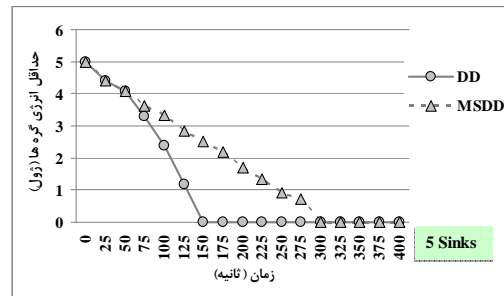
۴-۲-۴-۲ حد اقل انرژی باقیمانده در گرّه‌ها

برای مقایسه بیشتر انرژی مصرفی بین الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم DD، در شکل‌های ۵ و ۶ حد اقل انرژی باقیمانده بین گرّه‌های شبکه مقایسه شده‌اند. شکل شماره ۵ این مقایسه را برای حالت دو سینکی نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل برمی‌آید با استفاده از الگوریتم DD در ثانیه ۱۷۵ از شبیه‌سازی انرژی اولین گرّه به اتمام می‌رسد، اما

با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در ثانیه ۳۲۵ اولین گره از بین گره-های شبکه خاموش می‌شود. شکل شماره ۶ همین مقایسه را برای حالت پنج سینکی نشان می‌دهد.



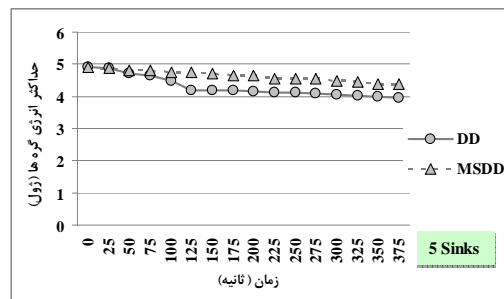
شکل (۵) مقایسه حداقل انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتم‌های DD و MSDD با دو گره سینک



شکل (۶) مقایسه حداقل انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتم‌های DD و MSDD با پنج گره سینک

۴-۲-۳- حد اکثر انرژی باقیمانده در گره‌ها

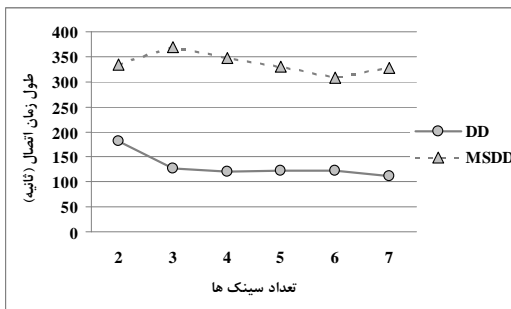
در شکل شماره ۷ حد اکثر انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه برای این دو الگوریتم با هم مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل مشهود است حد اکثر انرژی باقیمانده در الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم DD قدری بیشتر است. در اینجا منظور از حد اکثر انرژی باقیمانده در گره‌ها، این است که بین کل گره‌های موجود در شبکه کدام گره انرژی باقیمانده بیشتری دارد. در شکل ۶ این مقایسه برای حالت پنج سینکی نشان داده شده‌است.



شکل (۷) مقایسه حداقل انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتم‌های DD و MSDD با پنج گره سینک

۴-۲-۴- مدت زمان برقراری اتصال

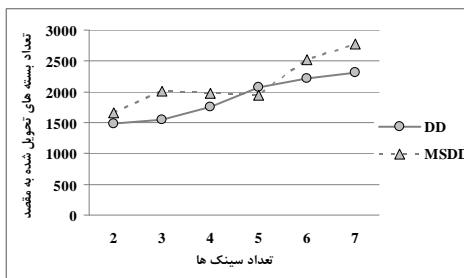
برای محاسبه حداکثر زمان برقراری ارتباط بین سینک و منبع، زمان رسیدن آخرین بسته به مقصد به عنوان پارامتر مورد بررسی انتخاب شده و میزان این پارامتر با تغییر تعداد سینک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۸ با مقایسه دو الگوریتم MSDD و DD می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم پیشنهادی مدت زمان برقراری اتصال را حدود ۱/۵ برابر افزایش داده است. برای مثال مدت زمان برقراری اتصال برای سناریوی ۷ سینک در الگوریتم پیشنهادی ۳۲۸ ثانیه و در الگوریتم انتشار هدایت شده ۱۱۲ ثانیه می‌باشد. همانطور که قبلاً هم اشاره شد مدت زمان برقراری اتصال یکی از فاکتورهای مهم و کلیدی برای سنجش میزان کارایی شبکه و انرژی بهینه بودن الگوریتم مسیریابی انتخابی می‌باشد.



شکل (۸) مقایسه میانگین مدت زمان اتصال در الگوریتم‌های DD و MSDD

۴-۲-۵- تعداد بسته‌های داده تحویل داده شده

در این بخش تعداد بسته‌های داده تحویل داده شده در طول مدت شبیه‌سازی با تعداد سینک‌های ۲ الی ۷، مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. شکل ۹ این مقایسه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل تعداد بسته‌های داده تحویل داده شده در الگوریتم پیشنهادی در تمام موارد بیشتر از الگوریتم انتشار هدایت شده می‌باشد.

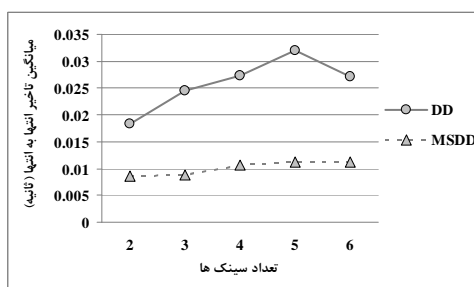


شکل (۹) مقایسه تعداد بسته‌های تحویل شده به مقصد در الگوریتم‌های DD و MSDD

۴-۲-۶- تعداد گره‌های از بین رفته (عمر شبکه)

شکل ۱۰ مقایسه ای است بین دو الگوریتم مطرح شده از نظر تعداد گره‌هایی که به دلیل خالی شدن از انرژی قابل استفاده نیستند. این

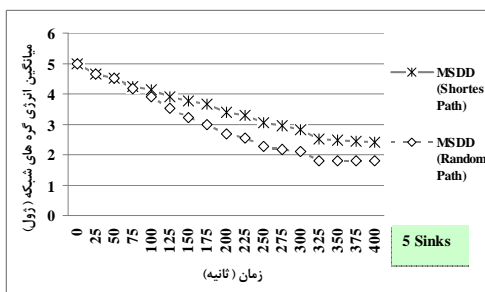
همانطور که از نتایج نشان داده شده در شکل استنباط می‌شود، میانگین تاخیر انتها به انتها برای الگوریتم MSDD پایین تر از الگوریتم DD می‌باشد.



شکل (۱۲) مقایسه میانگین تاخیر انتها به انتها در الگوریتم‌های DD و MSDD

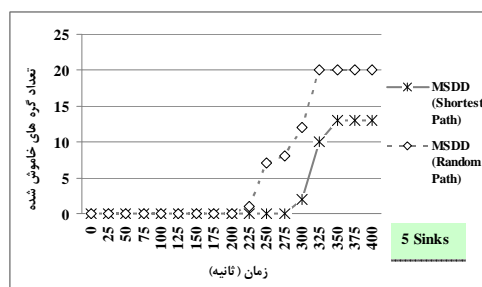
۴-۲-۹- مسیرهای تصادفی در برابر کوتاهترین مسیر

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تاثیر انتخاب مسیرهای تصادفی در برابر انتخاب کوتاهترین مسیر نشان داده شده است. در شکل ۱۳ میانگین باقیمانده انرژی گره‌های شبکه در طول زمان برای هر دو راهکار مقایسه شده است و در شکل ۱۴ تعداد گره‌های خاموش شده در طول زمان شبیه سازی برای هر دو راهکار با هم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند انتخاب کوتاهترین مسیر از دیدگاه انرژی کارآمدتر می‌باشد. هر دو مقایسه برای حالت پنج سینکی می‌باشند.



شکل (۱۳) مقایسه میانگین انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتم MSDD

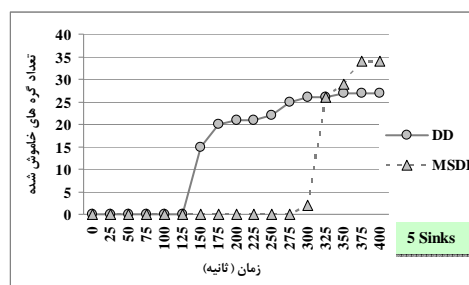
برای دو حالت انتخاب تصادفی مسیرها و انتخاب کوتاهترین مسیر



شکل (۱۴) مقایسه تعداد گره‌های خاموش شده در الگوریتم MSDD برای دو

حالت انتخاب تصادفی مسیرها و انتخاب کوتاهترین مسیر

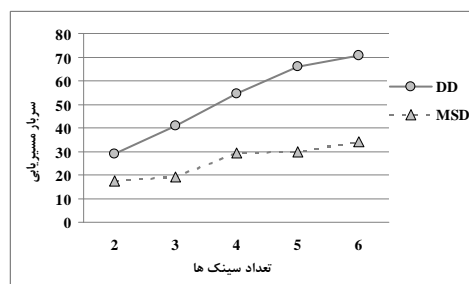
مقایسه برای حالتی انجام شده که تعداد سینک‌ها برابر ۵ می‌باشد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که در ثانیه ۱۲۵ام از شبیه سازی تعداد گره‌های از بین رفته در هر دو الگوریتم با هم برابر و صفر می‌باشد، اما به محض گذشتن ۲۵ ثانیه دیگر تفاوت آشکار این دو الگوریتم در تعداد نودهای از بین رفته در شبکه کاملاً مشهود می‌شود، بطوریکه در ثانیه ۱۵۰، تعداد گره‌های از بین رفته در الگوریتم انتشار هدایت شده به ۱۵ گره افزایش می‌یابد. این در حالی است که شروع مرگ گره‌ها در الگوریتم پیشنهادی در ثانیه ۳۰۰ از شبیه سازی شروع می‌شود و تعداد آن برابر ۱ گره است.



شکل (۱۰) مقایسه تعداد گره‌های از بین رفته در الگوریتم‌های DD و MSDD با پنج گره سینک

۴-۲-۷- سربار بسته‌های کنترلی در شبکه

برای محاسبه سربار، تعداد بسته‌های داده دریافت شده در گره سینک و نیز کل بسته‌ها در طول مدت زمان برقراری اتصال شمارش شده است و نسبت کل بسته‌ها به بسته‌های رسیده در گره سینک به عنوان سربار بسته‌های کنترلی الگوریتم با تعداد سینک‌های متغیر (از ۲ تا ۶ حفره) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل ۱۱، هرچه تعداد سینک‌ها بیشتر می‌شود بهبود الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم انتشار هدایت شده محسوس‌تر می‌شود؛ بطوریکه با ۶ سینک، سربار الگوریتم پیشنهادی حدوداً نصف سربار الگوریتم انتشار هدایت شده می‌باشد.



شکل (۱۱) مقایسه سربار مسیریابی در الگوریتم‌های DD و MSDD

۴-۲-۸- میانگین تاخیر انتها به انتها

در شکل ۱۲ دو الگوریتم مورد بحث از نظر میانگین تاخیر انتها به انتها برای بسته‌های داده‌ای که تحویل گره سینک شده‌اند، مقایسه شده‌اند.

۵- نتیجه گیری و کارهای آتی

در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی جهت استفاده در کاربردهای چندسینکی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شد. در الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن تعداد گام‌ها و نیز انرژی گره‌های موجود بر یک مسیر، مناسب‌ترین سینک از بین چندین سینک موجود انتخاب و داده‌ها برای آن ارسال می‌شوند.

نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته نشان می‌دهند، الگوریتم پیشنهادی به بهبودهای قابل توجهی در مقایسه با الگوریتم DD در جهت توزیع مصرف انرژی بین گره‌های شبکه و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه و زمان اتصال‌ها دست می‌یابد. از طرف دیگر میانگین تاخیر انتها به انتها و سربار مسیریابی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم DD کاهش می‌یابد.

برای کارهای آتی سعی بر این است تا انعطاف الگوریتم پیشنهادی افزایش یابد. برای این منظور می‌توان گره سینک را وادار کرد پس از دریافت اولین بسته داده، یک تأییدیه برای منبع ارسال کند. به این ترتیب گره پس از ارسال اولین بسته داده به سمت یک سینک، با استفاده از یک تایمر مدت زمان مشخصی را برای بازگشت بسته تأییدیه صبر می‌کند و اگر بسته تأییدیه در مدت زمان مشخص شده بازنگشت، گره منبع یک مسیر دیگر از لیست مسیرهایش جهت ارسال اطلاعات به سمت سینک استفاده می‌کند.

مراجع

- [3] R. Vidhyapriya, Dr.P.T Vanathi, "Energy Efficient Adaptive Multipath Routing for Wireless Sensor Networks," IAENG International Journal of Computer Science, August 2007.
- [4] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin. "Highly Resilient Energy-efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," Proceedings ACM MOBIHOC, pages 251--253, 2001.
- [5] 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.
- [6] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, and D. Ganesan, "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming," In Proceedings of the Symposium on Operating Systems Principles, p 146-159, October 2001.
- [7] M. Chen, T. Kwon, Y. Choi, "Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) for real-time traffic in wireless sensor networks," Journal of Elsevier Computer Communications, May 2005.
- [8] M. Chen, T. Kwon, Y. Choi "Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) in wireless sensor networks," Computer Communications, Volume 29, No. 2, pp 231-245, January 2006.
- [9] J. Heidemann, F. Silva, and D. Estrin, "Matching Data Dissemination Algorithms to Application Requirements," The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys'03), p 218-229, November 2003.
- [10] 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.
- [11] ns-2.33 network simulator.
- [12] J. Heidemann, F. Silva, Y. Yu, D. Estrin, P. Haldar, "Diffusion filters as a flexible architecture for event notification in wireless sensor networks," Technical Report ISI-TR-556, USC/Information Sciences Institute, April 2002.
- [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] V. Handziski, A. Köpke, H. Karl, C. Frank, W. Drytkiewicz, "Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering," Wireless Sensor Networks, First European Workshop, pp 172-187, January 2004.

زیر نویس‌ها

- ¹ Wireless Sensor Networks
- ² Ad-Hoc Network.
- ³ Multi Source-Single Sink.
- ⁴ Receiver Initiated
- ⁵ Interest.
- ⁶ Exploratory data.
- ⁷ Gradient.
- ⁸ Reinforcement.
- ⁹ Path Refresh.
- ¹⁰ Multi Sink Directed Diffusion.