



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

مهدی دهقان

آرش نصیری اقبالی

نستوه طاهری جوان

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

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

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

شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه سازی مصرف آن، یکی از چالش های مطرح در این شبکه هاست و کارهای زیادی هم در سال های اخیر در این مورد صورت گرفته است [2,3,4].

به کارگیری شبکه های حسگر بی سیم در ابتدا بر اساس سناریوهای چند منبع - تک سینک^۱ بود که در آنها گره سینک داده های ارسال شده از جانب همه گره های منبع را دریافت می کرد، اما امروزه سناریوهایی با چندین سینک مطرح می شود که در ذیل به ذکر چند مورد از کاربردهای آن خواهیم پرداخت. در شبکه های با مقیاس بزرگ و تعداد گره های زیاد وجود سینکهای چندتایی نه تنها برای افزایش قابلیت مدیریت پذیری بلکه برای کاهش اتلاف انرژی در هر گره نیاز می باشد. در کاربردهای حساس و پر ریسک مانند استفاده از شبکه های حسگر در مناطق نظامی، در نظر گرفتن یک سینک به عنوان تنها دریافت کننده و جمع آوری کننده اطلاعات، می تواند باعث به وجود آمدن مشکلاتی در شبکه شود.

از آنجائیکه یکی از مسائل مهم و چالش برانگیز در شبکه های حسگر مساله انرژی و طول عمر گره ها در شبکه است. بنابراین داشتن یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی می تواند به بهبود کارایی شبکه کمک شایانی بکند. الگوریتم [5] Directed Diffusion یکی از روش های مسیریابی مطرح در شبکه های حسگر می باشد که یک الگوریتم داده محور است. یکی از مهمترین عیوب این الگوریتم در هنگام مواجهه با چندین سینک نمود پیدا می کند. در این روش در صورتیکه سینک خاصی توسط اپراتور برای دریافت و جمع آوری اطلاعات مشخص نشده باشد، گره منبع داده مورد نظر را برای تمامی سینک ها ارسال خواهد کرد. بالطبع در این حالت علاوه بر اشغال بی مورد گره های میانی، مصرف انرژی در بین گره ها زیاده تر شده و این امر منجر به کاهش طول عمر مفید شبکه خواهد شد. نهایتاً پس از رسیدن داده ها به سینک های متعدد، خود این گره های سینک باید داده های رسیده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده بعد از هماهنگی آنها را با یکدیگر ادغام نموده و سپس داده های ادغام شده توسط یک سینک مشخص به اپراتور ارسال شود [6]. مصرف غیر کارآمد انرژی که در این حالت رخ می دهد یکی از

چکیده: یکی از مهم ترین و چالش برانگیزترین مسائل در شبکه های حسگر مساله انرژی و طول عمر گره ها است که در شبکه های با مقیاس بزرگ بیش از پیش نمایان می شود. متداول ترین سناریو در این شبکه ها، سناریوهای یک منبع - چند سینکی هستند که استفاده از یک الگوریتم مسیریابی آگاه از انرژی در این حالت کارایی شبکه را بهبود چشمگیری می بخشد. الگوریتم انتشار هدایت شده مطرح ترین روش مسیریابی در شبکه های حسگر می باشد که یک الگوریتم داده - محور است و در مواجهه با سناریوی یک منبع - چند سینک، به تعداد گره های سینک، مسیرهای مجزا جهت ارسال داده تشکیل می دهد که این امر باعث مصرف بالای انرژی و کاهش طول عمر شبکه می شود. در این مقاله روشی ارائه شده است که در آن با در نظر گرفتن تعداد گام ها و نیز انرژی گره های موجود بر مسیرها، مناسب ترین سینک از بین چندین سینک موجود انتخاب و داده ها برای آن ارسال می شوند. نتایج به دست آمده از طریق شبیه سازی نشان می دهند که این روش می تواند به مقدار قابل توجهی میانگین سربار مسیریابی و میزان مصرف انرژی در شبکه را کاهش داده و از طرف دیگر تعداد بسته های تحویل داده شده و مدت زمان برقراری اتصال را افزایش دهد.

واژه های کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، الگوریتم های مسیریابی، مسیریابی چندسینکی، بهینه سازی مصرف انرژی.

۱- مقدمه

در سال های اخیر رشد بسیاری را در زمینه شبکه های حسگر بی سیم^۱ شاهد بوده ایم. شبکه های حسگر شامل تعداد زیادی از گره های حسگر بسیار کوچک می باشند که برای جمع آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می گیرند [1]. بر خلاف شبکه های موردی^۲ که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه های حسگر به نظر بیایند، گره ها در شبکه های حسگر، معمولاً فاقد آدرس های منحصر بفرد می باشند و آنچه بیشتر در این شبکه ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره ها پس از فرایند پراکندن آنها در محیط، گره های

حیاتی ترین خصیصه های شبکه های حسگر بی سیم (یعنی مصرف بهینه انرژی) را زیر سوال برده و باعث می شود 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 پیشنهادی که در ادامه به بحث پیرامون آن خواهیم پرداخت برای حل این مشکل طراحی شده است.

در ادامه این مقاله از بخش های زیر تشکیل شده است: در بخش دوم کارهای مرتبط بررسی می شوند، در بخش سوم الگوریتم مسیریابی پیشنهادی ارائه شده است و در فصل چهارم نتایج حاصل از شبیه سازی و مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم های موجود ارائه شده است. در نهایت در بخش پنجم نتیجه گیری و پیشنهاد کارهای آتی آورده شده است.

۲- کارهای مرتبط

الگوریتم مسیریابی انتشار هدایت شده [5,6] یکی از مهمترین روشهای مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم می باشد، که از مفهوم نامگذاری داده ها بهره برده است و یک روش گیرنده-محور^۴ است. در این روش، داده ها به صورت زوجهای داده-مقدار نمایش داده می شوند. نحوه عملکرد این الگوریتم، به این صورت است که گره گیرنده، ابتدا یک پیغام علاقه مندی^۵ تولید می کند و آن را در طول شبکه پراکنده می کند. سپس گره های شبکه با مقایسه علاقه مندی دریافتی با داده های جمع آوری شده، پی می برند که داده درخواستی را در اختیار دارند یا خیر و در صورت در اختیار داشتن داده ها، یک پیغام داده اکتشافی^۶ به سمت گیرنده ارسال می کنند تا مسیر داده ها مشخص شود. با مشخص شدن مسیر، داده های درخواستی به سمت گیرنده ارسال می شوند. در این رویکرد برای تشکیل مسیر از مفهومی به نام گرادیان^۷ استفاده شده است که در هر گره هنگام عبور علاقه مندی ها تشکیل می شود و در آن، مشخصه علاقه مندی و گره همسایه ای که علاقه مندی از طریق آن دریافت شده، ذخیره می شود. هنگام تشکیل شدن مسیر، داده های اکتشافی از همین گرادیان ها برای تشخیص بهترین مسیر (مثلا از طریق همسایه ای برای اولین بار علاقه مندی را به این گره ارسال کرده است) به سمت گیرنده، استفاده می کنند. همچنین در این الگوریتم، گیرنده از مکانیسمی به نام تقویت کردن^۸ استفاده می کند تا همسایه هایی را که سرعت جمع آوری داده بالاتری دارند را نسبت به سایرین در اولویت قرار دهد.

علاوه بر موارد ذکر شده، در این روش هر گره ای می تواند داده ها را پردازش کند و آنها را پس از ترکیب و خلاصه سازی، به سمت گره بعدی ارسال نماید که این امر می تواند تا حد زیاد از ترافیک عبوری شبکه بکاهد.

روش EDDDD [7,8] روش انتشار هدایت شده را که در حالت پایه از ترافیک حساس به زمان پشتیبانی نمی کند، در زمینه های زیر بهبود می بخشد:

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 EDDDD از لحاظ فراهم کردن سرویس های متمایز برای ترافیک های 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 می شود و طول عمر شبکه در این الگوریتم بالاتر می باشد. بیشتر روشهای مطرح شده برای پراکندن اطلاعات، روی مسیریابی در لایه ۳ متمرکز شده اند بنابراین این الگوریتم به اندازه کافی به محتوای برنامه های کاربردی برای فیلتر کردن یا پردازش اطلاعات درون شبکه ای، دسترسی ندارند. در واقع می توان 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 نمی شوند ولی الگوریتم EDDDD علاوه بر بهینه کردن توان مصرف شده در گره ها، به روی کیفیت سرویس ارائه شده برای جریان داده های مختلف نیز تاکید می شود.

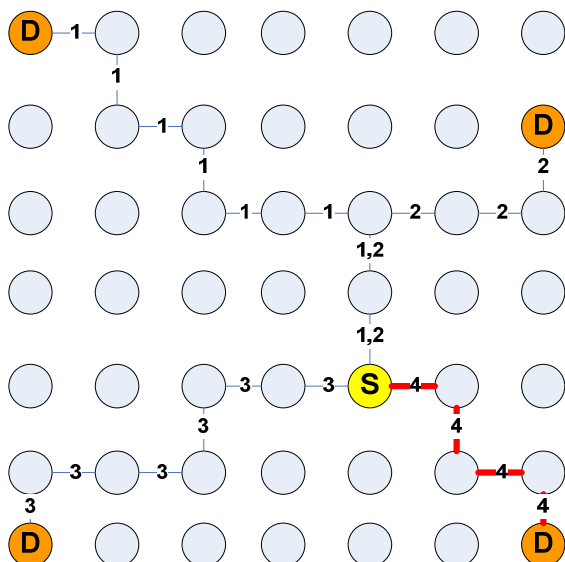
[9] PWave یکی از روشهای مسیریابی در سناریوهای چند منبع – چند سینک است که در آن سربار کاهش یافته و طول عمر شبکه در مقایسه با روش انتشار مستقیم، افزایش قابل ملاحظه ای پیدا می کند. در این الگوریتم به هریک از گره ها یک پتانسیل تخصیص داده می شود. کمترین پتانسیل متعلق به گره سینک با مقدار صفر می باشد. بستر پتانسیلی ساخته شده، مقیاس پذیر، مستحکم با قابلیت پشتیبانی از سناریوهای چند سینکی می باشد. یکی دیگر از مزایای این الگوریتم این است که تضمین می دهد بسته ها هیچگاه داخل حلقه نمی افتند. البته در این روش تابع هدف رساندن بسته های اطلاعات به تمامی گره های سینک است به طوریکه نیاز به ارسال بسته های 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 علاقه مندی ها به صورت سیل آسا، از محتویات آنها جهت انتشارشان استفاده می کنیم و علاقه مندی ها تنها در ناحیه مورد نظر، انتشار می یابند. همچنین به کمک این روش، منابع موجود، در مسیر یابی تاثیر داده می شوند تا استفاده از منابع به صورت بهینه تری 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 پیاده سازی سناریوی یک گره منبع – چند گره سینک،



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 تصمیم گیری و عملکرد گره مبدا نشان داده شده است.

۴- شبیه سازی

در این بخش نتایج به دست آمده از شبیه سازی های صورت گرفته، ارائه می شوند. برای این منظور الگوریتم های زیر شبیه سازی شده اند انتشار هدایت شونده، که با عنوان DD در شکل ها و نمودارها آورده شده است.

الگوریتم چند سینیکی پیشنهادی که با عنوان $MSDD^{10}$ در شکل ها و نمودارها آورده شده است.

۴-۱- متدولوژی شبیه سازی

طراحی و چینه یک محیط برای شبیه سازی جهت ارزیابی کارایی شبکه های سنسور با مشکلات و مسائل تجربی و مفهومی بسیاری مواجه است. در این قسمت انتخابهای صورت گرفته و راه کارهای استفاده شده جهت شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی ارائه می شود.

نسخه پروتکل

ما جهت شبیه سازی از نسخه پایه الگوریتم انتشار هدایت شده (DD) که همراه شبیه ساز [11] NS-2.31 ارائه می شود، استفاده کرده ایم. در شبیه سازی از Diffusion3 که کامل ترین پیاده سازی از DD می باشد [12] و قابلیت ارزیابی واقعی تری در اختیار می گذارد، استفاده شده است.

مدل بار

در الگوریتم پایه DD بسته های علاقمندی هر ۳۰ ثانیه و داده اکتشافی هر ۵۰ ثانیه به صورت سیل آسا پخش می شوند. ما در این شبیه سازی از همین مقادیر پیش فرض استفاده کرده ایم. ترافیک استفاده شده در این شبیه سازی، ترافیک Ping با نرخ ۲ بسته در هر ثانیه می باشد.

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

در روش پیشنهادی، مراحل پخش علاقه مندی توسط سینک در کل شبکه، پخش رویداد مقدماتی توسط منبع، تشکیل گرادینها، تقویت مسیر توسط پیامهای تقویت و سایر جزئیات همانند الگوریتم انتشار هدایت شده می باشد. تفاوت اصلی در شروع مرحله ارسال داده اصلی به سینک ها خودنمایی می کند، به این صورت که برخلاف روش انتشار هدایت شده سنتی که در آن در طول تمامی مسیرهای تقویت مثبت شده به سمت گره های سینک، داده اصلی ارسال می شد، در این روش داده تنها به یکی از چندین گره سینک ارسال خواهد شد. تصمیم گیری در مورد اینکه کدام سینک می تواند برای ارسال داده اصلی بهینه باشد براساس شمارش تعداد گام ها و فاکتور انرژی صورت می گیرد.

در این روش بعد از برقراری مسیرها به تعداد سینک های موجود، تصمیم گیری برای انتخاب سینک مناسب با توجه به معیارهای سنجش بهینه ترین سینک از بین سینک های مختلف انجام می گیرد، به این صورت که هر مسیر دارای یک شناساگر مسیر (path-id) می باشد که این جزء شامل فاکتور تعداد گام (طول مسیر) و نیز فاکتور مهم انرژی باقیمانده می باشد. از بین سینک های موجود، سینیکی برای دریافت داده های شبکه انتخاب خواهد شد که در حله اول کمترین تعداد گام را داشته باشد و نیز حداقل انرژی گره های موجود در مسیر آن از یک حد آستانه ای کمتر نباشد. مکانیزمی که برای ردیابی و بازسازی مسیرهای از بین رفته به کار رفته همان مکانیزم بکار رفته در روش انتشار هدایت شده می باشد (یعنی فرستادن پیامهای تقویت مثبت). البته در این حالت می توان پیام بازسازی مسیر^۹ 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 می یابد ولی احتمال از دست رفتن بسته ها کم تر خواهد شد. در شکل ۱ نمونه ای از نحوه انتخاب مسیر بر اساس کمترین تعداد گام نشان داده شده است. در این شکل گره S، گره منبع و گره های D مشخص کننده گره های سینک می باشند. همچنین در این شکل شناسه مسیر بر روی هر مسیر مشخص شده است. همانطور که در شکل مشخص است، در این الگوریتم هر مسیر می تواند چندین شناسه داشته باشد که به صورت لیستی در داخل هر گره ها ذخیره می شود.

در الگوریتم پیشنهادی جهت شمارش تعداد گام یک فیلد به بسته های تقویت کننده مثبت افزوده می شود. بنابراین بسته تقویت کننده مثبت در جهت حرکت خود از گره سینک تا گره مبدا تعداد گام را شمارش کرده و به اطلاع مبدا می رساند. از طرف دیگر جهت اندازه گیری حداقل انرژی گره های موجود بر روی یک مسیر، یک فیلد داده ای جدید به بسته های تقویت کننده مثبت اضافه می شود، به این ترتیب که گره های 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 می کنند. به این ترتیب گره مبدا می تواند به حداقل انرژی موجود در گره های یک مسیر پی ببرد.

```

[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

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 شده است. 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 اتصال‌ها دو طرفه در نظر گرفته شده است.

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 شده است. برای بررسی و تحلیل تاثیر تعداد گره‌های سینک بر کارایی الگوریتم‌ها، مصرف انرژی در دو سناریو جداگانه اندازه‌گیری شده است. در سناریوی اول، یک گره منبع به همراه دو گره سینک و در 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 شده است. 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.

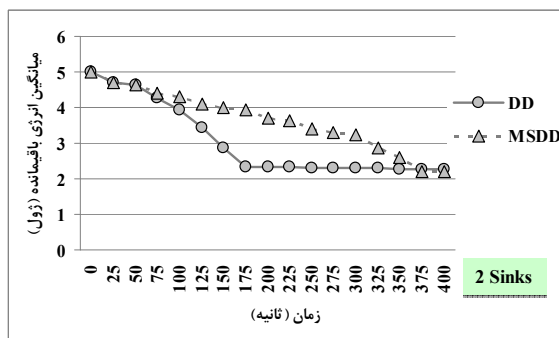
از طرفی جهت بارزتر شدن تاثیر انتخاب کوتاه‌ترین مسیر توسط الگوریتم پیشنهادی، دو سناریوی جداگانه اجرا شده‌اند. در سناریوی اول، مبدا کوتاه‌ترین مسیر را به سمت سینک انتخاب می‌کند و در سناریوی دوم، مبدا به مسیر تصادفی را تا سینک انتخاب می‌کند. البته در این سناریوها تاثیر افزایش سینک‌ها نیز با اعمال دو سینک و پنج سینک بررسی شده است.

محاسبه انرژی

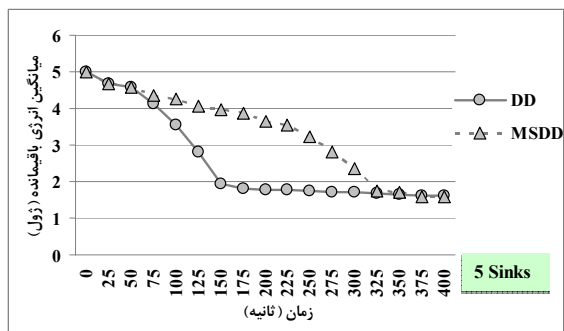
برای بررسی راندمان مصرف انرژی در الگوریتم‌ها، همه سناریوهای مطرح شده در این بخش در نظر گرفته شده‌اند، با این توضیح که انرژی اولیه تک تک گره‌ها 5 ژول در نظر گرفته شده است. در سناریوهای ما گره مبدا به طور منظم و متناوب و با نرخ دو بسته در هر ثانیه شروع به ارسال بسته‌های Ping به سمت سینک می‌کند و در طول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



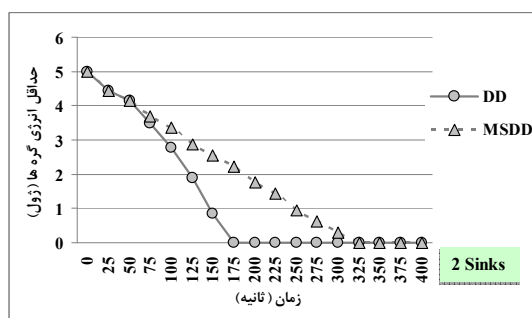
شکل (۳) مقایسه میانگین انرژی باقیمانده در گره ها در الگوریتمهای DD و MSDD با دو گره سینک



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

۴-۲-۲- حد اقل انرژی باقیمانده در گره ها

برای مقایسه بیشتر انرژی مصرفی بین الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم DD، در شکل های ۵ و ۶ حد اقل انرژی باقیمانده بین گره های شبکه مقایسه شده اند. شکل شماره ۵ این مقایسه را برای حالت دو سینکی نشان می دهد. همانطور که از این شکل برمی آید با استفاده از الگوریتم DD در ثانیه ۱۷۵ از شبیه سازی انرژی اولین گره به اتمام می رسد، اما با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در ثانیه ۳۲۵ اولین گره از بین گره های شبکه خاموش می شود. شکل شماره ۶ همین مقایسه را برای حالت پنج سینکی نشان می دهد.



شکل (۵) مقایسه حد اقل انرژی باقیمانده در گره ها در الگوریتمهای DD و MSDD با دو گره سینک

تکرار می کند که انرژی گره ها به اتمام رسیده، مسیر موجود شکسته شده و در نتیجه اتصال خاتمه یابد. مدت زمان بین لحظه شروع ارسال بسته ها تا لحظه شکستن مسیر به خاطر اتمام انرژی گره ها، مدت زمان یک اتصال در نظر گرفته می شود.

محاسبه سربار مسیریابی

برای محاسبه و مقایسه سربار مسیریابی در الگوریتم های مورد ارزیابی، همه سناریوهای مطرح شده در این بخش اجرا شده و تعداد بسته های غیر داده در طول کل زمان شبیه سازی شمارش می شوند. سپس جهت محاسبه سربار، تعداد این بسته های غیر داده، بر تعداد بسته های داده ای که تحویل مقصد شده اند، تقسیم می شود. کسر حاصل را به عنوان سربار مسیریابی در نظر می گیریم.

محاسبه نرخ از بین رفتن بسته ها

برای محاسبه نرخ از بین رفتن بسته ها، تعداد کل بسته های از دست رفته را بر تعداد کل بسته های ارسال شده تقسیم می کنیم. در این محاسبه هم بسته های داده و هم بسته های غیر داده لحاظ می شوند.

محاسبه میانگین تاخیر انتها به انتها

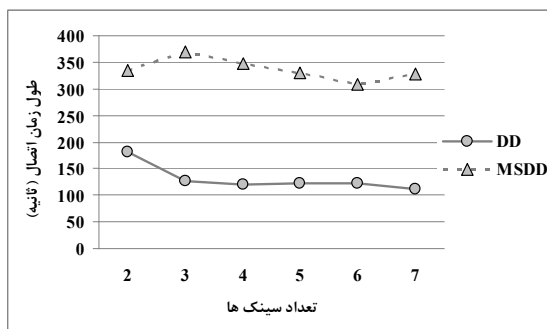
برای محاسبه میانگین تاخیر انتها به انتها، فاصله زمانی مابین ارسال اطلاعات از مبدا تا دریافت اطلاعات در سینک به ازای همه بسته های داده اندازه گیری شده و میانگین آنها محاسبه شده است.

۴-۲-۲- نتایج شبیه سازی

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

۴-۲-۱- میانگین انرژی باقیمانده در گره ها

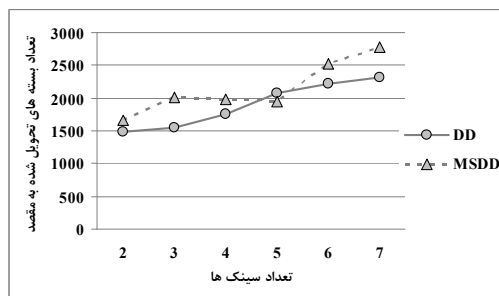
همانطور که قبلاً گفته شد یکی از اهداف اصلی الگوریتم پیشنهادی ما، کاهش میزان مصرف انرژی در گره ها بود. بنابراین یکی از فاکتورهایی که ما مورد ارزیابی قرار داده ایم میانگین انرژی باقیمانده در گره ها است. در این بخش از ارزیابی ما تعداد سینکها را یک بار ۲ (برای شکل ۳) و یک بار ۵ (برای شکل ۴) در نظر گرفته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



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

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

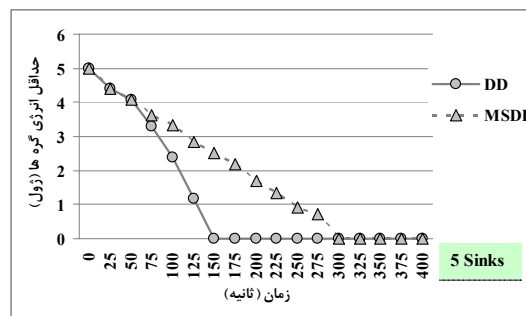
در این بخش تعداد بسته‌های داده تحویل داده شده در طول مدت شبیه‌سازی با تعداد سینکهای ۲ الی ۷، مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. شکل ۹ این مقایسه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل تعداد بسته‌های داده تحویل داده شده در الگوریتم پیشنهادی در تمام موارد بیشتر از الگوریتم انتشار هدایت شده می‌باشد.



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

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

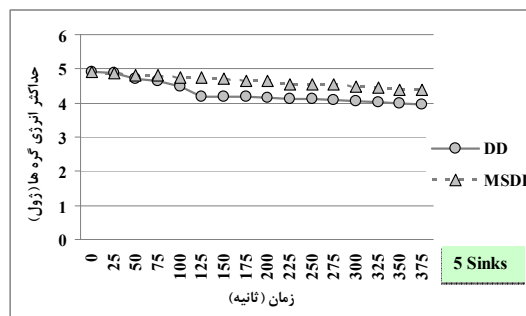
شکل ۱۰ مقایسه‌ای است بین دو الگوریتم مطرح شده از نظر تعداد گره‌هایی که به دلیل خالی شدن از انرژی قابل استفاده نیستند. این مقایسه برای حالتی انجام شده که تعداد سینک‌ها برابر ۵ می‌باشد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که در ثانیه ۱۲۵ام از شبیه‌سازی تعداد گره‌های از بین رفته در هر دو الگوریتم با هم برابر 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 شبیه‌سازی شروع می‌شود و تعداد آن برابر ۱ گره است.



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

۴-۲-۳- حداکثر انرژی باقیمانده در گره‌ها

در شکل شماره ۷ حداکثر انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه برای این دو الگوریتم با هم مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل مشهود است حداکثر انرژی باقیمانده در الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم DD قدری بیشتر است. در اینجا منظور از حداکثر 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.



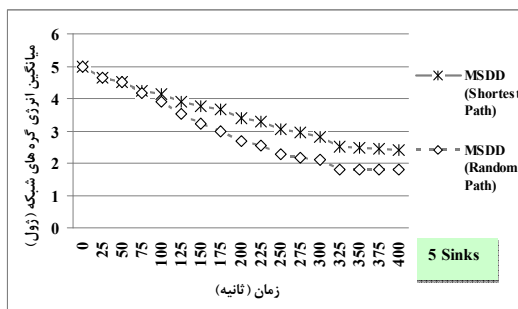
شکل (۷) مقایسه حداقل انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتمهای DD و MSDD با پنج گره سینک

۴-۲-۴- مدت زمان برقراری اتصال

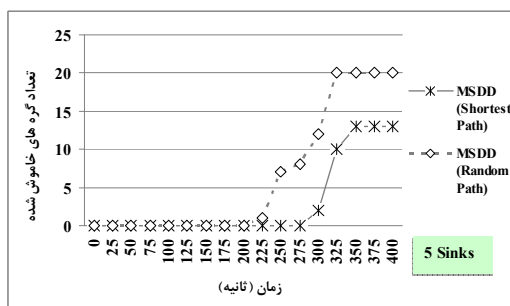
برای محاسبه حداکثر زمان برقراری ارتباط بین سینک و منبع، زمان رسیدن آخرین بسته به مقصد به عنوان پارامتر مورد بررسی انتخاب شده و میزان این پارامتر با تغییر تعداد سینک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۸ با مقایسه دو الگوریتم MSDD و DD می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم پیشنهادی مدت زمان برقراری اتصال را 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.

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 سینک می‌باشند.



شکل (۱۳) مقایسه میانگین انرژی باقیمانده در گره‌ها در الگوریتم MSDD برای دو حالت انتخاب تصادفی مسیرها و انتخاب کوتاهترین مسیر



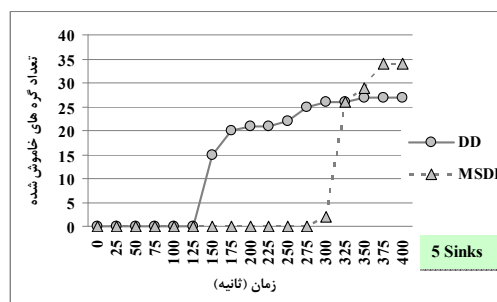
شکل (۱۴) مقایسه تعداد گره‌های خاموش شده در الگوریتم MSDD برای دو حالت انتخاب تصادفی مسیرها و انتخاب کوتاهترین مسیر

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.

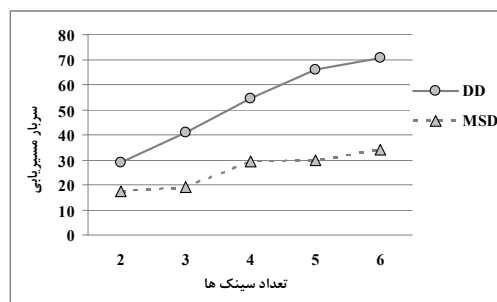
برای کارهای آتی سعی بر این است تا انعطاف الگوریتم پیشنهادی افزایش یابد. برای این منظور می‌توان گره سینک را وادار کرد پس از دریافت اولین بسته داده، یک تأییدیه برای منبع ارسال کند. به این ترتیب گره پس از ارسال اولین بسته داده به سمت یک سینک، با



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

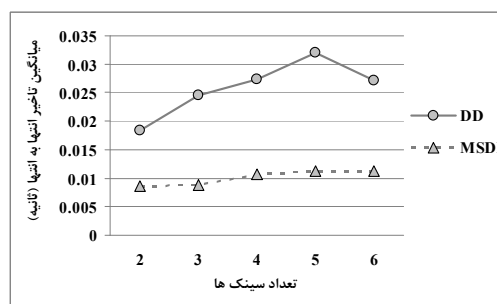
برای محاسبه سربار، تعداد بسته‌های داده دریافت شده در گره سینک و نیز کل بسته‌ها در طول مدت زمان برقراری اتصال شمارش شده است و نسبت کل بسته‌ها به بسته‌های رسیده در گره سینک به عنوان سربار بسته‌های کنترلی الگوریتم با تعداد سینک‌های متغیر (از ۲ تا ۶ حفره) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل ۱۱، هرچه 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. همانطور که از نتایج نشان داده شده در شکل استنباط می‌شود، میانگین تاخیر انتها به انتها برای الگوریتم MSDD پایین‌تر از الگوریتم DD می‌باشد.



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

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.

استفاده از یک تایمر مدت زمان مشخصی را برای بازگشت بسته تائیدیه صبر می کند و اگر بسته تائیدیه در مدت زمان مشخص شده بازنگشت، گره منبع یک مسیر دیگر از لیست مسیرهایش جهت ارسال اطلاعات به سمت سینک استفاده می کند.

مراجع

- [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.
- [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**

زیر نویس ها

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