

ارائه یک پروتکل جدید انتشار داده برای سینک متحرک در شبکه‌های حسگر بی سیم

فرزاد تاشتریان*، محمدرضا مجمع، حسین پدرام، مهدی دهقان

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مشهد، ایران

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه مهندسی کامپیوتر، پردیس، ایران

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

چکیده:

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی پیرامون انتشار داده به سمت سینک متحرک در شبکه‌های حسگر بی سیم صورت گرفته است. ما در این مقاله یک الگوریتم جدید انتشار داده با هدف افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی را ارائه کرده‌ایم. در روش پیشنهادی ما شبکه حسگر به صورت مجازی به سلولهای مساوی تقسیم شده و به کمک نقاط فرضی (CPS)، برای هر سلول یک سرسلول (CH) انتخاب می‌شود. برای انتخاب این نقاط، هیچگونه داده‌ای بین گره‌ها رد و بدل نمی‌شود که این امر انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد. سپس تعدادی گره با توجه به موقعیت نقاط فرضی، کاندید شده و در نهایت سرسلولها انتخاب می‌شوند. با انتخاب سرسلولها، داده‌ها با کمترین سربار به سمت سینک متحرک انتشار داده می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش ارائه شده کاهش مصرف انرژی را به دنبال دارد؛ هرچند این الگوریتم تاثیر چندانی در کاهش نرخ تاخیر ندارد.

واژه‌های کلیدی:

انتشار داده، سینک متحرک، زیرساخت مجازی، انتخاب سرسلول، شبکه‌های حسگر بی سیم

مسیریابی جغرافیایی استفاده می‌کنند. برخی از پروتکل‌ها مانند [۸] و [۹] به صورت داده گرا عمل می‌کنند. همچنین کارهایی مانند [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴] و [۱۵] از زیرساختی استفاده نمی‌کنند.

در بسیاری از روش‌ها نیز مانند [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] و [۲۱] از یک زیرساخت مجازی برای انتشار داده استفاده می‌شود. زیرساخت مجازی اشاره به مکانیزمی دارد که بر روی شبکه واقعی (فیزیکی) شکل می‌گیرد و به کمک آن می‌توان انتشار داده را به سینک متحرک بهبود بخشید و این امر بر روی کارایی شبکه از نظر مصرف انرژی و بهبود طول عمر شبکه تاثیر گذار خواهد بود.

در حالت کلی زیرساخت‌های مجازی به دو دسته مبتنی بر ستون فقرات (Backbone-based) و مبتنی بر ناحیه تجمع (Rendezvous-based) تقسیم می‌شوند. در هر دو حالت، زیرساخت‌ها به عنوان منطقه تجمع عمل می‌کنند. این عمل مزایایی را به همراه دارد [۳].

روش‌های مبتنی بر ستون فقرات مانند [۱۶] و [۱۷] به صورت خودسازماندهی عمل می‌کنند و زیرساخت مجازی مانند خوشه (Cluster)، ستون فقرات (Backbone) و مجموعه غالب (Dominating Set) در آنها باعث می‌شود که عملیات انتشار داده مانند مسیریابی، کنترل توپولوژی، همه پخشی و ... ساده‌تر انجام شود.

در راه‌حل‌های مبتنی بر ناحیه تجمع مانند [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] و [۲۱] هر گره موقعیت جغرافیایی خود را می‌داند. این کار توسط GPS و یا گره‌های هماهنگ‌کننده صورت می‌گیرد. پس از شروع به کار حسگرها، یک زیرساخت مجازی بر روی شبکه واقعی (فیزیکی) شکل می‌گیرد. یکی از راه‌حل‌هایی مبتنی بر ناحیه تجمع استفاده از زیرساخت مجازی گرید می‌باشد. گرید می‌تواند بصورت گره منبع و یا توسط سینک شکل بگیرد و یا می‌توان از ابتدا آن را بصورت ثابت در نظر گرفت.

ما در این مقاله نیز از یک زیرساخت مجازی مبتنی بر گرید استفاده کرده‌ایم و مسیریابی را بر اساس آدرس‌دهی سلولی انجام داده‌ایم. آدرس‌دهی سلولی سربار کمتری نسبت به آدرس‌دهی

در سال‌های اخیر بکارگیری شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار افزایش یافته است. این شبکه‌ها از گره‌های بی‌سیم تشکیل شده‌اند که دارای قابلیت‌های حسی هستند و به منظور انجام کارهای مختلف مانند نظارت بر محیط، تشخیص حوادث ناگوار، کنترل فرایندهای صنعتی و... در محیط مستقر شده‌اند [۱].

تاکنون پروتکل‌های زیادی برای جمع‌آوری و انتشار داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح شده‌اند. یکی از اهداف اصلی این راه‌حل‌ها حداقل کردن مصرف انرژی گره‌ها و بالابردن عمر شبکه می‌باشد. زمانی که سینک به صورت ساکن در شبکه قرار می‌گیرد، انرژی گره‌های حسگری که می‌توانند به صورت مستقیم با سینک ارتباط برقرار کنند (همسایگان سینک) سریعتر از سایر گره‌ها به اتمام می‌رسد. همسایگان سینک نه تنها برای انتقال داده که خود از محیط دریافت کرده‌اند، انرژی مصرف می‌کنند بلکه برای انتقال داده گره‌های دیگر نیز نیازمند مصرف هستند. این مساله منجر به قطع ارتباط زودرس و نابهنگام شبکه خواهد شد. سینک به دلیل مرگ همسایگانش از مابقی شبکه جدا می‌شود، درحالی‌که اکثر گره‌های حسگر هنوز کاملاً فعال و قابل استفاده هستند [۲]. برای رفع این مسئله از سینک متحرک استفاده می‌شود. استفاده از سینک متحرک توزیع مصرف انرژی، کاهش انرژی مصرفی شبکه و افزایش طول عمر شبکه را به همراه دارد. از طرفی چالش‌هایی با حرکت کردن سینک در شبکه بوجود می‌آید که می‌توان به تاخیر داده، انتشار داده، هزینه ساخت و آزادسازی مسیرهای ارسال داده از گره‌های حسگر به مکان کنونی سینک، تعیین نرخ حرکت سینک و زمان اقامت سینک در مکان‌های مختلف جهت جمع‌آوری داده اشاره نمود. بنابراین الگوریتمی که بتواند بسته‌های تولید شده را به سمت سینک ارسال کند و سربار کمی نیز داشته باشد، حائز اهمیت است.

راه‌حل‌های مختلفی برای انتشار داده، به سمت سینک متحرک با ساختار سلسله مراتبی و یا تخت ارائه شده است [۳]، [۴] و [۵]. برخی از روش‌ها مانند [۶] و [۷] برای انتشار داده از

عمومی و یا آدرس‌دهی مبتنی بر موقعیت دارد [۲۲]؛ چراکه مجموعه‌ای از گره‌ها در یک ناحیه (سلول) قرار دارند. ما برای هر سلول، یک سرسلول (Cell Head (CH)) انتخاب کرده‌ایم. در روش پیشنهادی ما، سرسلول‌ها به کمک نقاط فرضی (Cross Point (CP)) انتخاب می‌شوند. برای انتخاب CP، هیچگونه داده‌ای بین گره‌های موجود در سلول رد و بدل نمی‌شود و این مسئله انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد. با انتخاب CH ها برای هر سلول، داده‌ها به سمت سینک متحرک با الگوریتم ارائه شده ما، انتشار پیدا خواهند کرد.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم به کارهای انجام شده و مرتبط در زمینه انتشار داده به سمت سینک متحرک می‌پردازیم. در بخش سوم جزئیات الگوریتم پیشنهادی را ارائه می‌کنیم. در بخش چهارم به انتشار داده خواهیم پرداخت و در انتها و در بخش پنجم کارایی الگوریتم را ارزیابی و نتایج شبیه‌سازی را تحلیل خواهیم کرد.

کارهای مرتبط

همانطور که اشاره شد، یکی از راه‌حل‌هایی مبتنی بر ناحیه تجمع استفاده از زیرساخت مجازی گرید می‌باشد. راه‌حل‌های موجود برای ساخت گرید را می‌توان به سه دسته ساخت گرید توسط گره منبع، ساخت گرید توسط گره سینک و استفاده از گرید ثابت تقسیم‌بندی کرد.

در روش‌های [۱۸]، [۲۳]، [۲۴] و [۲۵] گره منبع وظیفه ایجاد گرید را بر عهده دارد. در این روش‌ها معمولاً با حرکت و جابه‌جایی سینک و تشخیص یک رویداد جدید، ساخت گرید بطور مجدد آغاز می‌شود و این مسئله انرژی زیادی را مصرف می‌کند. این نوع پروتکل‌ها عمدتاً برای کاربردهای وابسته به زمان بوده و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نمی‌باشند.

در روش‌های [۲۶]، [۲۷]، [۲۸] و [۲۹] زیرساخت مجازی گرید توسط گره سینک ساخته می‌شود؛ و برخلاف حالت قبلی، گره منبع برای این کار هیچ‌گونه انرژی مصرف نمی‌کند. در این روش‌ها هزینه بروزرسانی محل جدید سینک بالا خواهد بود. از طرفی این روش‌ها بصورت مبتنی بر پرس-جو (Query-Based) عمل می‌کنند و مبتنی بر رویداد (Event-Based) نیستند.

روش TARS [۳۰] برای شبکه یک گرید ثابت در نظر گرفته است. هر سلول دارای یک سرگرید (Grid Head (GH)) می‌باشد. پس از رخ دادن رویداد، گره منبع آن را به سرگرید محلی (Local GH) خود تحویل می‌دهد. گره LGH برای پیدا کردن مسیر به سینک، یک درخواست به همه GH های اطراف خود ارسال می‌کند. این درخواست شامل تعداد گام و لیست GH ها می‌باشد و این روند تا انتها تکرار می‌شود. نزدیکترین GH به سینک درخواستی که کمترین تعداد گام را دارا می‌باشد به عنوان مسیر اولیه انتخاب می‌شود. این روش مسیریابی کارایی چندانی ندارد چراکه با توجه به زیاد بودن تعداد درخواست‌ها، برای پیدا کردن مسیر سربار شبکه زیاد خواهد بود. در این روش برای پیدا کردن مسیر میانبر (shortcut)، از دو پارامتر فاصله و تعداد گام استفاده می‌شود.

پروتکل EEDD برای انتشار داده از یک گرید ثابت استفاده کرده است [۳۱]. مدل ارائه‌شده بصورت مبتنی بر پرس-جو می‌باشد. ابتدا سینک با فرض دانستن محل گره منبع، پرس-جوی خود را ارسال می‌کند و گره منبع با تشخیص رویداد مورد نظر سینک، از مسیر قبلی به سینک، داده‌ها را ارسال می‌کند. در EEDD برای هر سلول گرید یک سرگرید (GH) انتخاب می‌شود. نحوه انتخاب GH بر اساس یک تابع صورت می‌گیرد بطوری‌که هر گره با انرژی بیشتر، شانس بیشتری برای GH شدن دارد. در این روش مسیریابی بر اساس انتخاب سلول بعدی می‌باشد.

در CODE برای انتشار داده از یک گرید ثابت استفاده شده است [۳۲]. مدل ارائه شده بصورت پرس-جو می‌باشد. ابتدا سینک با فرض دانستن محل گره منبع، بسته پرس-جو خود را ارسال می‌کند و گره منبع با تشخیص رویداد مورد نظر سینک، به سینک پاسخ می‌دهد. در این پروتکل برای هر سلول یک (Grid Head (GH)) انتخاب می‌شود و سایر گره‌های موجود در سلول همانند الگوریتم GAF [۳۳]، به خواب می‌روند. در این روش برای بروز کردن محل سینک، سینک با ارسال بسته‌ای مسیر قبلی را حذف می‌کند و سپس پرس-جو از محل جدید به سمت گره منبع ارسال می‌کند. که این مسئله سربار

زیادی به همراه خواهد داشت. از طرفی برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نیست.

در [۳۳] از مدل انتشاردهنده/مشترک‌شونده (publisher/subscriber) برای انتشار داده استفاده شده است. این روش گره منبع و گره سینک را از نظر زمان، مکان، و همگام‌سازی تفکیک نموده؛ بطوری‌که سینک و گره منبع نیازی به اطلاعات دیگر ندارند. در عوض سه نوع گره با نقش‌های متفاوت تعریف شده است. این گره‌ها وظیفه ساختن گرید، ذخیره داده، ارسال/دریافت پرس-جو را بر عهده دارند. در این روش بروز رسانی کردن محل سینک به صورت محلی و به کمک انتخاب عامل (agent) صورت می‌گیرد. از آنجائی‌که داده‌ها در گره‌های میانی ذخیره می‌شوند، بنابراین می‌بایست حافظه کافی برای ذخیره داده‌ها در گره‌های ذخیره سازی به اندازه کافی وجود داشته باشد که این مسئله ضعف این روش می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود بیشتر روش‌های موجود مبتنی بر پرس-جو عمل می‌کنند و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نیستند. از طرفی سربار الگوریتم‌های ارائه شده یکی از چالش‌های مهم می‌باشد. بنابراین راه حلی که بتواند با کمترین سربار چالش‌های موجود را برطرف سازد، ضروری به نظر می‌رسد. ما در ادامه این مقاله راه حل‌هایی برای برطرف کردن چالش‌های موجود به شرح زیر ارائه کرده‌ایم:

- ۱) ارائه راه حلی مناسب و انرژی کارا برای انتشار داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک بویژه در کاربردهای تعقیب هدف (target tracking) و کاربردهای بلادرنگ
- ۲) استفاده از زیرساخت مجازی و سلسه مراتبی با هدف افزایش طول عمر شبکه
- ۳) ارائه مکانیزمی توزیع شده برای انتخاب سرسلول با کمترین تبادل اطلاعات بین گره‌ها به یکدیگر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی گره‌ها
- ۴) ارائه راه حلی موثر برای انتشار داده بدون ذخیره کردن اطلاعات مسیر که می‌تواند بسته‌ها را سریعاً به سمت سینک ارسال کند.

الگوریتم پیشنهادی

ما الگوریتم پیشنهادی را در دو فاز مختلف بررسی می‌کنیم. فاز اول اشاره به استفاده از زیرساخت گرید، انتخاب نقاط مجازی (CP) و انتخاب سرسلول (CH) برای هر سلول گرید را دارد. سپس در فاز دوم و پس از انتخاب سرسلول‌ها، داده‌ها به سمت سینک انتشار پیدا می‌کنند. الگوریتم ارائه شده برای انتشار داده و همچنین برخی از چالش‌های موجود در این زمینه در این فاز بحث می‌شود. جدول ۱ جزئیات فازهای الگوریتم ارائه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: فازهای الگوریتم ارائه شده

توضیحات	فازها	
استفاده از زیرساخت مجازی انتخاب نقاط مجازی Cross Point(CP) انتخاب سرسلول Cell Head (CH)	فاز ۱	الگوریتم ارائه شده
انتشار داده محاسبه تعداد گره‌ها در هر سلول انتشار داده مبتنی بر رویداد/پرس-جو	فاز ۲	

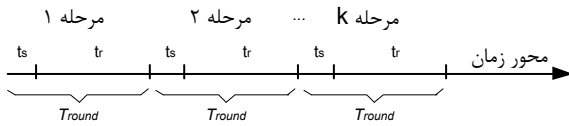
در ادامه این بخش به فرضیات، مدل انرژی و انتخاب CP و CH خواهیم پرداخت.

a. مدل سیستم

شبکه‌ای شامل N گره حسگر که هر کدام دارای انرژی اولیه e_0 می‌باشند، را در نظر بگیرد. در این شبکه یک (و یا چند) سینک متحرک وجود دارد. سینک متحرک می‌تواند آزادانه در شبکه حرکت کند. موقعیت گره‌های حسگر در شبکه به صورت تصادفی تعیین می‌شود. در این شبکه موارد زیر فرض شده است:

- در این الگوریتم تمامی گره‌ها موقعیت جغرافیایی خود را می‌دانند. این کار توسط GPS و یا از روش‌هایی که در [۳۴] برای تخمین موقعیت ارائه شده است، استفاده می‌شود.

)
(۲)



شکل ۱ - زمان و اجزاء دوره‌ها

برای مدل‌سازی شبکه و تشریح پروتکل ارائه شده، ابتدا پارامترهای مربوطه در جدول ۲ تعریف شده است.

جدول ۲: تعریف پارامترها

گره حسگر i	n_i
کل گره‌های حسگر در شبکه	N
سینک سیار	S
تعداد سینک‌های سیار	M
تعداد نقاط مجازی (CP) در هر سلول	K
تعداد سلول‌ها در گرید	C
زمان کل اجرای شبکه (زمان کل شبیه‌سازی)	t
مختصات مجازی X در گرید (نقطه نگاشت شده)	X
مختصات مجازی Y در گرید (نقطه نگاشت شده)	Y
مختصات فیزیکی X (نقطه واقعی)	X_p
مختصات فیزیکی Y (نقطه واقعی)	Y_p
شناسه سلول	$CID_{(X,Y)}$
نقطه مجازی k ام از سلول $CID_{(X,Y)}$	$CP_{k,(X,Y)}$
اندازه سلول	α
سر سلول $CID_{(X,Y)}$	$CH_{(X,Y)}$
انرژی اولیه گره n_i	$E_{init,i}$
انرژی باقیمانده گره n_i	$E_{Res,i}$
فاصله گره n_i تا نقطه مجازی k	$d_{i,k}$
حداکثر فاصله زمانی برای انتخاب $CH_{(X,Y)}$	$t_s_{(X,Y)}$
حداکثر فاصله زمانی برای عملیات $CH_{(X,Y)}$	$t_r_{(X,Y)}$
ژامین دوره	R_j

b. مدل انرژی

- تمامی گره‌های حسگر موقعیت خود را به زیرساخت مجازی گرید نگاشت کرده و از این طریق با یکدیگر و با سینک در ارتباطند.
- تمامی گره‌های حسگر ثابت هستند. گره سینک می‌تواند بصورت ثابت و یا متحرک باشد.
- گره‌ها می‌توانند به صورت تک گامه و یا چندگامه با سینک ارتباط برقرار کنند.
- گرید به اندازه‌های کوچکتر به نام سلول تقسیم می‌شود.
- اندازه تمامی سلول‌ها یکسان است.
- هر سلول دارای یک سرسلول می‌باشد.
- هر یک از سلول‌ها دارای K تا CP می‌باشند. CP نقطه فرضی می‌باشد که با توجه به زمان، محل آن تغییر می‌کند.
- انتخاب CH بر اساس موقعیت مکانی CP صورت می‌گیرد.
- انرژی تمامی گره‌ها در ابتدای شبکه یکسان است. انرژی سینک نامحدود فرض شده است.
- تمامی گره‌ها اندازه سلول گرید (α) را می‌دانند.
- حداقل یک گره حسگر در هر سلول از گرید وجود دارد.
- چرخه فعالیت در هر سلول از گرید مجازی، به چندین دوره (round) تقسیم می‌شود. زمان مصرف شده در هر یک از دوره‌ها، T_{round} فرض شده است.
- در T_{round} ، ابتدا گره‌های حسگر وارد مرحله رقابت برای انتخاب CH می‌شوند (t_s). سپس هر یک از CH ها، داده‌های خود را در زمان t_r جمع‌آوری می‌کنند و به سمت سینک ارسال می‌کنند. با توجه به فرضیات بالا T_{round} ، برابر است با:

$$T_{round} = t_s + t_r \quad (1)$$

طول زمان T_{round} برای تمامی سلول‌های گرید مقدار ثابت است و با اتمام آن، مرحله بعدی شروع می‌شود. همچنین زمان کل فعالیت شبکه حسگر (t) برابر با معادله (۲) خواهد بود. شکل ۱ زمان و اجزای هر یک از مراحل را نشان می‌دهد.

شود. با توجه به معادله (۶) موقعیت مجازی سینک/گره‌ها بدست می‌آید:

$$X = \left\lfloor \frac{Xp}{\alpha} \right\rfloor, Y = \left\lfloor \frac{Yp}{\alpha} \right\rfloor \quad (6)$$

در ادامه، گره‌ها می‌بایست برای هر سلول از گرید یک سرسلول (CH) انتخاب کنند. ما برای سادگی سرسلول هر سلول را $CH_{(X,Y)}$ ، به صورت CH بیان می‌کنیم. برای صرفه جویی در مصرف انرژی پس از انتخاب CH، سایر گره‌های موجود در سلول به حالت بیکار (Idle Mode) می‌روند و فقط مدارات حسگر آنها به فعالیت ادامه می‌دهد. در این شرایط CH وظیفه انتشار و هدایت بسته‌ها را بر عهده دارد.

d. انتخاب نقاط مجازی Cross Point (CP)

پس از شکل‌گیری گرید، تمامی گره‌ها CP را انتخاب می‌کنند. در هر R_j فقط یک CP برای هر سلول انتخاب می‌شود. انتخاب CP توسط گره‌های موجود در سلول انجام می‌شود. اگر K تعداد CP ها در هر یک از سلول‌ها باشد بنابراین داریم:

$$K = \{0, 1, 2, \dots, p^2-1\} \quad (7)$$

که در آن $p = \sqrt{K}$ و $p \geq 2$ خواهد بود. همچنین داریم:

$$A = \{(x,y): 0 \leq x,y \leq p-1\} \quad (8)$$

که x,y ضرایب CP هستند. بنابراین تابع G بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$G: A \rightarrow K \quad (9)$$

$$G(x,y) = x + py \quad (10)$$

فرض کنید گره i ام داده‌هایی را با سرعت f_{ij} بیت بر ثانیه (bps) برای گره j ام ارسال نماید. مدل مصرف انرژی گره i ام را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$(3)$$

$$(4)$$

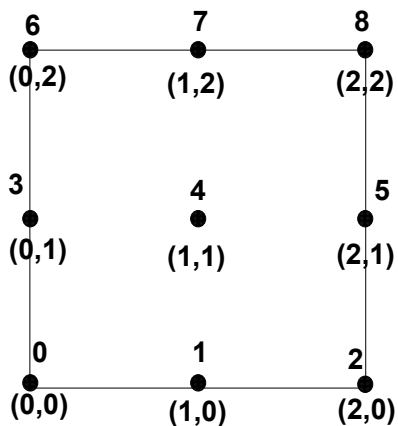
که در آن θ_1 و θ_2 مقادیری ثابت برای انرژی مصرفی جهت راه اندازی مدار فرستنده و تقویت کننده توان می‌باشند. d_{ij} ، فاصله اقلیدسی بین دو گره حسگر i و j می‌باشد. فاکتور اتلاف مسیر (path loss) بوده و در محدوده $2 \leq \beta \leq 4$ قرار می‌گیرد؛ بدین گونه که اگر فاصله فرستنده تا گیرنده (d_{ij}) بیشتر از مقدار ثابت d_0 باشد از مدل چند مسیری (Multi Path) ($\beta = 4$) و در غیر این صورت از مدل فضای آزاد (Free Space) استفاده می‌شود ($\beta = 2$). همچنین انرژی مصرفی گره i ام جهت دریافت داده‌هایی با نرخ f_{ki} عبارتست از:

$$(5)$$

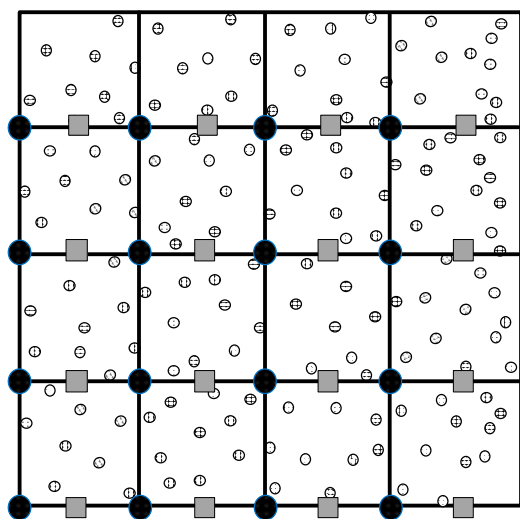
که در آن p ضریبی ثابت و برابر با مقدار انرژی مصرفی جهت راه اندازی مدار گیرنده می‌باشد.

c. شکل‌گیری زیرساخت مجازی (گرید)

در ابتدا زمانی که شبکه حسگر شروع به کار می‌کند، یک زیرساخت مجازی شکل می‌گیرد. این زیرساخت به صورت یک گرید با سلول‌های مساوی به اندازه α می‌باشد. α متغیری است که اندازه آن می‌تواند با توجه به کاربرد شبکه حسگر تغییر کند. با شروع کار شبکه سینک موقعیت خود را به تمامی گره‌ها اعلان می‌کند. گره‌ها و سینک موقعیت فیزیکی خود را به موقعیت مجازی نگاشت می‌کنند. اگر Xp و Yp دو نقطه فیزیکی سینک/گره‌ها باشد و همچنین X و Y نقاط نگاشت شده فرض



شکل ۲ - ۹ نقطه مجازی با اندازه $k=0..8$ برای یک سلول از گرید



● CrossPoint (0)
 ⊞ Sensor Node (SN) ⊞
 ■ CrossPoint (1)

شکل ۳ - نقاط مجازی شماره صفر و یک CP(0) و یک CP(1)،

در یک $4*4$ Grid

e. انتخاب سرسلول (CH) Cell Head

پس از مشخص شدن CP ها، فرایند انتخاب CH شروع می-شود. انتخاب CH می‌بایست برای هر یک از دوره‌ها انجام گیرد. برای انتخاب CH، تمامی گره‌های موجود در سلول مشارکت نمی‌کنند. بلکه انتخاب CH، بر اساس موقعیت CP صورت می-گیرد. گره‌هایی که به اندازه $\alpha/2$ از CP سلول خود فاصله دارند، برای رقابت سرسلول شدن شرکت می‌کنند. این فرایند برای تمامی C سلول موجود در گرید انجام می‌شود. فرایند انتخاب

همچنین اگر CP را بصورت معکوس (Inverse) تابع G

تعریف کنیم، یعنی:

$$CP_{k,(X,Y)} = G^{-1} \quad (11)$$

در این صورت CP، هر نقطه‌ای از K را به نقطه‌ای در صفحه دکارتی (A) می‌نگارد.

با توجه به این مدل، هر یک از گره‌ها در شروع هر مرحله، طبق فرمول زیر مقدار k را محاسبه می‌کنند.

$$k = \left[\frac{t}{T_{round}} \right] \text{mod } p^2 \quad (12)$$

با قراردادن مقدار k در معادله (11) ضرایب CP بدست می‌آید. هر گره طبق معادله زیر مقادیر X_0 و Y_0 سلول خود را محاسبه می‌کنند.

$$X_0 = \left[\frac{x_p}{\alpha} \right] * \alpha, Y_0 = \left[\frac{y_p}{\alpha} \right] * \alpha \quad (13)$$

با ضرب کردن مقادیر بدست آمده در ضرایب، نقطه CP در زمان t برای هر سلول مشخص می‌شود. بنابراین داریم:

$$CP_{k,(X,Y)} = (X_0, Y_0) * G^{-1} \quad (14)$$

انتخاب CP به طور کاملاً توزیع شده انجام می‌شود و گره‌ها هیچ‌گونه داده‌ای را برای انتخاب CP رد و بدل (ارسال/دریافت) نمی‌کنند. با توجه به CP بدست آمده، CH انتخاب می‌شود. شکل ۲، تعداد ۹ نقطه مجازی (CP) را همراه با ضرایب نقاط برای یک سلول از گرید را نشان می‌دهد و شکل ۳، CP(0) و CP(1) را برای تمامی سلول‌ها در یک $4*4$ Grid نشان می‌دهد. طبق رابطه (۱۵) تعداد کل CP ها برابر است با:

$$\text{Total CP} = K * C \Rightarrow 9 * 16 = 144 \quad (15)$$

CH برای هر سلول مجزا از سلول دیگر بوده و هیچگونه وابستگی میان آنها نیست.

پس از انتخاب CH، CH گره‌های همسایه خود را با ارسال/دریافت بسته‌های کنترلی شناسایی کرده و در حالت آماده (Ready State) قرار می‌گیرد. هر CH وظیفه جمع‌آوری داده‌های سلول خود را بر عهده دارد. علاوه بر آن CH به صورت گره رله عمل می‌کند و بسته‌های جمع‌آوری شده از سایر سلول‌ها را به سمت سینک نیز انتقال می‌دهد. از آنجائی‌که CH در انتشار داده فعالیت می‌کند، بنابراین سایر گره‌ها می‌توانند در حالت بیکار قرار گیرند.

زمان انتخاب CH، در تمامی سلول‌ها یکسان است. این فرایند در ابتدای هر یک از دوره‌ها انجام می‌گیرد. ما برای انتخاب CH، دو پارامتر انرژی و موقعیت CP را مد نظر قرار داده‌ایم. گره‌ای برای CH شدن کاندید می‌شود که تاکنون CH نشده است و این انتخاب بستگی به موقعیت CP دارد. در ابتدا نزدیک‌ترین گره به CP، به عنوان CH عمل خواهد کرد و در مراحل بعدی، گره‌هایی که دورتر از CP قرار دارند، به عنوان CH انتخاب خواهند شد؛ به شرطی که انرژی لازم را داشته باشند. و این مسئله ادامه پیدا می‌کند تا تمامی گره‌هایی که در فاصله $\alpha/2$ از CP فاصله دارند، انتخاب شود. سپس این انتخاب از سر گرفته می‌شود تا زمانی‌که انرژی گره‌ها کمتر از انرژی حد آستانه نباشد.

در ابتدای شروع کار شبکه، تمامی گره‌ها انرژی یکسانی دارند. یک گره می‌بایست خود را به عنوان CH به سایر گره‌های موجود در سلول معرفی کند. برای این کار گره فاصله خود را با CP سلول خود محاسبه کرده و با توجه به مقدار فاصله و انرژی باقیمانده، مدت زمانی را صبر می‌کند. نحوه محاسبه زمان انتظار (WT = Waiting Time) در بخش f توضیح داده شده است. پس از بازه زمانی، گره چنانچه سیگنال معرفی CH، (CH_ADV) را از سایر گره‌های موجود در سلول دریافت نکرده باشد، خود را به عنوان CH به سایرین معرفی می‌کند. همچنین پس از ارسال سیگنال به حالت آماده می‌رود. و انرژی

باقیمانده خود را ثبت می‌کند. در این شرایط CH فعالیت خود را آغاز می‌کند.

سایر گره‌ها با دریافت سیگنال (CH_ADV)، یک پیغام وصول (ACK) به CH ارسال می‌کنند. و به حالت خواب می‌روند. با ارسال ACK به CH اعضای CH معرفی می‌شوند. در این حالت مدارهای رادیویی اعضای CH به حالت بیکار می‌روند. و فقط مدارهایی برای حس (شناختن) محیط اطراف به فعالیت خود ادامه می‌دهند. با دریافت رویدادی، گره‌های موجود در سلول آن را به CH گزارش می‌دهند. گره‌ها تا زمان دریافت پیغام آزاد سازی از CH به همین حالت به کار خود ادامه می‌دهند.

با دریافت سیگنال (CH_ADV)، سایر گره‌هایی که در سلول مورد نظر قرار ندارند، بسته مورد نظر را دریافت کرده و شناسه CH را با شناسه سلول خود مقایسه می‌کنند و اگر بسته برای سلول مورد نظر نباشد، آن را حذف می‌کنند.

با تمام شدن مدت زمان T_{round} ، وظیفه CH جاری به پایان می‌رسد و گره‌های کاندید در مرحله جدید، برای انتخاب CH سلول مورد نظر وارد مرحله رقابت می‌شوند. گره‌های کاندید CH شدن بر اساس موقعیت CP در زمان مورد نظر انتخاب می‌شوند. این فرایند در شکل ۴ نشان داده شده است.

طبق الگوریتم ارائه شده، هر یک از گره‌های حسگر (n_i) برای هر $CP(k)$ یک جدول ایجاد می‌کنند ($Table_{i,k}$). در ابتدا گره‌ها فاصله خود را با CP مورد نظر محاسبه کرده ($d_{i,k}$) و بر اساس آن فاصله و انرژی باقیمانده، به اندازه WT ثانیه منتظر می‌مانند. سپس چنانچه سیگنال معرفی CH را دریافت نکرده باشند، خود را به عنوان CH به سایر گره‌های موجود در سلول معرفی می‌کنند. این مسئله در شرایطی است که انرژی گره از انرژی حدآستانه بیشتر باشد.

```

SELECT_CP (node i, CP k) {
    P ← 0
     $d_{i,k} \leftarrow$  Distance nodei to CPk
    Wait WT
    If nodei in Tablei,k then
        Wait  $t_s - WT - t_{eps}$ 
        P ← 1
    end if
    If Recv CH_ADV from nodej then

```


در این فرمول γ درجه اهمیت می‌باشد؛ و میزان اهمیت و وابستگی به فاصله و انرژی را نشان می‌دهد. چنانچه $\gamma = 0.5$ باشد، میزان اهمیت انتخاب CH از نظر نزدیکی به نقطه CP و همچنین انرژی مصرف شده آن یکسان است. اما چنانچه $\gamma = 0.9$ باشد، میزان اهمیت انرژی 0.9 و اهمیت فاصله 0.1 است. در این فرمول مقدار زمان t_{cnst} ثابت و t_{eps} یک بازه زمانی کوچکی است که به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. کاربرد t_{eps} جلوگیری از ارسال همزمان CH_ACK توسط گره‌ها و در نتیجه آن جلوگیری از تصادم (Collision) می‌باشد. از طرفی، از آنجائیکه حجم بسته‌ها نسبت به پهنای باند بسیار کم است لذا می‌توان از این مسئله صرف‌نظر کرد. همچنین ما همانند [۳۶] فرض کرده‌ایم مسئله تصادم توسط الگوریتم‌های موجود در لایه MAC حل شده است.

شکل ۵ یک مثال از الگوریتم ارائه شده را نشان می‌دهد. در این شکل یک شبکه ۹ سلولی و سلول 2,2 (GID (2,2)) با جزئیات نشان داده شده است. ما فرض کرده‌ایم که در سلول چند گره وجود دارد. سه گره A, B و C هم در شعاع $\alpha/2$ از CP(0) قرار دارند. هر یک از این گره‌ها در ابتدای شروع کار شبکه دارای انرژی یکسان می‌باشند. از آنجائیکه گره‌ها موقعیت خود و اندازه سلول (α) را می‌دانند، بنابراین فاصله خود را با CP(0) محاسبه می‌کنند و طبق تابع SELECT_CH، گره A خود را به اعضای شبکه، به عنوان CH معرفی می‌کند. گره‌های همسایه با دریافت این بسته، آن را حذف می‌کنند. چراکه در سلول مورد نظر قرار ندارند. در اینجا هیچ‌یک از گره‌ها با یکدیگر ارتباط نداشته و پیغامی رد و بدل نمی‌کنند، و CH بر اساس اطلاعاتی که در ابتدا داشته است، انتخاب می‌شود. گره A شروع به فعالیت می‌کند و گره‌های B و C به حالت بیکار می‌روند.

بعد از اتمام مرحله جاری (R_i)، انتخاب CH از سر گرفته می‌شود. و با توجه به محل CP، تعدادی گره وارد مرحله رقابت می‌شوند.

```

If nodej in Tablei,k then
    Empty Tablei,k
end if
    Insert nodej in Tablei,k
    Send ACK
    Goto Idle Mode
    Break;
else
If Energyi > EnergyThreshold then
    Send CH_ADV
If P=1 and nodei in Tablei,k then
    Empty Tablei,k
end if
    Insert nodei in Tablei,k
end if

```

شکل ۴ - عملیات انتخاب CH

سپس شناسه خود را در جدول مربوطه ذخیره می‌کند. سایر گره‌ها با دریافت پیغام CH_ADV، نام گره را در جدول خود ثبت کرده و پس از ارسال ACK، به حالت بیکار می‌روند. در زمانی که تمامی گره‌ها در جدول CP مورد نظر ثبت شده باشند، پارامتر P برابر با یک خواهد شد. این پارامتر نشان دهنده این است که تمامی گره‌ها در محدوده CP، یکبار CH شده‌اند. و می‌بایست دوباره این روند ادامه پیدا کند. بنابراین به کمک این پارامتر، گره‌ها جدول خود را خالی کرده و روند از ابتدا شروع می‌شود.

f. محاسبه زمان انتظار (Waiting Time (WT))

همانطور که قبلاً گفته شد، هر یک از گره‌هایی که در فاصله $\alpha/2$ از CP انتخاب شده، قرار دارند، می‌بایست مدت زمانی را صبر کنند و سپس خود را به عنوان CH معرفی کنند. این زمان انتظار بصورت تصادفی انتخاب نمی‌شود، بلکه وابسته به انرژی باقیمانده گره‌ها و فاصله آنها تا CP انتخاب شده در زمان t می‌باشد.

در ابتدا گره‌هایی که فاصله آنها تا CP انتخاب شده، کمتر و یا مساوی $\alpha/2$ باشد، فاصله واقعی خود را تا CP انتخاب شده بدست می‌آورند ($d_{i,k}$). سپس با استفاده از انرژی باقیمانده (E_{Res}) و رابطه (۱۶)، به اندازه WT ثانیه صبر کرده و سپس سیگنال معرفی (ADV_CH) را ارسال می‌کند.

$$WT = \left(\gamma * \frac{E_{init} - E_{Res}}{E_{init}} + (1 - \gamma) * \frac{d_{i,k}}{\alpha/2} \right) * t_{cnst} + t_{eps}$$

با شروع کار شبکه و پس از شکل گیری زیرساخت و نگاشت موقعیت‌های فیزیکی گره‌ها به مجازی طبق رابطه (۶)، هر یک از CH ها موقعیت مجازی خود را به CH های (همسایگان) اطراف ارسال می‌کنند. CH ها همسایه نیز جداول خود را بروز می‌کنند.

زمانی که یک گره، رویدادی یا هدفی را حس کرد، داده خود را تولید کرده و به CH سلول خود ارسال می‌کند. پیدا کردن مسیر از سرسلول منبع (SCH) به سینک توسط الگوریتم مسیریابی آدرس‌دهی سلولی به صورت زیر انجام می‌شود:

(۱) گره SCH با توجه به موقعیت مجازی خود و موقعیت مجازی سینک، دو مقدار μ_1 و μ_2 را از رابطه زیر بدست می‌آورد:

$$\mu_1 = |X - X_{S_j}|, \mu_2 = |Y - Y_{S_j}| \quad (17)$$

در این رابطه X_{S_j} و Y_{S_j} موقعیت مجازی j امین سینک می‌باشند. ($j = 1..M$)

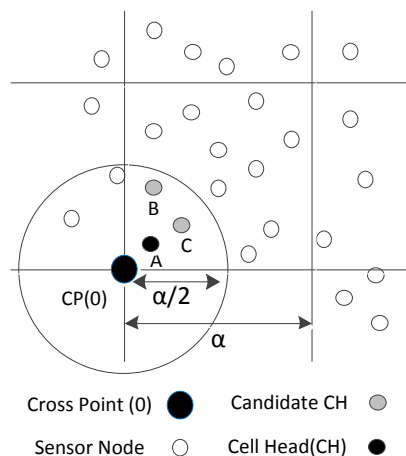
(۲) آدرس سلول بعدی (c_{des}) که داده‌ها باید به آن سلول ارسال شوند طبق الگوریتم ارائه شده در [۳۵] محاسبه می‌شود.

(۳) پس از انتخاب c_{des} ، گره SCH داده‌ها را ارسال می‌کند.
(۴) اگر سینک j (S_j) در سلول بعدی قرار داشته باشند، در نتیجه داده‌ها مستقیماً به سینک ارسال می‌شوند.

(۵) اگر سلولی که در آن داده‌ها حس می‌شوند (c_{src})، همان سلولی باشد که در آن سینک نیز قرار دارد، داده‌ها مستقیماً به سینک ارسال می‌شوند.

جزئیات کامل این الگوریتم در [۳۵] ارائه شده است. شکل ۶ عملکرد الگوریتم فوق را نشان می‌دهد:

در این شکل، گره SCH، هدف و یا رویدادی را حس می‌کند. و می‌بایست داده خود را به سینک اطلاع دهد. طبق الگوریتم، شناسه سلول بعدی (c_{des})، (2,3) می‌باشد. همین مکانیزم در سلول جاری اتفاق می‌افتد تا داده‌ها به سینک ارسال



شکل ۵ - مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادی

از آنجائیکه در این شکل تعداد CP ها ۹ تا در نظر گرفته شده است. بنابراین در مرحله نهم (R_9)، گره‌های A، B و C که در شعاع $\alpha/2$ از $CP(0)$ قرار دارند، مجدداً وارد مرحله رقابت می‌شوند. اما از آنجائیکه در مرحله قبل (مرحله R_1)، گره A، CH شده بود، بنابراین این گره CH نمی‌شود؛ چراکه گره A در جداول گره‌های کاندید وجود دارد. بنابراین گره‌های B و C وارد مرحله رقابت می‌شوند و در نتیجه گره C با توجه به فاصله و انرژی، خود را به عنوان CH به سایرین معرفی می‌کند. این روند ادامه پیدا می‌کند و در مرحله هجدهم (R_{18})، گره B انتخاب می‌شود. و در ادامه در (R_{27}) از آنجائیکه تمامی گره‌هایی که در فاصله $\alpha/2$ از $CP(0)$ قرار داشته‌اند، یکبار CH شده‌اند، بنابراین جدول آنها خالی شده و همه گره‌ها A، B و C مجدداً وارد مرحله رقابت می‌شوند. این مکانیزم برای تمامی CP های دیگر نیز انجام می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود، برای انتخاب CH در هر مرحله، هیچ یک از گره‌ها به یکدیگر داده‌ای را ارسال/دریافت نمی‌کنند. فقط پس از انتخاب سیگنال معرفی، بسته ACK را ارسال می‌کنند. همچنین انتخاب CP ها بدون رد و بدل شدن هیچ داده‌ای صورت می‌گیرد. این مسائل به طور قابل توجهی باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن افزایش طول عمر شبکه می‌شود.

انتشار داده

شوند. گره CH، در سلول 2,2، داده‌ها را مستقیماً به سینک ارسال می‌کند.

(۱۹)

بنابراین تعداد گره‌های یک سلول طبق معادله (۲۰) محاسبه

می‌شود:

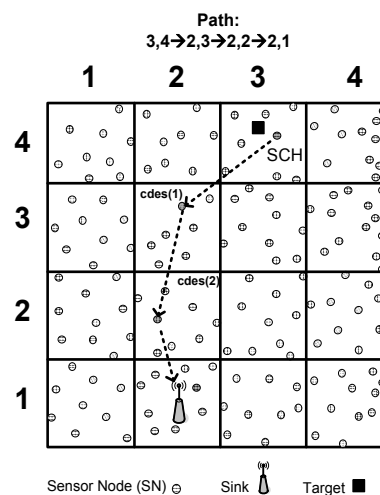
$$n\alpha = \frac{N\alpha^2}{R^2} \quad (20)$$

عملکرد الگوریتم در دو حالت مبتنی بر رویداد و مبتنی بر پرس و جو

الگوریتم پیشنهادی ما به دو صورت مبتنی بر رویداد (Event-based) و مبتنی بر پرس و جو (Query-based) عمل می‌کند.

در حالت مبتنی بر رویداد، CH ها منتظر دریافت پیغام از سینک نمی‌مانند. در این حالت گره‌های عضو سلول، رویداد را تشخیص داده و آن را به CH ارسال می‌کنند. گره CH نیز با دریافت بسته‌ها، به کمک الگوریتم ارائه شده آن را به سینک گزارش می‌دهد. این روش نیازی به ذخیره کردن اطلاعات در CH ها را ندارد و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب می‌باشد.

در حالت پرس و جو، سینک یک بسته پرس و جو به گره ای که در محل مورد نظر قرار دارد ارسال می‌کند (LCH). سینک در این بسته، موقعیت مجازی خود را مشخص می‌کند. گره‌های CH میانی، با دریافت بسته آن را با موقعیت خود مقایسه کرده و در صورت مساوی نبودن، یک مقدار به بسته اضافه کرده و آن را به سمت LCH، ارسال می‌کنند. گره LCH با دریافت بسته، تعداد گام رسیده از سینک و تعداد سلول تا سینک را محاسبه کرده و مسیر کوتاهتر را برای ارسال پاسخ انتخاب می‌کند. در بسیاری حالات مسیر برگشت، همان مسیر ارسال پرس و جو می‌باشد. ولی در برخی مواقع ممکن است به دلایلی همچون گودال مسیر متفاوت باشد. به عنوان مثال، در شکل ۷ سینک پرس و جو خود را به سرسلول همسایه NCH_1 ارسال و از آن طریق به LCH می‌رسد. گره LCH با ۴ گام بسته را دریافت کرده ولی حداکثر تعداد سلول‌ها از LCH تا سینک طبق الگوریتم ارائه شده ۳ سلول و (تعداد گام ۳) می‌باشد، بنابراین LCH مسیر جدید را برای پاسخ به سینک انتخاب می‌کند.



شکل ۶ - نحوه انتشار داده از گره منبع به سمت سینک

با حرکت سینک در شبکه، می‌بایست محل جدید سینک به سایر گره‌ها اعلام شود. برای این کار سینک، موقعیت خود را به کل شبکه ارسال نمی‌کند؛ بلکه با دریافت بسته‌ها از گره منبع، فاصله سلولی (DistG) و تعداد گام بسته‌های دریافتی (HopC) را محاسبه می‌کند. اگر شرط $HopC \geq 2 * DistG$ برقرار باشد، آنگاه سینک یک بسته پرس و جو به SCH ارسال کرده و موقعیت جدید خود را به آن اعلام می‌کند. و بسته‌ها از مسیر جدید انتشار پیدا خواهند کرد. جزئیات این روش در [۳۵] نشان داده شده است.

g. محاسبه تعداد گره‌ها در هر سلول

اگر R طول شبکه حسگر، N تعداد کل گره‌های حسگر در شبکه و α طول یک سلول باشد، بنابراین داریم:

$$n\alpha = \rho\alpha^2 \quad (18)$$

که در آن $n\alpha$ تعداد گره‌های یک سلول می‌باشد. همچنین ρ برابر است با:

$$\rho = \frac{N}{R^2} \quad (19)$$

۴	سمبل برای هر بیت
20 MHz	پهنای باند
۱	نرخ بسته
۱۰۰ متر	اندازه سلول
ThroughputT est	نام برنامه
۱۰ ثانیه	تاخیر اولیه در اجرای شبیه سازی
Node[0]	سینک
۱ متر بر ثانیه	سرعت سینک

همچنین کارایی الگوریتم پیشنهاد شده را در شرایط مختلف بر اساس پارامترهای مقیاس پذیری، اندازه سرعت سینک و اندازه سلول با الگوریتم قبلیمان [۳۶] و TTDD و EEDD [۳۱] مقایسه و ارزیابی کرده ایم.

برای بررسی الگوریتم ها، از دو معیار میانگین انرژی مصرفی و میانگین تاخیر استفاده کرده ایم. میانگین انرژی مصرفی نسبت میانگین انرژی مصرفی شده به انرژی اولیه شبکه می باشد. و میانگین تاخیر تحویل بسته ها شامل میانگین زمان تاخیر از زمانی است که گره منبع داده را تولید کرده تا زمانیکه سینک داده را تحویل می گیرد.

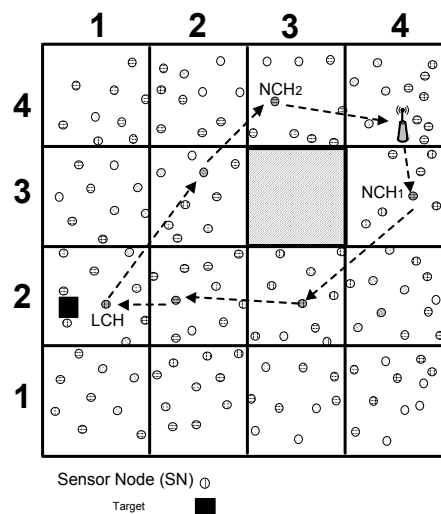
۱. ارزیابی سربار الگوریتم پیشنهادی

ما سربار الگوریتم پیشنهادی را به صورت ریاضی بررسی کرده و با الگوریتم TTDD مقایسه کرده ایم. کل سربار کنترلی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی ما کاراتر از TTDD می باشد.

اگر طبق جدول ۲، N تعداد گره های کل شبکه باشد، و C تعداد سلولها و با توجه به اینکه برای هر سلول، یک سرسلول (CH) داریم؛ بنابراین تعداد گره های منبع را C فرض می کنیم. همچنین با داشتن یک سینک در شبکه، سربار کل پروتکل TTDD (CO_{TTDD}) بصورت زیر خواهد بود.

$$CO_{TTDD} = CO_{GF-TTDD} + CO_{QF-TTDD} + CO_{DF+TTDD} \quad (21)$$

ما برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهاد شده از شبیه ساز Castalia3.2 که مبتنی بر OMNET++ می باشد استفاده کرده ایم. در این شبیه سازی اندازه شبکه $200 * 200$ متر مربع، تعداد گره ها ۲۰۰ عدد و یک عدد سینک متحرک در نظر گرفته شده است. در هر یک از سلولها حداقل یک گره وجود دارد.



شکل ۷ - انتشار داده در حالت مبتنی بر پرس و جو

مدت زمان اجرای شبیه سازی ۲۰۰ ثانیه می باشد. پارامترهای شبیه سازی در جدول ۳ نشان داده شده است. علاوه بر آن، یک مدل فضایی ساده با $\beta = 2$ برای ارتباطات فرض شده است. برای کانالهای بی سیم هم ما از یک مدل دایره ای ساده استفاده کرده ایم. همچنین تمامی لینک ها بصورت دوطرفه فرض شده اند.

تمامی نتایج حاصل میانگین ۵ بار شبیه سازی با فاصله اطمینان (Confidence Interval) ۹۵٪ است.

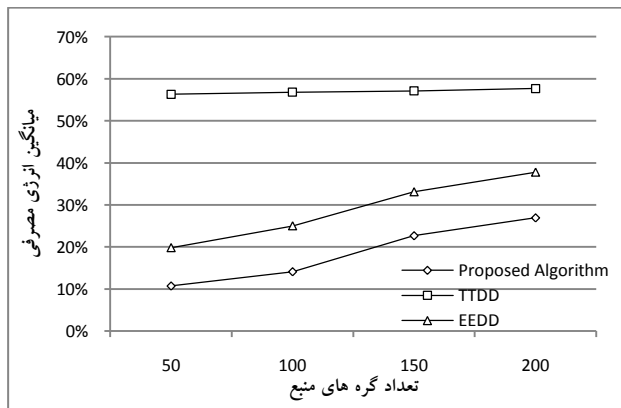
ما سربار الگوریتم پیشنهادی را با پروتکل TTDD [۱۸] ارزیابی کردیم.

جدول ۳: پارامترهای شبیه سازی

0.5 mW	انرژی راه اندازی
IEEE 802.15	پارامترهای رادیویی
250 kbps	نرخ داده
PSK	نوع مدولاسیون

سربار پروتکل می‌بایست جداگانه و با معیارهای مختلفی بررسی گردد.

ز. بررسی کارایی الگوریتم نسبت به چگالی گره‌ها شکل ۸ و شکل ۹ کارایی الگوریتم پیشنهادی را در مقایسه با TTDD و EEDD نشان می‌دهد. شکل ۸ نشان می‌دهد در الگوریتم پیشنهادی با افزایش تعداد گره‌ها، انرژی مصرفی افزایش پیدا می‌کند. چراکه با توجه به سناریو و نوع الگوریتم، زمانی که رویدادی تشخیص داده می‌شود توسط گره‌ها به CH ارسال شده و سپس به سینک تحویل داده می‌شوند و زمانیکه تعداد گره‌ها افزایش پیدا می‌کنند، طبیعی است که تعداد بیشتری، رویداد را شناسایی کرده و به CH گزارش می‌دهند. اما در شبکه با چگالی بالا (۲۰۰ گره)، انرژی مصرفی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با TTDD، تقریباً ۳۰٪ کمتر است. همچنین EEDD نسبت به TTDD تقریباً ۲۰٪ انرژی کمتر مصرف می‌کند. این مسئله بدلیل این است که در روش پیشنهادی و EEDD، اغلب گره‌ها (به جز CH) در حالت بیکار قرار دارند و در انتشار داده شرکت نمی‌کنند. لذا انرژی مصرفی کل شبکه نسبت به TTDD کاهش پیدا می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به EEDD تقریباً ۱۰٪ انرژی کمتر مصرف می‌کند. این بدلیل مکانیزم پیشنهادی برای انتخاب سرسلول‌ها و انتشار داده می‌باشد.



شکل ۸ - نمودار انرژی مصرفی نسبت به چگالی‌های مختلف

شکل ۹ میانگین تاخیر تحویل بسته‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی تغییر چندانی در مقایسه با TTDD و EEDD در تحویل بسته و کم کردن تاخیر

این سربار شامل سربار ارسال داده‌های جغرافیایی (CO_{GF})، سربار ارسال داده‌های پرس و جو ($CO_{QF-TTDD}$) و سربار ارسال داده ($CO_{DF+TTDD}$) می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$CO_{GF-TTDD} = C \cdot N_x \cdot N_y \cdot \sqrt{na} \quad (22)$$

$$CO_{QF-TTDD} = na + \sqrt{2N} \quad (23)$$

$$CO_{DF+TTDD} = C\sqrt{2N} + C\sqrt{2na} \quad (24)$$

که در آن na تعداد گره‌های موجود در یک سلول، N_x تعداد سلول‌ها در محور x و N_y تعداد سلول‌ها در محور y می‌باشد. بنابراین سربار الگوریتم TTDD شامل هر سه سربار بالا می‌باشد. از طرفی سربار الگوریتم پیشنهادی برابر است با سربار بروز رسانی موقعیت سینک به سرسلول‌ها در بدترین حالت (CO_{SLU}) و سربار ارسال داده‌ها به سمت سینک (CO_{DF}) که از روابط زیر بدست می‌آید:

$$CO_{SLU} = C \quad (25)$$

$$CO_{DF} = C \cdot na \quad (26)$$

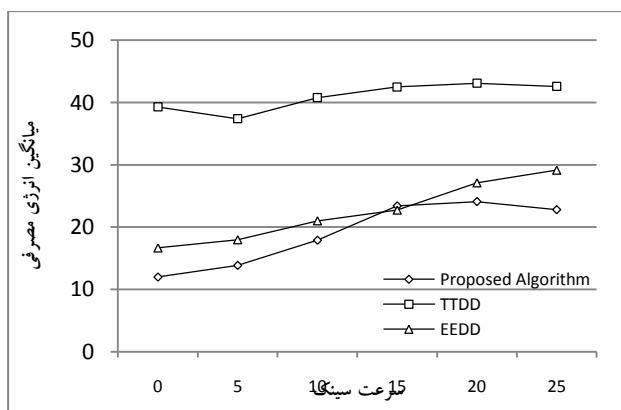
$$CO = CO_{SLU} + CO_{DF} \quad (27)$$

همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی به طور قابل توجهی سربار کمتری نسبت به الگوریتم TTDD را دارد. با این وجود مقدار سربار کنترلی وابسته به انرژی مصرفی و همچنین نرخ تولید داده در گره سرسلول‌ها می‌باشد. بنابراین

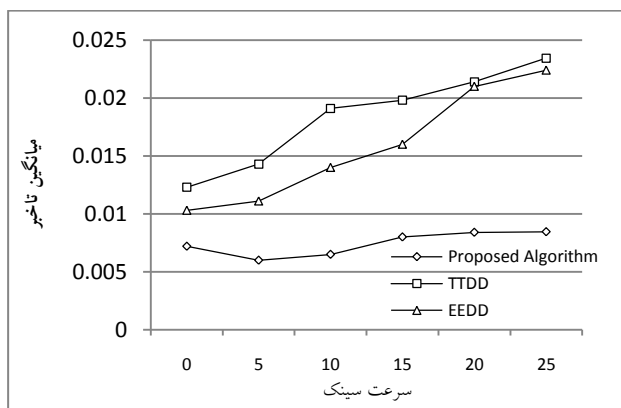
ثانیه افزایش پیدا می‌کند، بطوریکه مقدار انرژی مصرفی آن با EEDD تقریباً برابر می‌شود. ولی زمانیکه سرعت سینک به ۲۰ و ۲۵ متر بر ثانیه افزایش پیدا می‌کند، مقدار انرژی مصرفی تقریباً یکسان می‌ماند. این مسئله بخاطر مکانیزم بروز رسانی محل سینک می‌باشد.

شکل ۱۱ زمان تاخیر تحویل بسته‌ها را با توجه به سرعت‌های مختلف سینک نشان می‌دهد. با افزایش سرعت سینک زمان تحویل بسته‌ها افزایش پیدا می‌کند و این افزایش تاخیر در الگوریتم پیشنهادی نسبت به TTDD و EEDD کمتر است.

همچنین در الگوریتم پیشنهادی سرعت سینک در ۵ متر بر ثانیه کمترین تاخیر را دارد. و در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه تا ۲۵ متر بر ثانیه تفاوت چندانی در تاخیر بسته‌ها احساس نمی‌شود.



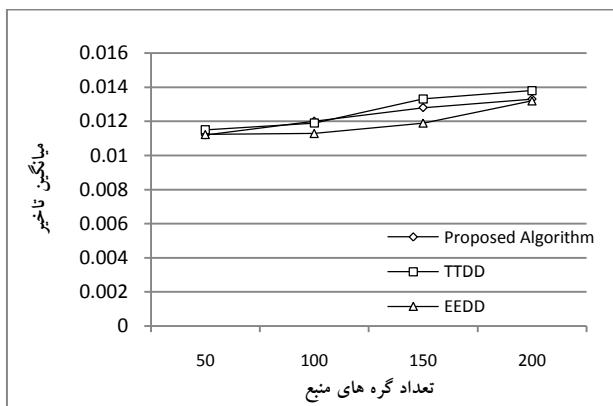
شکل ۱۰ - نمودار مقایسه الگوریتم پیشنهادی با سرعت‌های سینک



شکل ۱۱ - نمودار میانگین تاخیر نسبت به سرعت‌های سینک

افزایش تاخیر تحویل در EEDD بدلیل ارسال پرس-جو از طرف سینک و پاسخ از طرف گره منبع در هر بار حرکت (تغییر

در آن را ندارد. همچنین زمانی که چگالی بالاست، روش EEDD بهتر عمل می‌کند. هرچند که این تاخیر چندان محسوس نیست. البته باید به این نکته توجه شود که ما در اندازه گیری، عملیات را به صورت مبتنی بر پرس و جو فرض کرده‌ایم. بدین صورت که سینک بسته پرس و جو را ارسال و گره منبع به آن پاسخ می‌دهد. ما این کار را به دلیل پشتیبانی نکردن EEDD از حالت مبتنی بر رویداد انجام داده‌ایم. ولی اگر در حالت مبتنی بر رویداد مسئله تاخیر را بررسی کنیم، زمان ارسال پرس و جو از طرف سینک به گره منبع حذف می‌شود و در این حالت الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری خواهد داشت. چراکه تاخیر فقط شامل ارسال بسته از منبع به سینک در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۹ - نمودار میانگین تاخیر نسبت به چگالی‌های مختلف

k. مقایسه سرعت سینک

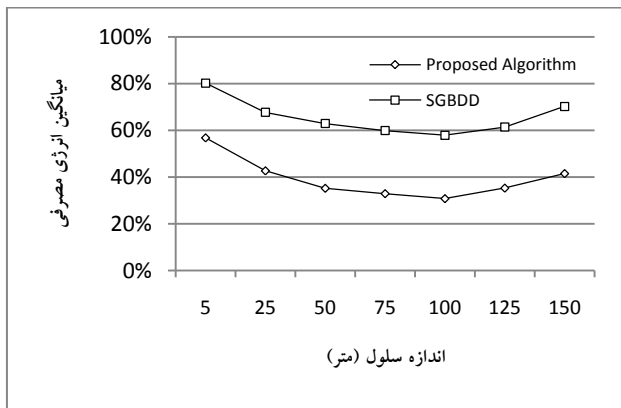
شکل ۱۰ و شکل ۱۱ عملکرد الگوریتم پیشنهادی را با سرعت‌های مختلف سینک نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی یک سینک متحرک در نظر گرفته شده است که به صورت آزاد در محیط شبکه حسگر در حال حرکت است. نتایج نشان می‌دهد که زمانیکه سرعت سینک افزایش پیدا می‌کند، در تمامی روش‌ها مصرف انرژی بیشتر می‌شود.

انرژی مصرفی TTDD بخاطر تصادم و تعداد زیاد ساخت گرید با تشخیص رویدادهای مختلف، در مقایسه با الگوریتم پیشنهادی و EEDD به طور میانگین ۲۰ تا ۲۵٪ بیشتر است. این مسئله در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در الگوریتم پیشنهادی، انرژی مصرفی با افزایش سرعت سینک تا ۱۵ متر بر

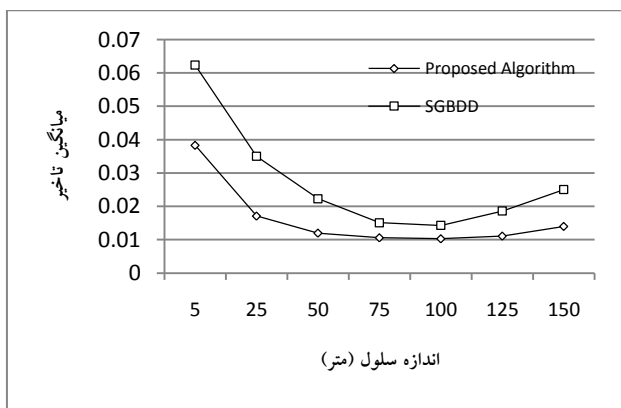
مکان) سینک می‌باشد. در حالیکه در الگوریتم پیشنهادی به کمک مکانیزم ارائه شده برای بروز رسانی محل سینک، زمانی که شرط $HopC \geq 2 * DistG$ برقرار باشد، بسته اعلان موقعیت جدید سینک ارسال می‌شود. این مسئله باعث کاهش تأخیر در تحویل بسته‌ها نسبت به روش‌های ذکر شده می‌شود.

۱. مقایسه اندازه سلول

تأثیر اندازه سلول بر الگوریتم ارائه شده و مقایسه آن با کار قبلی ما به نام SGBDD [۳۶] در شکل ۱۲ و شکل ۱۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد زمانی که اندازه سلول ۵ متر می‌باشد، بطور قابل توجهی انرژی مصرف می‌شود، چراکه تعداد سلول‌ها زیاد است.



شکل ۱۲ - نمودار مقایسه انرژی مصرفی نسبت به اندازه‌های مختلف سلول با الگوریتم قبلی ارائه شده ما



شکل ۱۳ - مقایسه میانگین تأخیر نسبت به اندازه‌های مختلف سلول با الگوریتم قبلی ارائه شده ما

مسئله باعث می‌شود که تأخیر تحویل بسته‌ها زیاد شود. با افزایش اندازه سلول به ۱۰۰ متر، شرایط به حالت عادی باز می‌گردد و انرژی مصرفی و زمان تحویل بسته‌ها کاهش می‌یابد. نتایج بیان کننده این است که بهترین اندازه برای سلول ۷۵ تا ۱۲۵ متر می‌باشد. و اگر اندازه سلول کمتر از ۷۵ و یا بیش از ۱۲۵ متر باشد، انرژی مصرفی افزایش پیدا خواهد کرد.

نتیجه‌گیری و کارهای آینده

حرکت سینک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به عنوان یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های ارائه شده در زمینه کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. در این مقاله برای انتشار داده با پشتیبانی از سینک متحرک از زیرساخت مجازی مبتنی بر گرید استفاده شده است. برای این کار برای هر سلول از گرید، یک سرسلول (CH) انتخاب می‌شود. انتخاب سرسلول به صورت تصادفی نبوده بلکه به کمک نقاط مجازی (CP) انجام می‌گیرد. مکانیزم انتخاب نقاط مجازی به صورت کاملاً توزیع شده و بدون ارسال/دریافت هیچگونه داده‌ای از گره‌های همسایه صورت می‌گیرد. پس از انتخاب CP ها، برای هر سلول در بازه-های زمانی مختلف، گره‌هایی که در شعاع $\alpha/2$ از CP سلول قرار دارند، کاندید شده و در نهایت CH بر اساس دو پارامتر فاصله و انرژی باقیمانده انتخاب می‌شود. پس از انتخاب CH برای تمامی سلول‌ها، مکانیزم انتشار داده انجام می‌شود. ما یک الگوریتم مسیریابی بر اساس آدرس‌دهی سلولی ارائه کرده‌ایم. در این روش گره‌ها و سینک موقعیت خود را به زیرساخت مجازی نگاشت کرده و سپس داده‌ها را به سمت سینک انتشار می‌دهند. ما یک روش جدید برای بروز رسانی محل سینک ارائه کرده‌ایم. در روش پیشنهادی، سینک فاصله سلولی و تعداد گام-های بسته‌های دریافتی از گره منبع را محاسبه می‌کند و اگر تعداد گام‌ها بیشتر و یا مساوی دو برابر از فاصله سلولی باشد، سینک موقعیت جدید خود را به گره منبع اعلام و سپس داده‌ها از مسیر جدید به سمت سینک انتشار پیدا خواهند کرد.

به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهاد شده از شبیه ساز OMNET استفاده شده است. همچنین الگوریتم با TTDD و EEDD مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که

در نتیجه تعداد زیادی CH وجود دارد؛ و داده‌ها برای رسیدن به سینک، می‌بایست از چندین CH عبور کنند. و این

انتخاب بهینه نقاط مجازی (CP) به کمک روشهای ریاضی و با هدف کاهش مصرف انرژی و همچنین بدست آوردن بهینه اندازه سلول (α), از اهدافی است که نویسندگان در آینده به آن خواهند پرداخت.

روش ارائه شده کاهش مصرف انرژی را به دنبال دارد؛ هرچند این الگوریتم تاثیر چندانی در کاهش نرخ تاخیر ندارد. از این گذشته، گره‌ها برای انتخاب سرسلول، و برای جلوگیری از انتخاب تکراری سرسلول، نیاز دارند برای هر یک از CP ها، شناسه سرسلول قبلی را در حافظه خود ذخیره کنند که این مسئله مصرف حافظه را افزایش می‌دهد.

- Energy-Aware Multisink Routing in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 12, pp. 1694 - 1709, 2011.
- [13] S. Park, E. Lee, H. Park, H. Lee and S.-H. Kim, "Mobile Geocasting to Support Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks," in *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, 2010.
- [14] J. Li, S. M. Shatz and A. D. Kshemkalyani, "Mobile Sampling of Sensor Field Data Using Controlled Broadcast," *IEEE Transactions on mobile computing*, vol. 10, JUNE 2011.
- [15] G. Shi, J. Zheng, J. Yang and Z. Zhao, "Double-Blind Data Discovery Using Double Cross for Large-Scale Wireless Sensor Networks With Mobile Sinks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 5, pp. 2294 - 2304, JUNE 2012.
- [16] J.-L. Lu and F. Valois, "On the Data Dissemination in WSNs," in *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, Third IEEE International Conference on*, New York, Oct 2007..
- [17] T.-S. Chen, H.-W. Tsai and Y.-H. Chang, "Geographic converge cast in wireless sensor networks," in *Wireless Days, 2008. WD '08. 1st IFIP*, 24-27 Nov. 2008.
- [18] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu and L. Zhang, "TTDD: Two Tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks," in *Mobile Networks and Applications(MONET)*, 2003.
- [19] J. Cho and J. Choe, "A Cluster-Based Routing Protocol for Supporting Mobile Sinks in Sensor Network," in *Information Networking, 2008. ICOIN 2008. International Conference on*, 23-25 Jan. 2008.
- [20] Z. H. M. a. Y.-B. Ko, "A Quadtree-Based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks," in *PWC*, Sept 2006.
- [21] E. B. H. a. G. Chelius, "A Line-Based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," in *Proc. IEEE ICC '08*, Beijing, China, May 2008.
- [22] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin and D. Ganesan, "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming," in *ACM Symp. Operating Systems Principles*, 2001.
- [23] N.-C. Wang and Y.-K. Chiang, "Power-aware Data Dissemination Protocol for Grid Based Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks," *IET Communications*, vol. 5, no. 18, pp. 2684-2691, January 2011.
- [24] R. K. Sahu, A. Mohta and L. Awasthi, "Energy-Efficient Grid-Based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, 2012.
- [25] Y. Zhao, Q. Wang, D. Jiang, W. Wu, L. Hao and K. Wang, "An Agent-based Routing Protocol with Mobile Sink for WSN in Coal Mine," in *Third*
- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Commu. Magazine*, pp. 102-114, Aug 2002.
- [2] A. Kansal, A. Somasundara, D. Jea, M. Srivastava and D. Estrin, "Intelligent Fluid Infrastructure for Embedded Networks," in *7th Annual Intl. Conf. on Mobile Systems, Applications and Services(MobiSys)*, 2004.
- [3] E. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 15, no. 6, pp. 31-37, December 2008.
- [4] J. Rao and S. Biswas, "Data harvesting in sensor networks using mobile sinks," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 15, no. 6, pp. 63-70, December 2008.
- [5] Y. Faheem, S. Boudjit and K. Chen, "Data dissemination strategies in mobile sink Wireless Sensor Networks: A survey," in *2nd IFIP Wireless Days (WD)*, 2009.
- [6] F. Yu, S. Park, E. Lee and S.-H. Kim, "Elastic Routing: a Novel Geographic Routing for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," *IET Communications*, vol. 4, no. 6, pp. 716-727, 2010.
- [7] X. Li, J. Yang, A. Nayak and I. Stojmenovic, "Localized Geographic Routing to a Mobile Sink with Guaranteed Delivery in Sensor Networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, vol. 30, no. 9, pp. 1719-1729, October 2012.
- [8] H. Choi, H. Kim, S. An, M. Kim and Y. K. Jeon, "Provisioning geographic data-centric dissemination in Wireless Sensor Networks," in *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), First International Conference on*, 2009.
- [9] D.-o. Seong, J.-h. Lee, M.-h. Yeo and J.-s. Yoo, "An Energy Efficient Data-Centric Probing Priority Determination Method for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," in *Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC), IEEE International Conference on Sensor Networks*, June 2010.
- [10] X. Liu, H. Zhao, X. Yang, X. Li and N. Wang, "Trailing Mobile Sinks: A Proactive Data Reporting Protocol for Wireless Sensor Networks," in *7th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS)*, Nov. 2010.
- [11] X. Liu, H. Zhao, X. Yang and X. Li, "SinkTrail: A Proactive Data Reporting Protocol for Wireless Sensor Networks," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 62, no. 1, pp. 151-162, Jan 2013.
- [12] L. Mottola and G. P. Picco, "MUSTER: Adaptive

Mobile Sink in Wireless Sensor Network," in *2nd International eConference on Computer and Knowledge Engineering*, Mashhad, Iran, 31 December 2012.

- International Conference on Pervasive Computing and Applications (ICPCA)*, 2008.
- [26] S. Chauhan and L. Awasthi, "TBEE: Tier Based Energy Efficient Protocol Providing Sink and Source Mobility in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Computer Science (IJCSI)*, vol. 8, no. 6, November 2011.
- [27] T. Sharma, R. Joshi and M. Misra, "GBDD: Grid Based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks," in *16th International Conference on Advanced Computing and Communications*, 2008.
- [28] J.-W. Kim, J.-S. In, K. Hur, J.-W. Kim and D.-S. Eom, "An Intelligent Agent-Based Routing Structure for Mobile Sinks in WSNs," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 2310 - 2316, November 2010.
- [29] E. Lee, S. Park, J. Lee and S.-H. Kim, "Geographic Multicast Protocol for Mobile Sinks in Wireless Sensor Network," in *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, 2011.
- [30] Y.-P. Chi and H.-P. Chang, "TARS: An Energy-Efficient Routing Scheme for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks and Targets," in *26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2012.
- [31] Z. Zhou, X. Xiang and X. Wang, "An Energy-Efficient Data-Dissemination Protocol in Wireless Sensor Networks," in *06th International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks WOWMOM*, 2006.
- [32] H. L. Xuan and S. Lee, "A Coordination-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Sensor Networks and Information Processing Conference*, 2004.
- [33] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin., "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing," in *Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01)*, Rome, Italy, July 2001.
- [34] S. Park, E. Lee, F. Yu and S.-H. Kim, "Scalable and robust data dissemination for large-scale wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, no. 3, pp. 1616 - 1624, 2010.
- [35] J. Albowitz, A. Chen and L. Zhang, "Recursive position estimation in sensor networks," in *9th IEEE International Conference on ICNP*, 2001.
- [36] Y. Yun and Y. Xia, "Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks with Mobile Sink in Delay-Tolerant Applications," *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 9, pp. 1308-1318, Sept. 2010.
- [37] M. Majma, H. Pedram, M. Dehghan and S. Almassi, "A New Protocol for Grid Based Data Dissemination In Wireless Sensor Network," in *21th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2013)*.
- [38] M. Majma, H. Pedram, M. Dehghan and S. Almassi, "Grid Based Data Dissemination Protocol for