

افزایش کارایی انرژی سیار بر اساس مسیریابی مربع شکل جهت شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

کد مقاله: ۲۲۴۹۲

مهدی رضاتبار^{۱*}، یاسره یوسف تبار^۲

چکیده

به دلیل طول عمر محدود باتری‌های گره‌های حسگر، طراحی یک پروتکل مسیریابی برای افزایش کارایی انرژی و طولانی‌تر شدن عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآبی، یک کار چالش برانگیز است. در این مقاله، برای تعادل مصرف انرژی گره‌ها در شبکه، پروتکل مسیریابی مربع شکل بر اساس افزایش کارایی انرژی سیار، پیشنهاد شده است. دو سینک سیار در دورترین فاصله از یکدیگر مستقر شده‌اند و به منظور پوشش حداکثری مساحت شبکه، هر دو سینک سیار در جهت عقربه‌های ساعت در یک مسیر خطی حرکت می‌کنند. سینک‌های سیار در محدوده مجاز انتقال، به طور مستقیم داده‌ها را از گره‌های حسگر دریافت می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی در مقایسه با طرح‌های SEEC و BEEC از لحاظ طول عمر شبکه، توان عملیاتی و مصرف انرژی، بهتر است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آبی، مسیریابی، سینک سیار، توان عملیاتی، کارایی انرژی.

۱- کارشناس ارشد مهندسی IT، شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)، mrezatabar@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، نرم افزار، دانشگاه مازندران

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ شامل تعداد زیادی گره حسگر و چند سینک مستقر در منطقه، برای انجام کارهای نظارتی می‌باشد. شبکه حسگر بی‌سیم زیرآبی^۲، یک سیستم در حال ظهور و با طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی مانند پیشگیری از آلودگی طبیعی، دفاع، استخراج نفت و معادن، نظارت بر آلودگی، کمک ناوبری، نظارت تاکتیکی، ارتباطات و حمل و نقل می‌باشد. UWSN برای ارتباط با گره از سیگنال و کانال صوتی استفاده می‌کند. موج شدن سیگنال‌ها، نویز و افت انتقال بر کانال صوتی اثر دارد که موجب افزایش نرخ خطای بیتی می‌شود. سیگنال‌های صوتی نسبت به فرکانس‌های رادیویی دارای پهنای باند و سرعت انتقال محدود (۱۵۰۰ متر بر ثانیه)، هستند. UWSN‌ها با چالش‌های بسیاری مانند تأخیر انتشار، پهنای باند محدود، نرخ خطای بیتی بالا و از دست دادن اتصال موقت نیز روبرو هستند.

زیردریایی‌های خودکار^۳ که برای جمع‌آوری اطلاعات از گره‌های حسگر استفاده می‌شوند، دارای شرایط محیطی سختی در زیر آب هستند و بدون نیاز به اپراتور حرکت کرده و عموماً کاربرد نظامی داشته و برای اهداف امنیتی استفاده می‌شوند. با این حال، از AUV‌ها برای جمع‌آوری اطلاعات به طور مستقیم از گره‌های حسگر جهت ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها در شبکه، استفاده می‌شود (Nowsheen, N. et al., 2016).

پروتکل‌های مسیریابی بسیاری جهت ایجاد تعادل در مصرف انرژی و افزایش توان عملیاتی شبکه، وجود دارد که در بخش بعدی به شرح کارایی تعدادی از آنها پرداخته می‌شود.

در این مقاله استفاده از پروتکل مسیریابی مربع شکل^۴ جهت ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها در شبکه پیشنهاد شده است. همچنین برای حفظ تعادل بار در گره‌ها و نیز کاهش فاصله بین منبع (گره) و مقصد (سینک) از روش پیمایش کامل منطقه استفاده شده است و برای جلوگیری از خوشه‌بندی و چندگانه بودن، از دو سینک سیار به طور مستقیم برای جمع‌آوری اطلاعات از گره‌های حسگر استفاده شده است. برای ذخیره کردن انرژی در مسافت‌های طولانی، دو سینک سیار MS1 و MS2 در یک مسیر خطی از قبل تعیین شده، حرکت می‌کنند و سینک‌های سیار با حرکت منطقی به طور مستقیم داده‌ها را از گره‌های حسگر دریافت می‌کنند. گره‌های حسگر نیز در محدوده مجاز انتقال، بسته‌های داده را به سینک‌ها ارسال می‌کنند. متعادل ساختن انرژی گره‌ها در زمان انتقال داده در این مکانیزم، سبب افزایش توان عملیاتی شبکه، طولانی‌تر شدن طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی در شبکه می‌گردد.

۲- کارهای انجام شده

تاکنون پروتکل‌های مسیریابی بسیاری، جهت ایجاد تعادل در مصرف انرژی و طولانی‌تر شدن طول عمر شبکه پیشنهاد شده است. در این بخش چندین پروتکل مسیریابی با کارایی انرژی مورد بحث قرار می‌گیرد.

در مرجع (Majid, A. et al., 2016)، برای تعادل بار بین گره‌ها در شبکه، از روش دسته بندی و سینک سیار استفاده شده است. در این روش، سر خوشه‌ها از میان گره‌هایی که بیشترین انرژی باقی مانده را دارند، برای جمع‌آوری داده‌ها از گره به صورت محلی انتخاب شده و سپس سینک‌های سیار به طور مستقیم داده‌های تجمع شده را از سرگروه‌ها دریافت کرده و به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. در این طرح دوره پایداری شبکه با کاهش مصرف انرژی بهتر شده ولی توان عملیاتی شبکه، پایین است. در مرجع (Azam, I. et al., 2016)، از روش خوشه بندی گره‌ها و چندگانه بودن برای طولانی‌تر کردن عمر شبکه استفاده شده است. در این روش مناطق شبکه بر اساس تراکم و پراکندگی گره‌ها دسته‌بندی شده که در مناطق متراکم از روش خوشه‌بندی و در مناطق پراکنده از دو سینک سیار برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. در این طرح طول عمر شبکه بهبود یافته ولی توان عملیاتی شبکه، پایین است.

در مرجع (Souiki, S. et al., 2015)، پیشنهاد دو روش خوشه‌بندی بر اساس افزایش کارایی انرژی با مسیریابی صحیح در درون یک خوشه^۵ (KEER) و بهبود ارتباط میان KEER‌ها، داده شده است. در روش KEER پس از تشکیل خوشه، سرخوشه بر اساس حداقل فاصله از مرکز خوشه و بیشترین انرژی باقی مانده، از میان گره‌های یک خوشه انتخاب می‌شود. سپس در روش بهبودیافته^۶ (EKEER)، از روش چندگانه بودن بین سرخوشه‌ها، برای انتقال داده‌های تجمع شده به ایستگاه پایه استفاده می‌شود.

در مرجع (Akbar, M. et al., 2016)، برای کاهش مصرف انرژی از گره‌های سرگروه و سینک سیار در UWSNs استفاده شده است. سینک سیار در حوزه شبکه حرکت می‌کند و در بازه‌های زمانی کوتاهی برای جمع‌آوری داده‌ها از گره‌ها متوقف

1. WSN: Wireless Sensor Networks
2. UWSNs: Underwater Wireless Sensor Networks
3. AUVs: Autonomous Underwater Vehicle
4. MEES: Mobile Energy Efficient Square routing
5. KEER: Clustering Energy Efficient Routing
6. Eenhance KEER

می‌شود. با توجه به متحرک بودن هر دو سینک و استفاده از گره‌های سرگروه، این کار موجب افزایش توان عملیاتی شبکه و طولانی‌تر شدن طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی گره‌ها در شبکه به بهای افزایش تأخیر مبدأ به مقصد شده است.

در مرجع (Javaid, N. et al., 2015)، استفاده از AUV برای جمع‌آوری داده‌های موثر و تحویل داده بصورت مداوم در UWSNs به عنوان یک وسیله کارا برای جمع‌آوری داده^۱ (AEDG) پیشنهاد شده است. گره‌های حسگر با استفاده از کوتاهترین مسیر درختی با گره گذرگاه^۲ در ارتباط هستند و داده‌های خود را به گره گذرگاه ارسال می‌کنند. سپس گره گذرگاه داده‌های جمع‌آوری شده را به AUV ارسال می‌نماید. برای به حداقل رساندن سربار داده و مصرف انرژی، فقط تعدادی از گره‌های بهینه شده پس از گذشت مدت زمان مشخصی در هر تغییر موقعیت گره گذرگاه، با آن ارتباط دارند. با کمک مسیرهای چندگانه در AUV و مجموعه انتخابی متصل شده^۳ (CDS)، توان عملیاتی شبکه بهبود یافته ولی بهای تأخیر مبدأ به مقصد در شبکه افزایش می‌یابد.

در مرجع (Ahmad, A. et al., 2015)، طرح انتقال داده با استفاده از سینک‌های سیار در شبکه بی‌سیم استاتیک مطرح شده است. در این طرح، از روشی مبتنی بر گروه برای پیدا کردن تعدادی گره حسگر استفاده شده و بر اساس بیشترین انرژی باقی مانده در هر گره، یک گره اصلی در هر دور انتخاب می‌شود. با تغییر گره اصلی در هر دور بر اساس انرژی باقی مانده، مصرف انرژی در شبکه متعادل می‌شود. اشکال عمده این طرح، افزایش بهای تأخیر مبدأ به مقصد است.

در مرجع (Ayaz, M. et al., 2012)، تحویل داده‌های قابل اطمینان با استفاده از ارسال بسته‌های بهینه به روش چندگانه، در شبکه‌های حسگر زیر آبی، ارائه شده است و با استفاده از الگوریتم 2H-ACK، یک مدل جدید و قابل اعتماد برای انتقال بهینه داده به سینک پیشنهاد شده است. گره منبع، پیام تصدیق^۴ (ACK) را از گره‌های همسایه دریافت می‌کند، سپس فاصله سینک و ارسال کننده داده را از لحاظ نحوه قرارگیری و نزدیک بودن به سینک بررسی می‌نماید. گره فرستنده یک کپی از داده‌های خود را تا زمان دریافت یک پیام تصدیق از گره گیرنده «مبنی بر این که اطلاعات شما با موفقیت به هاپ بعدی تحویل داده شده است»، نزد خود نگه می‌دارد. این طرح موجب بهبود بهای تحویل داده شده و مصرف انرژی شبکه را به حداقل رسانده است.

در مرجع (Zhang, S. et al., 2014)، پروتکل مسیریابی سیل آسا پیشنهاد شده است. پروتکل اصلاح شده مسیریابی بار انرژی^۵ (MEWR)، برای تأخیر برنامه‌های کاربردی حساس در UWSNs استفاده می‌شود. طراحی یک مسیر عمومی و جهانی به دلیل حرکت گره‌ها در امواج دریا، برای زیر آب مناسب نیست. الگوریتم پیشنهادی با مشکلات حرکتی مواجه بوده و مسئول رسیدگی به تأخیر مبدأ به مقصد در شبکه می‌باشد. در این طرح توان عملیاتی شبکه بالا است.

در مرجع (Qarabaqi, P. & Stojanovic, M., 2011)، پروتکل مسیریابی کنترل توان تطبیق‌پذیر برای ارتباطات صوتی در زیر آب پیشنهاد شده است. کنترل توان برای حالت فعلی کانال حاضر با استفاده از اطلاعات رسیده از فیدبک تعیین می‌شود و فرستنده با پیش بینی حالت بعدی خود، توان خود را بر این اساس تنظیم می‌کند. در این طرح با وجودی که شبکه پایدار است ولی هزینه تأخیر برای پیش بینی همسایه بعدی در دور رفت و برگشت، بالا است.

در مرجع (Ahmad, A. et al., 2013)، پیشنهاد یک پروتکل مسیریابی کمکی برای کارایی انرژی در شبکه‌های حسگر آکوستیک در زیر آب مطرح شده است که یک گره بر اساس شاخص قدرت سیگنال دریافتی^۶ (RSSI) به عنوان گذرگاه انتخاب می‌شود و سپس یک بسته با ارزش با عنوان پیام سلام را از AUV دریافت می‌کند. با گذشت زمان گره‌های گذرگاه جدیدی بر اساس انرژی باقی مانده، انتخاب می‌شوند. در این طرح هزینه تحویل داده بالا است و مصرف انرژی در شبکه به بهای تأخیر مبدأ به مقصد کاهش یافته است.

در مرجع (Javaid, N. et al., 2016)، طرح ارتقا یافته‌ای برای مصرف انرژی متعادل و کارآمد^۷ (EEBET) جهت برطرف نمودن کمبودهای BTM معرفی شده است. EEBET برای کاهش مصرف انرژی گره‌ها در شبکه از انتقال مستقیم داده در مسافت‌های طولانی جلوگیری می‌کند. اشکال عمده آن این است که مشکل حفره انرژی هنوز هم وجود دارد، با این حال در این طرح، توان عملیاتی شبکه به‌طور قابل توجهی نسبت به قبل، افزایش یافته است.

در مرجع (Park, J. et al., 2014)، پیشنهاد جمع‌آوری داده‌ها بر اساس روش خوشه‌بندی و استفاده از یک سینک سیار شده است که حجم زیادی از داده توسط سرخوشه‌ها و سینک سیار جمع‌آوری شده و سپس به ایستگاه پایه ارسال می‌شود. در این طرح هزینه تحویل بسته و مصرف انرژی در شبکه بسیار بالا است.

در مرجع (Cao, J. et al., 2015)، در مکانیسم انتقال متوازن^۸، انرژی هر گره را برای ایجاد تعادل بار در میان تمام گره‌ها، به سطوح انرژی تقسیم نموده و گره‌ها با سینک با استفاده از روش مستقیم و یا چندگانه بودن، ارتباط برقرار می‌کنند. هدف اصلی

1. AEDG: Aided Efficient Data Gathering

2. Gateway

3. CDS: Connected Dominating sets

4. Acknowledge

5. MEWR: Modified Energy Weight Routing

6. RSSI: Received Signal Strength Indicator

7. EEBET: Enhanced Efficient and Balanced Energy consumption Technique

8. BTM: Balanced Transmission Mechanism

از BTM موازنه بار بر روی گره‌ها، جهت کاهش مصرف انرژی است. از معایب BTM، افزایش مصرف انرژی در ارتباط مستقیم در فاصله‌های طولانی و عدم تعادل مصرف انرژی در گره‌ها نزدیک و دورتر از سینک می‌باشد.

یک استراتژی بسیار پویا و سازگار با محیط زیر آب در مرجع (Al-Bzoor, M. et al., 2013) مطرح شده است که ضامن حداقل مصرف انرژی با استقرار یک سینک می‌باشد. سینک بر اساس اطلاعات مسیریابی و جهت حرکت جریان آب برای حرکت‌های بعدی خود در محیط زیر آب تصمیم می‌گیرد. در این طرح گره‌های استفاده شده از قدرت نسبتاً بیشتری برای برقراری ارتباط برخوردار هستند. برتری این توان بالا در این است که نقل و انتقال سینک در موقعیت جدید نسبت به سطح قبلی سینک بهینه‌سازی می‌شود. در این طرح طول عمر شبکه بالا است و مصرف انرژی در شبکه به بهای تأخیر مبدأ به مقصد کاهش یافته است.

۳- انگیزه و هدف

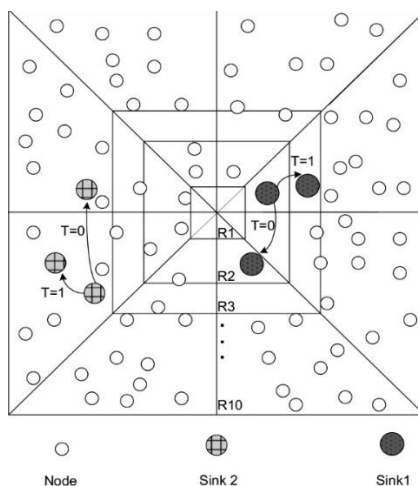
SEEC و BEEC دو پروتکل محلی‌سازی رایگان هستند. در پروتکل SEEC، از روش خوشه بندی و سینک سیار برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. نحوه دسته بندی حوزه‌ها در شبکه بصورت مناطق پراکنده و متراکم بر اساس تراکم گره‌ها در شبکه می‌باشد. در خوشه بندی منطقه متراکم بر اساس انرژی باقی مانده در گره‌ها، یک نود به عنوان سرخوشه انتخاب شده و این گره سرگروه است که داده‌های جمع‌آوری شده را از طریق چند گامه بودن به نزدیک‌ترین سینک سیار تعیین شده، می‌فرستد. در مناطق پراکنده از دو سینک سیار برای جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آن به ایستگاه پایه استفاده می‌شود. در این طرح طول عمر شبکه بهبود یافته ولی توان عملیاتی شبکه، پایین است (Hameed, A.R. et al., 2016). در پروتکل BEEC، حوزه شبکه به مناطق دایره‌ای شکل تقسیم شده است و هر منطقه نیز دارای چند زیر بخش می‌باشد. دو سینک سیار در فاصله‌ای دور از هم در یک مسیر از پیش تعیین شده حرکت کرده و به طور مستقیم برای جمع‌آوری اطلاعات از گره‌های حسگر اقدام می‌کنند. حرکت دایره‌ای مشابه، توسط سینک‌ها موجب افزایش بسته‌های رها شده و کاهش گره‌های شبکه، با گذشت زمان می‌شود. برای مقابله با این مشکل، پروتکل MEES پیشنهاد شده است.

۴- طرح پیشنهادی

در این مقاله، انرژی کارآمد برای پروتکل مسیریابی UWSNs مطرح شده است. در طرح پیشنهادی MEES، برای پوشش حداکثری، مساحت شبکه به مناطقی مربع شکل تقسیم شده و هر منطقه نیز به چند زیر بخش یا ناحیه کوچکتر تقسیم می‌شود. دو سینک سیار نیز در جهت عقربه‌های ساعت در یک مسیر خطی برای پوشش حداکثری مساحت شبکه حرکت می‌کنند. سینک‌های سیار در محدوده مجاز انتقال به طور مستقیم داده‌ها را از گره‌های حسگر دریافت می‌کنند و با توجه به حرکت خطی، حداکثر تعداد گره‌ها توسط سینک‌ها، نسبت به BEEC و SEEC حس می‌شوند. جزئیات طرح پیشنهادی در ادامه و در چهار بخش تشریح می‌شود.

۴-۱- پیکربندی شبکه

گره‌های حسگر به صورت تصادفی با انرژی یکسان در یک شبکه مربعی شکل مستقر شده‌اند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، جهت پوشش حداکثری، شبکه به ۱۰ منطقه مربعی شکل تقسیم شده و هر منطقه نیز به ۸ ناحیه مستقل تقسیم شده است. در ابتدا تمام گره‌های حسگر دارای انرژی یکسان بوده و نیز دو سینک سیار در محلی مشخص برای جمع‌آوری اطلاعات از گره‌های حسگر استقرار یافته‌اند. جهت ایجاد حداکثر پوشش در کل مساحت شبکه، سینک MS1 در یک نیمه شبکه و سینک MS2 در نیمه دیگر شبکه مستقر شده‌اند.



شکل ۱: مدل شبکه MEES

۲-۴- مقدار دهی اولیه شبکه

پس از راه اندازی شبکه، بسته پیام (شکل ۲)، حاوی سلام از طرف گره های حسگر به سینک های سیار به منظور دریافت مختصات محل استقرار سینک ها بر اساس فرمول های ۱ و ۲ ارسال می شود:

$$distMs_1 = \sqrt{(x - M_{sx})^2 + (y - M_{sy})^2} \quad (۱)$$

$$distMs_2 = \sqrt{(x - M_{sx})^2 + (y - M_{sy})^2} \quad (۲)$$

سپس از طرف سینک های سیار، پیام تصدیق (ACK) و مختصات محل استقرار هر سینک به گره ها ارسال می شود. هر زمان که سینک سیار در محدوده مجاز انتقال داده قرار گیرد، عملیات انتقال داده از گره ها به سینک های سیار صورت می گیرد.



شکل ۲. فرمت بسته پیام حاوی سلام

۳-۴- سینک سیار

جهت ایجاد حداکثر پوشش در کل مساحت شبکه در ابتدای کار، سینک MS1 در منطقه اول و سینک MS2 در منطقه پنجم، مستقر می شوند. روش محاسبه ناحیه A در فیلد شبکه بر اساس فرمول ۳ است:

$$A = L \times W \quad (۳)$$

که در آن L طول شبکه و W پهنای فیلد شبکه است.

$$a_i = l_i \times w_i \quad (۴)$$

فرمول ۴ برای محاسبه مساحت منطقه که در آن $i = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$ است استفاده می شود. برای محاسبه هشت زیربخش در هر منطقه بر اساس فرمول ۵ عمل می شود:

$$Sa_j = \frac{l_j \times w_j}{s_i} \quad (۵)$$

S_i مجموع اضلاع مثلث را نشان می دهد و j تعداد نواحی است.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، هر دو سینک سیار در یک مسیر خطی در جهت عقربه های ساعت برای پوشش حداکثری به گره ها در شبکه حرکت می کنند. سینک های سیار با حرکت منطقی به طور مستقیم داده ها را از گره های حسگر دریافت می کنند. گره های حسگر نیز در محدوده مجاز انتقال، بسته های داده را به سینک ها ارسال می کنند. این روند تا انتهای طول عمر شبکه ادامه می یابد.

۴-۴- انتقال داده

انرژی باقی مانده هر گره قبل از انتقال مورد آزمایش قرار گرفته و اگر انرژی باقی مانده گره بزرگتر از انرژی لازم برای انتقال باشد آنگاه گره واجد شرایط برای انتقال داده به سینک های سیار می باشد.

انرژی باقی مانده گره $<$ انرژی مورد نیاز برای انتقال

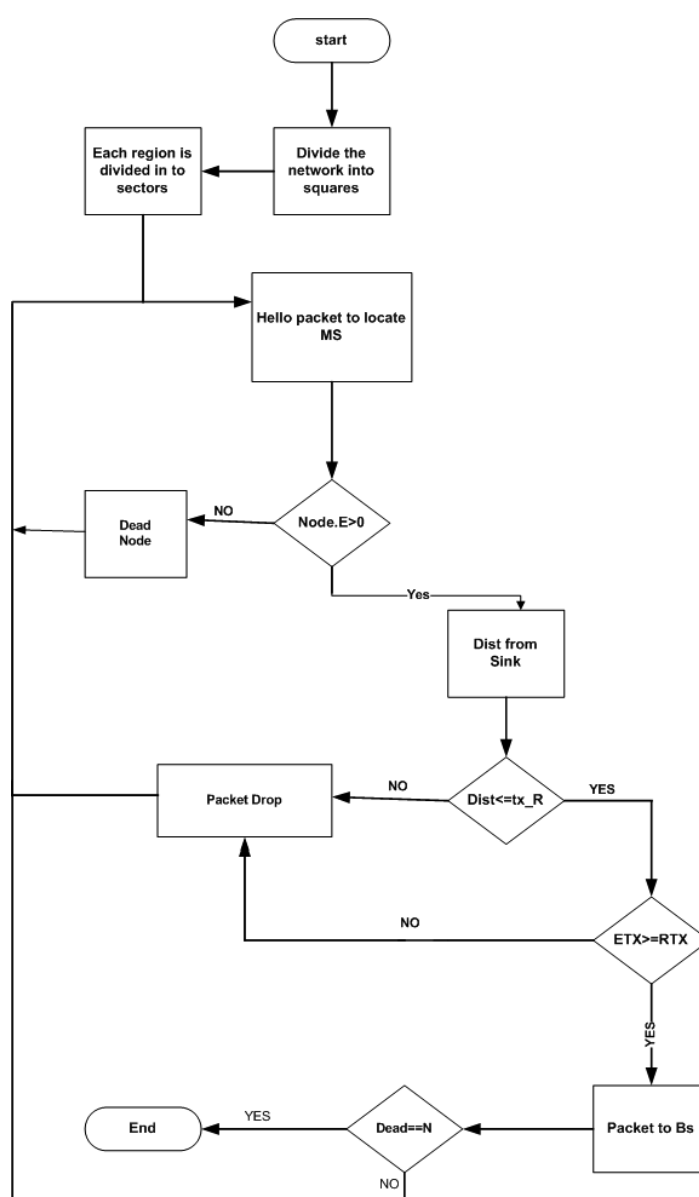
همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، فاصله هر گره از سینک سیار با استفاده از معادلات ۱ و ۲ تعیین می شود. سپس در صورت، بودن گره در محدوده مجاز انتقال، عملیات انتقال داده ها به سینک سیار صورت می گیرد. بازه محدوده انتقال $<$ فاصله بین گره و سینک

۵- شبیه سازی و نتایج

نتایج حاصل از شبیه سازی طرح پیشنهادی MEES و مقایسه آن با پروتکل های BEEC و SEEC نشان می دهد که در پروتکل SEEC مصرف انرژی شبکه بالاتر است و توان عملیاتی آن پایین می باشد. همچنین ارزیابی نتایج نشان می دهد که در پروتکل BEEC ضریب افت بسته ها به علت تعداد زیاد گره ها در شبکه، بالا است.

پارامترهای شبیه سازی در جدول ۱ ذکر شده است. حوزه شبکه مربع فرض شده است و مساحت شبکه ۱۰۰۰ مترمربع است. تعداد گره ها ۲۰۰ و تعداد سینک ها ۲ عدد که با فاصله از هم قرار دارند و محدوده مجاز انتقال داده در این سناریو ۶۵ متر است. قدرت انتقال هر گره ۲ وات و انرژی اولیه هر گره ۵ ژول است.

- طول عمر شبکه: مدت زمانی که در آن تمام گره های حسگر در شبکه زنده هستند.
- انرژی باقی مانده: انرژی باقی مانده گره بعد از هر انتقال، که برحسب ژول محاسبه می شود.
- پایداری دوره: مدت زمانی که در آن تمام نودها زنده هستند (از ابتدای راند ۱ تا قبل از مردن اولین گره در شبکه).
- بی ثباتی دوره: به مدت زمان مابین مرگ اولین گره تا مرگ آخرین گره گفته می شود.
- توان عملیاتی شبکه: تعداد بسته های موفق که سینک های سیار از گره های حسگر دریافت می کنند.



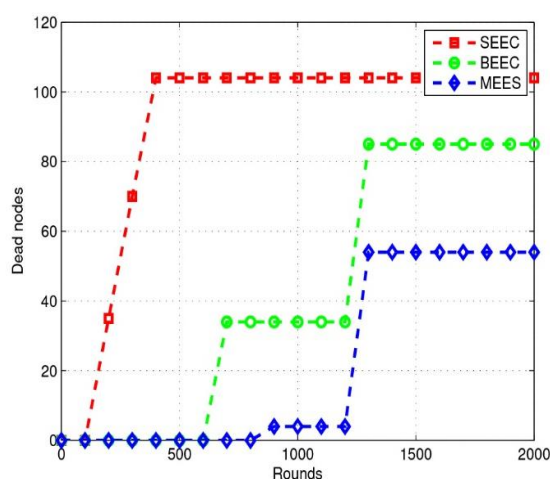
شکل ۳: فلوچارت داده

جدول ۱: پارامترهای شبیه سازی

پارامتر	مقادیر
تعداد گره (نود)	۲۰۰ عدد
تعداد سینک	۲ عدد
مساحت شبکه	۱۰۰۰ مترمربع
فاصله بین دو منطقه	۱۰۰ متر
دامنه مجاز انتقال داده	۶۵ متر
انرژی کل شبکه	۱۰۰۰ ژول
قدرت انتقال هر گره	۲ وات
انرژی اولیه هر گره	۵ ژول

۵-۱- پایداری و بی ثباتی دوره

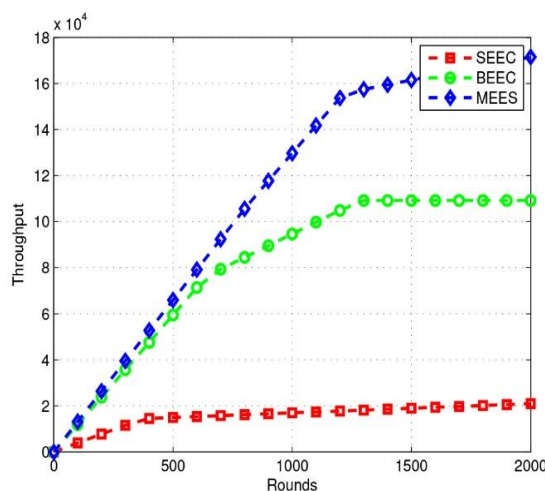
شکل ۴ نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی MEES نسبت به SEEC و BEEC با ثبات‌تر است. در پروتکل SEEC گره‌های حسگر سرخوشه نزدیک به سینک و ایستگاه پایه به خاطر چندگامه بودن و انتقال بار نودها و نامتعادل بودن انرژی زودتر می‌میرند و شبکه نامتعادل و ناپایدارتر است. در پروتکل BEEC دو سینک سیار در مسیر از قبل تعیین شده برای جمع‌آوری داده از گره‌های حسگر به طور مستقیم حرکت می‌کنند. در این پروتکل به دلیل حرکت دایره‌ای سینک‌ها و افزایش بسته‌های رها شده، شبکه ناپایدار است. در پروتکل MEES به علت استفاده از حرکت خطی و پوشش حداکثری، انرژی مصرفی متعادل بوده و شبکه پایدارتر است.



شکل ۴: نمودار دوره پایداری شبکه

۵-۲- توان شبکه

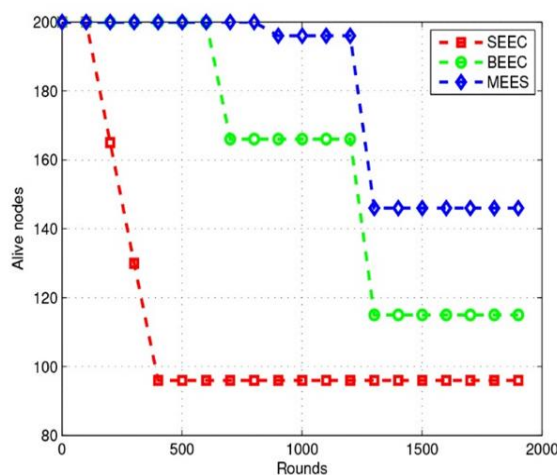
در SEEC به دلیل استفاده از خوشه‌بندی و چندگامه بودن در مناطق متراکم، و جمع‌آوری بسته‌های داده از همسایگان توسط سرخوشه و ارسال بسته داده‌های تجمیع شده به ایستگاه پایه، دارای توان عملیاتی شبکه پایین است. در BEEC حرکت دو سینک سیار در مسیر دایره ای برای جمع‌آوری داده‌ها به طور مستقیم از گره‌های حسگر صورت می‌گیرد. حرکت دایره‌ای مشابه، توسط سینک‌ها موجب کاهش گره‌های شبکه و نیز کاهش توان عملیاتی، با گذشت زمان می‌شود. بنابراین، MEES با در نظر گرفتن حرکت خطی برای سینک‌ها، این مشکل را برطرف نموده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، توان عملیاتی شبکه در MEES به علت استفاده از حرکت خطی سینک‌ها در جهت عقربه‌های ساعت برای پوشش حداکثری گره‌ها در شبکه بالا است.



شکل ۵: نمودار توان عملیاتی شبکه

۳-۵- طول عمر شبکه

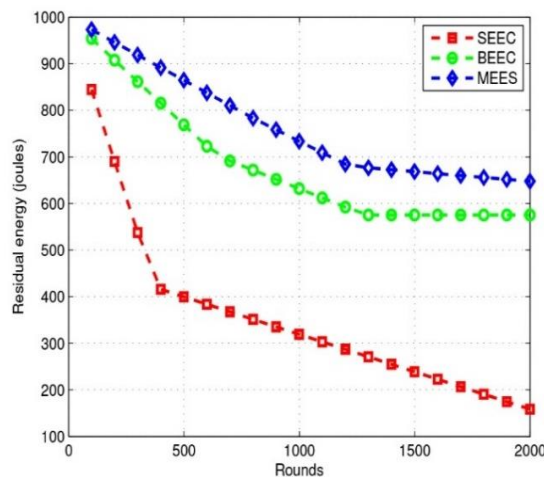
همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است طول عمر شبکه MEES نسبت به SEEC و BEEC بیشتر است. در SEEC چندانکه بودن برای گره‌های نزدیک به سینک‌ها و گره‌هایی که نزدیک به سطح آب، مجاور ایستگاه پایه واقع شده‌اند، موجب نامتعادل شدن مصرف انرژی در گره‌ها شده و این خود تأثیر مستقیم بر کاهش طول عمر شبکه دارد. در حالی که در BEEC حرکت دو سینک سیار در مسیر دایره ای برای جمع‌آوری داده‌ها به طور مستقیم از گره‌های حسگر انجام می‌شود. بارگذاری داده در حرکت دایره‌ای، توانایی گره‌ها را در محدوده شبکه کاهش داده و در نتیجه طول عمر شبکه کم می‌شود. بنابراین، MEES برای تعادل بار بین گره‌ها، به حداکثر رساندن پوشش شبکه و بهبود کارایی شبکه، از حرکت خطی برای هر دو سینک استفاده نموده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که MEES شامل تعداد بیشتری از گره‌های زنده نسبت به SEEC و BEEC است.



شکل ۶: نمودار طول عمر شبکه

۴-۵- انرژی مصرفی شبکه

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده، انرژی مصرفی شبکه MEES نسبت به SEEC و BEEC کمتر است. در SEEC انرژی در طول شکل‌گیری خوشه و انتخاب سرخوشه در هر راند شبکه، مصرف می‌شود و چندانکه بودن در نزدیک سینک و ایستگاه پایه که در سطح آب واقع شده، موجب مصرف بیش از حد انرژی شبکه می‌شود. در BEEC حرکت دایره‌ای سینک برای پوشش حداکثری مساحت شبکه، موجب افزایش بسته‌های رها شده، عدم تعادل و افزایش مصرف انرژی در شبکه می‌شود. در MEES حرکت خطی هر دو سینک سیار در جهت عقربه‌های ساعت برای پوشش حداکثری کل مساحت شبکه، موجب تعادل انرژی مصرفی شبکه می‌شود.



شکل ۷: نمودار مصرف انرژی شبکه

۵-۵- تعادل عملکرد

در BEEC نسبت افت بسته‌ها که با گذشت زمان افزایش می‌یابد و هزینه مصرفی بالای انرژی موجب کاهش توان عملیاتی شبکه می‌شود. همچنین در SEEC نیز، خوشه‌بندی در مناطق متراکم موجب نامتعادل شدن انرژی مصرفی شبکه شده و این طرح طول عمر شبکه را کوتاه‌تر و هزینه عملیاتی را افزایش می‌دهد. در طرح پیشنهادی MEES، از مکانیزم حرکت خطی برای به حداکثر رساندن پوشش شبکه استفاده شده است و این طرح موجب توان عملیاتی بیشتر شبکه، طول عمر طولانی‌تر شبکه، مصرف انرژی متعادل‌تر در شبکه و بهای تأخیر مبدأ به مقصد کمتری در شبکه شده است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک پروتکل مسیریابی جهت افزایش کارایی انرژی و تعادل بار بین گره‌ها در UWSN پیشنهاد شده است. پروتکل پیشنهادی MEES از دو سینک سیار برای پوشش حداکثری شبکه استفاده می‌نماید. هر دو سینک سیار مسیر خطی از قبل تعیین شده‌ای را بصورت دوره‌ای برای جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های حسگر به‌طور مستقیم طی می‌کنند و این حرکت خطی موجب افزایش توان عملیاتی شبکه و طولانی‌تر طول عمر شبکه می‌شود. حرکت دوره‌ای سینک‌ها موجب تعادل بار بین گره‌ها شده و این عمل مصرف انرژی شبکه را کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در طرح پیشنهادی، انرژی کارآمدتر است و نسبت به SEEC و BEEC دارای توان عملیاتی بیشتر، طول عمر طولانی‌تر، مصرف انرژی متعادل‌تر و بهای تأخیر مبدأ به مقصد کمتری می‌باشد.

منابع

1. Ahmad, A., Rathore, M.M., Paul, A. and Chen, B.W., (2015). "Data transmission scheme using mobile sink in static wireless sensor network", Journal of Sensors, pp.4.
2. Ahmad, A., Wahid, A. and Kim, D., (2013). "AEERP: AUV aided energy efficient routing protocol for underwater acoustic sensor network", Proceedings of the 8th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks, pp. 53-60.
3. Akbar, M., Javaid, N., Khan, A.H., Imran, M., Shoaib, M. and Vasilakos, A., (2016). "Efficient Data Gathering in 3D Linear Underwater Wireless Sensor Networks Using Sink Mobility", Sensors, 16(3), p. 404.
4. Al-Bzoor, M., Zhu, Y., Liu, J., Ammar, R., Cui, J.H. and Rajasekaran, S., (2013). "An adaptive surface sink redeployment strategy for Underwater Sensor Networks", IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp. 801-806.
5. Ayaz, M., Jung, L.T., Abdullah, A. and Ahmad, I., (2012). "Reliable data deliveries using packet optimization in multi-hop underwater sensor networks", Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 24(1), pp. 41-48.

6. Azam, I., Majid, A., Ahmad, I., Shakeel, U., Maqsood, H., Khan, Z.A., Qasim, U. and Javaid, N., (2016). "SEEC: Sparsity-aware energy efficient clustering protocol for underwater wireless sensor networks". IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 352-361.
7. Cao, J., Dou, J. and Dong, S., (2015). "Balance transmission mechanism in underwater acoustic sensor networks", International Journal of Distributed Sensor Networks, p. 2.
8. Hameed, A.R., Javaid, N., Saif-ul-Islam, Ahmed, G., Qasim, U., Khan, Z.A., (2016). "BEEC: Balanced energy efficient circular routing protocol for underwater wireless sensor networks", 8th IEEE International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), pp.1-7.
9. Javaid, N., Ilyas, N., Ahmad, A., Alrajeh, N., Qasim, U., Khan, Z.A., Liaqat, T. and Khan, M.I., (2015). "An Efficient Data-Gathering Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks", Sensors, 15(11), pp. 29149-29181.
10. Javaid, N., Shah, M., Ahmad, A., Imran, M., Khan, M.I. and Vasilakos, A.V., (2016). "An Enhanced Energy Balanced Data Transmission Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks", Sensors, 16(4), p. 487.
11. Majid, A., Azam, I., Waheed, A., Zain-ul-Abidin, M., Hafeez, T., Khan, Z.A., Qasim, U. and Javaid, N., (2016). "An energy efficient and balanced energy consumption cluster based routing protocol for underwater wireless sensor networks", IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 324-333.
12. Nowsheen, N., Karmakar, G. and Kamruzzaman, J., (2016). "PRADD: A path reliability-aware data delivery protocol for underwater acoustic sensor networks", Journal of Network and Computer Applications, pp. 1-15.
13. Park, J., Bok, K., Seong, D., Kim, S. and Yoo, J., (2014). "A data gathering method based on a mobile sink for minimizing the data loss in wireless sensor networks", International Journal of Distributed Sensor Networks, pp. 1-7.
14. Qarabaqi, P. and Stojanovic, M., (2011). "Adaptive power control for underwater acoustic communications", OCEANS 2011 IEEE Spain, pp. 1-7.
15. Souiki, S., Hadjila, M. and Feham, M., (2015). "Energy efficient routing for Mobile underwater wireless sensor networks". Programming and Systems (ISPS), 12th International Symposium, IEEE, pp. 1-6.
16. Zhang, S., Wang, Z., Liu, M. and Qiu, M., (2014). "Energy-aware routing for delay-sensitive underwater wireless sensor networks", Science China Information Sciences, 57(10), pp. 1-14.