پروتکل مسیریابی ترکیبی کارا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب

جاوید توکلی و ندا مقیم

چکیده: شبکه حسگر بی‌سیم زیر آب (UWSN) نوعی خاص از شبکه‌های حسگر می‌باشد که در دهه‌های گذشته، حوزه عملیاتی آن به نقاط زیر آبی نیز توسعه یافته است اما این نوع از شبکه‌ها به دلیل عدم حضور GPS[1] (سیستم مکان‌یابی سراسری) چالش‌های بسیاری دارند. این شبکه‌ها با محدودیت‌هایی از قبیل تأخیر انتشار زیاد، پهنای باند کم، نرخ خطای بیتی بالا، جابه‌جایی، حافظه و باتری محدود، محققان را با چالش‌های فراوانی روبه‌رو ساخته‌اند. در مقایسه با شبکه‌های حسگر زمینی، حسگرها در شبکه‌های بی‌سیم زیر آب به سبب استفاده از تکنولوژی صوتی در ارتباطات، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. انگیزه این پژوهش پیشنهاد یک الگوریتم مسیریابی برای محیط‌های سیستمی زیر آبی با انرژی محدود می‌باشد. گره‌های حسگر واقع‌شده در بستر دریا نمی‌توانند به طور مستقیم با گره‌های نزدیک سطح ارتباط برقرار کنند، بنابراین نیازمند ارتباطات چندگامی مهیاشده با طرح مسیریابی مناسب می‌باشند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی گره روشی رایج برای سازماندهی ترافیک داده و کاهش ارتباطات درون شبکه‌ای همراه با بهبود قابلیت مقیاس‌پذیری و بهبود توازن بار به همراه کمینه‌کردن مصرف انرژی کلی سیستم می‌باشد. بنابراین در این مقاله یک پروتکل مسیریابی خوشه‌بندی فازی همراه با تکنیک تجمیع داده با مصرف انرژی متعادل برای UWSNها پیشنهاد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در پروتکل پیشنهادی توزیع مصرف انرژی در شبکه به طور یکنواخت بوده، از متوسط مصرف انرژی و تعداد بسته‌های مسیریابی کاسته شده و در نهایت باعث بهبود در نرخ تحویل بسته و گذردهی نسبت به الگوریتم‌های DABC و IDACB شده است.

کلیدواژه: **تجمیع داده، خوشه‌بندی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب، فازی، مسیریابی ترکیبی کارا.**

۱- مقدمه

زمین یک سیاره آبی می‌باشد که بیش از نیمی از آن از آب تشکیل شده است. با این وجود به طور حیرت‌انگیزی تا کنون بسیاری از نقاط اقیانوس‌های آن به صورت کشف‌نشده باقی مانده است. از آنجا که در طول دهه‌ها، علاقه ویژه‌ای به نظارت بر محیط‌های آبی به منظور تحقیقات علمی، بهره‌برداری‌های تجاری و حفاظت‌های ساحلی وجود داشته است شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب به وجود آمدند [۱].

شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب شامل گره‌هایی حسگر می‌باشند که برای نظارت بر وقایع محیطی ایجاد شده‌اند. این گره‌ها پس از دریافت اطلاعات، آنها را از طریق شبکه زیر آب به یک گره جمع‌آوری‌کننده منتقل می‌کنند که این گره، داده‌ها را به ایستگاه کنترل[2] ارسال می‌نماید.

این مقاله در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ دریافت و در تاریخ ۲۷ بهمن ۱۳۹۶ بازنگری شد. این تحقیق توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد پشتیبانی شده است.

جاوید توکلی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، (email: javid.tavakoli@hotmail.com).

ندا مقیم، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: n.moghim@eng.ui.ac.ir).

1. Global Positioning System
2. Base Station

گره‌های حسگر زیر آب تجهیزاتی کوچک با انرژی محدود و حافظه کم می‌باشند. برخلاف شبکه‌های حسگر سنتی، حسگرها در UWSN به سبب تکنولوژی صوتی به کار رفته در ارتباطات زیر آب، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند و علاوه بر این، جایگزینی آنها پرهزینه و مشکل است. ارتباطات زیر آب ممکن است شامل انتقال اطلاعات در سه شکل (امواج نوری، الکترومغناطیسی یا صوتی) باشد و هر یک از این تکنیک‌ها مزایا و معایب خود را دارند. سیگنال‌های الکترومغناطیس کارایی خیلی ضعیفی در زیر آب دارند و تنها محدوده‌های انتقالی در حد چندین متر در توان انتقالی حسگر معمولی را فراهم می‌نمایند. ارتباط نوری برای شبکه‌های حسگر زیر آب به کمک امواج نوری نیز مورد بررسی قرار گرفته است، این روش‌ها یا نیازمند دقت بالا بوده و یا اگر فواصل بین گره‌های حسگر زیاد شود نیاز به توان بالایی دارند. در نتیجه شبکه‌های صوتی با امواج صوتی راهکار جایگزین ایده‌آلی هستند چرا که سیگنال‌های صوتی به خوبی در سرتاسر آب انتشار یافته و نیازمند توان خیلی کمتری نسبت به سیگنال‌های نوری و امواج الکترومغناطیسی در محدوده‌های ارتباطی یکسان می‌باشند [۲] تا [۴].

اگرچه شبکه‌های حسگر زیر آب نقاط اشتراکی مثل زیادبودن تعداد گره‌ها و محدودیت انرژی با شبکه‌های حسگر زمینی دارند اما اساساً با شبکه‌های حسگر زمینی در بسیاری از جهات متفاوت هستند که در این رابطه می‌توان به پهنای باند محدود، تضعیف شدید انتشار در کانال، تأخیرهای انتشار طولانی و متغیر و نیز نرخ خطای بیتی بالا اشاره کرد. علاوه بر این شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب برخلاف شبکه‌های زمینی از امواج صوتی برای ارتباطات خود استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر شبکه‌های زمینی از فرکانس رادیویی استفاده می‌نمایند که مناسب آب‌های دریایی نمی‌باشد چرا که فرکانس‌های پایین در چندین متری دچار تضعیف می‌شود و نیازمند آنتن‌های بلند و قدرت انتقال بالایی است [۲] تا [۵].

چالش اصلی روش‌های سنتی جمع‌آوری داده در زیر آب، بازیابی اطلاعات گردآوری شده به صورت دستی بود که جمع‌آوری داده با تأخیرهای طولانی همراه بود. بنابراین تحقیقاتی در راستای ارائه پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب انجام شد چرا که مسیریابی ستون فقرات هر شبکه بوده و پروتکل‌های مسیریابی مسئول کشف و نگهداری مسیرها هستند. در کاربردهای زیر آب، گره‌های حسگر معمولاً بر نواحی وسیع گسترده می‌شوند و محیط‌های نزدیک به هم را به صورت دوره‌ای حس کرده و داده حاصل را به یک چاهک[3] یا ایستگاه اصلی انتقال می‌دهند. حسگرهای زیر آب با باتری تغذیه شده و جایگزینی گره‌ها و شارژ مجدد منبع تغذیه آنها مشکل و پهنای باند ارتباطی بی‌سیم نیز برای آنها محدود است. لذا به سبب مشخصات منحصر به فرد این نوع شبکه‌ها، اکثر پروتکل‌های مسیریابی پیشنهادی برای شبکه‌های حسگر زمینی به سبب مبادلات پیوسته پیام‌های کنترلی یا پروسه کشف مسیر وابسته به تکنیک ارسال سیل‌آسا نمی‌توانند در

3. Sink

Archive of SID

www.SID.ir

UWSN استفاده شوند. لذا پروتکل‌های انرژی کارای مناسبی باید برای UWSN طراحی شوند تا از مصرف انرژی کاسته و طول عمر شبکه را افزایش دهند. در این راستا خوشه‌بندی گره‌های حسگر به عنوان یک روش کارا برای بهبود تعادل بار شبکه و مقیاس‌پذیری هم‌زمان با کاهش مصرف انرژی کلی سیستم به اثبات رسیده است. برای کاهش تعداد انتقالات از مفهوم خوشه‌بندی استفاده می‌شود بدین صورت که در خوشه‌بندی هر گره مسئول برقراری ارتباط با سرخوشه[1] خودش می‌باشد و هر سرخوشه داده‌ها را از گره‌هایی در مجاورت خود جمع‌آوری کرده و به چاهک ارسال می‌نماید. بنابراین ایجاد خوشه با فشرده‌سازی داده‌ها در سرخوشه، انرژی را ذخیره کرده و ارتباطات سراسری را به ارتباطات فشرده محلی تقلیل می‌دهد. از طرف دیگر خوشه‌بندی گره و تجمیع داده[2] در سطح سرخوشه‌ها دو روش رایج برای سازماندهی ترافیک داده و کاهش افزونگی‌های درون شبکه می‌باشند و در عین حال مصرف انرژی و مقیاس‌پذیری را بهبود می‌بخشند. در حقیقت خوشه‌بندی گره‌ها، شبکه را کوچک‌تر می‌نماید و طول عمر آن را با کاهش تبادلات داده بین گره‌ها و سرخوشه، افزایش می‌دهد. نقش اصلی تجمیع داده نه تنها در حذف داده‌های افزوده دریافتی از گره‌های حسگر است بلکه تعداد ارسالات به چاهک را نیز کاهش می‌دهد. انتقال داده افزونه توسط سرخوشه‌ها، تعداد انتقالات را افزایش می‌دهد و لذا تجمیع داده با جمع‌آوری بحرانی‌ترین داده‌ها از حسگرها و در دسترس قرار دادن آنها برای ایستگاه کاری یا چاهک به روشی مؤثر از نظر انرژی و نیز با کمترین تأخیر داده استفاده می‌شود. بنابراین ترکیب دو تکنیک خوشه‌بندی و تجمیع داده باعث افزایش کارایی شبکه می‌شود. در اکثر پروتکل‌های خوشه‌بندی پیشنهادی، سرخوشه‌ها تمامی داده‌های دریافتی مشابه را به ایستگاه کاری ارسال می‌کنند. بنابراین فقدان پروتکل‌های انرژی کارای مناسب برای مدیریت چنین مسئله‌ای سبب شد تا پروتکل خوشه‌بندی‌ای پیشنهاد شود که در آن از تکنیک تجمیع داده در کنار خوشه‌بندی در راستای بهینه‌سازی الگوریتم استفاده شود. لازم به ذکر است مصرف انرژی کارا بدین صورت تعریف می‌شود که بار کاری بیشتر با مصرف انرژی کمتری به دست آید. مصرف انرژی کارا رابطه مستقیمی با طول عمر شبکه دارد، علاوه بر این طول عمر شبکه با مصرف انرژی متعادل گره‌ها در شبکه یا تقسیم مساوی بار روی گره‌ها نیز بهبود می‌یابد [۶] تا [۹].

در راهکار پیشنهادی فرض می‌شود که هر خوشه توسط یک سرخوشه و چندین گره عضو تشکیل می‌شود. نقش سرخوشه جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های عضو خود و تجمیع آنها قبل از ارسال به چاهک می‌باشد. بنابراین گره‌های حسگر، داده‌های خود را به سرخوشه‌ای که عمل تجمیع داده‌ها را به صورت دوره‌ای انجام می‌دهد ارسال می‌کنند. با در نظر گرفتن موارد مذکور، در این مقاله تکنیکی جهت خوشه‌بندی فازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب پیشنهاد می‌شود که در آن از سیستم فازی برای انتخاب سرخوشه‌های مناسب به عنوان گره‌های جمع‌آوری‌کننده داده استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی تعداد بسته‌های مسیریابی و متوسط مصرف انرژی را کاهش داده و در نهایت باعث بهبود نرخ تحویل بسته می‌گردد. همچنین با استفاده از روش پیشنهادی مصرف انرژی در شبکه یکنواخت‌تر توزیع می‌شود.

به طور کلی نوآوری این تحقیق را می‌توان ارائه یک الگوریتم مسیریابی جدید انرژی کارامد مبتنی بر خوشه‌بندی دانست که به کمک منطق فازی و با استفاده از تکنیک تجمیع داده به دنبال برآورده‌کردن توأم اهداف صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حفظ کیفیت سرویس در شبکه‌های حسگر بی سیم زیر آب است.

ساختار این مقاله بدین صورت سازماندهی شده که در ادامه به کارهای مرتبط با خوشه‌بندی و استفاده از تکنیک فازی و نیز تجمیع داده در مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب پرداخته می‌شود. بخش ۳ به تفصیل روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش ۴ شبیه‌سازی و نتایج حاصل از آن و در بخش ۵ مسایل رایج و زمینه‌های کاری آینده و در نهایت در بخش آخر نتیجه‌گیری مقاله ارائه می‌شود.

۲- کارهای مرتبط

جهت مصرف انرژی کارا، EEDBR[3] (پروتکل مسیریابی وابسته به عمق انرژی کارا) برای UWSNها پیشنهاد می‌شود. EEDBR یک پروتکل مسیریابی است که بر اساس عمق و فارغ از مکان‌یابی عمل می‌کند. عمق و انرژی باقیمانده گره حسگر به عنوان معیار مؤثر در مسیریابی با هدف فرستادن داده‌ها به چاهک استفاده می‌شود. گره فرستنده، گرهی با بیشترین انرژی باقیمانده در مجاورت خود را به عنوان فرستنده بعدی انتخاب کرده و داده‌ها از مبدأ به چاهک به روش چندگامی ارسال می‌شوند. در EEDBR گره‌های نزدیک به چاهک بار بیشتری نسبت به گره‌های دورتر متحمل می‌شوند و لذا به دلیل عدم توازن بار، گره‌های نزدیک به چاهک زودتر از بین رفته و مشکل ایجاد نقاط پرمصرف[4] در شبکه ایجاد می‌شود [۱۰] در صورتی که در روش پیشنهادی در این مقاله چنین مشکلی وجود ندارد.

LEACH[5] (پروتکل سلسله‌مراتبی خوشه‌بندی تطبیقی کم‌مصرف) اولین پروتکل مسیریابی خوشه‌بندی پیشنهادی برای WSNها می‌باشد. ایده کلیدی این پروتکل انتخاب تصادفی مجموعه‌ای از گره‌های حسگر به عنوان سرخوشه و انتصاب این وظیفه به صورت چرخشی برای توزیع یکنواخت انرژی میان گره‌ها در شبکه می‌باشد. پروتکل LEACH دو فاز دارد: فاز setup و steady. در ابتدا در فاز setup خوشه‌ها تشکیل می‌شوند و انتخاب سرخوشه‌ها توسط گره‌های عضو انجام می‌گیرند. در مرحله دوم سرخوشه، داده‌های جمع‌آوری شده از گره‌های گوناگون را که متعلق به خوشه مربوط می‌باشند فشرده می‌کند. سپس سرخوشه، داده‌های تجمیع‌شده را به ایستگاه کاری توسط ارتباط تک‌گامی ارسال می‌نماید. اگرچه نسخه‌های چندگانه‌ای از پروتکل LEACH پیشنهاد شدند اما برای UWSNها مناسب نیستند چرا که فرضشان بر این است که شبکه حسگر ایستا بوده و آنها به خوبی با مشخصات ذاتی محیط‌های زیر آبی از قبیل تأخیرهای انتشار طولانی، نرخ داده کم و مشکل‌بودن هم‌زمانی، تطبیق نمی‌یابند [۱۱] که در راهکار پیشنهادی در این تحقیق گره‌های شبکه پویا در نظر گرفته می‌شوند.

در EBRA[6] (الگوریتم مسیریابی انرژی متوازن)، مؤلفان الگوریتم مسیریابی انرژی متوازنی برای WSNها بر اساس تکنیک MIMO مجازی پیشنهاد کردند. الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مسیریابی

1. Cluster Head
2. Data Aggregation
3. An Energy Efficient Localization-Free Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks
4. Hot Spot
5. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks
6. Energy Balance Routing Algorithm Based on Virtual MIMO Scheme for Wireless Sensor Networks

Archive of SID

www.SID.ir

LEACH سنتی در انتخاب سرخوشه، مصرف انرژی و کاهش اثرات بد توزیع‌های نامتناسب سرخوشه بهبودهایی دارد. برای انتخاب سرخوشه، الگوریتم انرژی باقیمانده و مصرف انرژی اخیر گره‌ها و کل شبکه را به منظور متعادل‌کردن مصرف انرژی میان گره‌های حسگر مختلف در نظر می‌گیرد. اگر چه الگوریتم EBRA کارایی بهتری نسبت به الگوریتم LEACH سنتی بر حسب مصرف انرژی و طول عمر شبکه از خود نشان می‌دهد اما به نظر می‌رسد که تنها در نظر گرفتن میزان انرژی باقیمانده گره‌ها معیاری کافی در انتخاب بهترین گزینه برای سرخوشگی نیست چرا که در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر دیگری مثل فاصله تا چاهک و عمق نیز در این انتخاب حایز اهمیت هستند که البته در روش پیشنهادی موجود در این تحقیق این نقیصه نیز برطرف شده است [۱۲].

Co-UWSN[1] (پروتکل انرژی کارای مشارکتی) طول عمر شبکه را افزایش و مصرف انرژی UWSNها را به کمک استراتژی مشارکتی و نرخ سیگنال به نویز کاهش می‌دهد. انتخاب گره رله[2] بر اساس شرایط پیوند و فاصله میان گره‌های همسایه با هدف ارسال موفق بسته‌ها به مقصد صورت می‌گیرد. علاوه بر این تغییرات در آستانه عمق، تعداد همسایگان مناسب را افزایش داده که به کاهش از دست رفتن داده‌ها ختم می‌گردد و بنابراین Co-UWSN برای کاربردهای حساس به زمان مناسب است [۱۳]. با این وجود رویکرد پروتکل پس از مرگ یک گره رله، ارسال مستقیم داده‌های مربوط به آن به چاهک است که چنین روشی باعث ناکارامدی پروتکل از نظر مصرف انرژی می‌شود. چنین مسئله‌ای در راهکار پیشنهادی موجود در این مقاله وجود ندارد.

DUCS[3] (طرح خوشه‌بندی زیر آب به صورت توزیع‌شده) پروتکلی است که در آن گره‌های حسگر با استفاده از الگوریتمی توزیعی به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند. پروتکل در دو مرحله عمل می‌نماید: مرحله اول شامل ایجاد خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه بر اساس انرژی باقیمانده است که چرخش تصادفی سرخوشه در میان گره‌های مختلف در یک خوشه به منظور کاهش تخلیه سریع انرژی گره حسگر انجام می‌شود. در مرحله دوم داده‌ها به کمک مسیریابی چندگامی از طریق سرخوشه‌های دیگر به چاهک منتقل می‌شوند. DUCS ساده و انرژی کارا است و نرخ تحویل داده بالایی دارد اما در آن جابه‌جایی‌های گره بر ساختار خوشه‌ها تأثیر منفی دارد [۱۴] که در راه حل پویای پیشنهادی در این مقاله در نظر گرفته شده است.

در پروتکل MCCP[4] (پروتکل خوشه‌بندی با کمترین هزینه) خوشه‌ها بر اساس معیار هزینه ایجاد می‌شوند. معیار هزینه وابسته به سه پارامتر مهم است: ۱) مصرف کلی انرژی اعضای خوشه برای ارسال داده به سرخوشه، ۲) انرژی باقیمانده سرخوشه و اعضای خوشه مربوط و ۳) مکان نسبی بین سرخوشه و چاهک. پروتکل پیشنهادی مجموعه‌ای از خوشه‌های غیر همپوشان را از بین تمامی خوشه‌های بالقوه بر اساس معیار هزینه مؤثر بر هر خوشه انتخاب کرده و برای کاهش هزینه خوشه‌های انتخابی تلاش می‌کند. MCCP می‌تواند توزیع سرخوشه جغرافیایی را با الگوی ترافیکی در شبکه تطبیق داده تا از شکل‌گیری نقاط پرمصرف به دور چاهک جلوگیری نماید. همچنین می‌تواند بار ترافیکی بین سرخوشه‌ها و اعضای خوشه را با خوشه‌بندی مجدد گره‌های حسگر در شبکه متعادل کند اما مسیریابی چندگامی را حمایت نمی‌کند [۱۵]. لازم به ذکر است که در روش پیشنهادی، مسیریابی چندگامی جزء لاینفک راهکار می‌باشد که نمایانگر مزیت آن بر این الگوریتم است.

در ERHN[5] (ارتقای قابلیت اطمینان سرخوشه‌ها در شبکه‌های حسگر زیر آب) طرحی ارائه می‌شود که حالت سرخوشه را ذخیره کرده و از دست رفتن آن را به سرعت جبران می‌کند. در طول فاز انتخاب سرخوشه، گره‌های پشتیبان اضافی‌ای را با حالتی مشابه برای آن سرخوشه بر حسب انرژی باقیمانده و قابلیت‌های عملیاتی انتخاب می‌کند. تمامی اطلاعات جمع‌آوری‌شده‌ای که توسط گره‌های خوشه به سرخوشه ارسال می‌شوند، در گره‌های پشتیبان ذخیره می‌شوند. گره‌های پشتیبان نیز به صورت دوره‌ای بر حالت سرخوشه نظارت می‌کنند. اگر سرخوشه مشکل نرم‌افزاری یا سخت‌افزاری داشته باشد یکی از نزدیک‌ترین گره‌های پشتیبان جایگزین آن شده و به عنوان یک سرخوشه جدید شروع به کار می‌کند. مشکل این الگوریتم استفاده مفرط از منابع به سبب استفاده پیوسته و هم‌زمان از محل ذخیره‌سازی توسط هر دو گره سرخوشه پشتیبان و اصلی می‌باشد [۱۶]. این مشکل در راه حل پیشنهادشده در این مقاله به دلیل ماهیت پویایی انتخاب گره‌های درگیر برطرف شده است.

در ICMIN[6] (مکانیسم خوشه‌بندی پیشرفته برای بهبود طول عمر شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب) یک الگوریتم انتخاب سرخوشه بر اساس شرایط انرژی، مسافت و ماکسیمم سطح ارتباطی بین گره‌ها پیشنهاد می‌شود. هم‌زمان با انتخاب یک سرخوشه بر اساس معیارهای کمترین فاصله و بیشترین مقدار انرژی، یک سرخوشه رزرو نیز برگزیده می‌شود. این سرخوشه جایگزین تنها زمانی فعال می‌شود که آن سرخوشه از بین برود که به این روش ارتباط در شبکه حفظ می‌شود. مشکل اینجاست که الگوریتم فرض می‌کند یک سرخوشه رله وجود دارد در صورتی که فاصله بین سرخوشه پشتیبان و ایستگاه کاری بیشتر از محدوده انتشار بهینه باشد [۱۷]. چنین فرضی که باعث ضعف الگوریتم مذکور شده است در راهکار پیشنهادی وجود ندارد.

در DCECA[7] (الگوریتم خوشه‌ای مقرون به صرفه توزیع‌شده) یک پروتکل خوشه‌بندی پیشنهاد می‌شود که برای انتخاب سرخوشه ابتدایی و یک سرخوشه پشتیبان برای هر عضو خوشه در زمان خوشه‌بندی تلاش می‌کند، آنچنان که شبکه خوشه‌ای ایجادشده می‌تواند بر شکست هر سرخوشه غلبه کند. هر عضو خوشه، قابلیت آشکارسازی شکست سرخوشه‌اش را با چک‌کردن heartbeatهایی که به صورت دوره‌ای توسط سرخوشه ارسال می‌شوند دارد. بنابراین زمانی که یک شکست سرخوشه رخ می‌دهد، اعضای خوشه از گروه خوشه شکست‌خورده می‌توانند به سرعت به سرخوشه پشتیبان سوئیچ کنند. در این روش سرخوشه‌ها ارتباطاتشان را با چاهک داده بدون تأخیری برای اجرای خوشه‌بندی مجدد بعدی بازیابی می‌نمایند اما در جایی که گره، پروسه بازیابی را آغاز می‌نماید شکست می‌خورد [۱۸]. چنین نقیصه‌ای در راهکار پیشنهادی حاضر وجود ندارد.

SHCA[8] (الگوریتم خوشه‌بندی بازیابی‌کننده برای شبکه‌های حسگر

1. Cooperative Energy-Efficient Protocol for Underwater WSNs
2. Relay Node
3. Distributed Underwater Clustering Scheme
4. Distributed Minimum-Cost Clustering Protocol

5. Enhancing the Reliability of Head Nodes in Underwater Sensor Networks
6. An Improved Clustering Mechanism to Improve Network Life for Underwater WSN
7. A Distributed Cost Effective Cluster Algorithm
8. A Self-Healing Clustering Algorithm for Underwater Sensor Networks

Archive of SID

www.SID.ir

بی‌سیم زیر آب) یک الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی است که شامل ایده‌هایی از مسیریابی وابسته به خوشه انرژی کارا و تجمیع داده اختصاصی کاربردی برای رسیدن به کارایی خوبی بر حسب طول عمر سیستم و کیفیت ادراکی کاربردی می‌باشد. بازیابی مجدد برای جلوگیری از خوشه‌بندی‌های مکرر که وابسته به توزیع خوشه‌های تکی است در این روش وجود دارد. مکانیزم بازیابی به طور ویژه پایداری UWSNهای خوشه‌بندی شده را افزایش می‌دهد [۱۹] اما با این وجود معیارهای خوشه‌بندی تنها بر انرژی شبکه استوار است که این مشکل در مقاله پیشنهادی پوشش داده شده است.

طرح پیشنهادی UWDBCSN[1] (شبکه حسگر خوشه‌ای بر اساس چگالی زیر آب) برای یک محیط توزیع‌شده طراحی شد که این راهکار بر اساس مفهوم خوشه‌بندی است که چگالی گره‌های حسگر را برای انتخاب سرخوشه بررسی می‌کند. این الگوریتم روش بهره‌برداری از تجهیزات حسگر ناهمگون را که ظرفیت انرژی متفاوتی دارند ممکن می‌سازد و در کاهش هزینه ارتباطی در انتخاب سرخوشه‌ها کمک می‌کند که باعث افزایش طول عمر کلی شبکه می‌شود [۲۰]. با این وجود به دلیل این که در این روش تنها فاکتور بیشترین میزان انرژی هر گره برای انتخاب سرخوشه لحاظ می‌شود، به نظر می‌رسد که با در نظر گرفتن فاکتورهای دیگری مثل عمق و فاصله تا چاهک می‌توان کارایی الگوریتم را بهبود بخشید که در روش پیشنهادی این مورد نیز در نظر گرفته شده است.

TCBR[2] (مسیریابی بر اساس خوشه موقتی) به منظور تعدیل مصرف انرژی در سراسر شبکه پیشنهاد شده است. در TCBR چاهک‌های چندگانه روی سطح آب قرار گرفته‌اند و تعادل مصرف انرژی در سراسر شبکه با نیاز به تعداد کمی گره قاصد صورت می‌گیرد اما معماری مذکور برای کاربردهای بحرانی حساس به تأخیر مناسب نیست [۲۱]. بزرگ‌ترین چالش این روش نحوه گزینش گره‌های قاصد و عدم وجود راهکاری جایگزین در صورت خرابی این گره‌های حساس می‌باشد که در روش پیشنهادی این مقاله چنین مشکلی وجود ندارد.

سویکی و همکاران[3] دو الگوریتم خوشه‌بندی جدید انرژی کارا بر اساس اساس ساز و کار خوشه‌بندی فازی پیشنهاد کردند که در آنها برای جلوگیری از تخلیه سریع باتری، نقش سرخوشگی در میان گره‌ها تغییر می‌کند. سرخوشه‌ها پس از تجمیع داده‌های دریافتی از گره‌های غیر سرخوشه، آنها را به طور مستقیم به ایستگاه کاری ارسال می‌نماید. الگوریتم دوم از روشی مشابه الگوریتم اول در ایجاد خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌کند اما در مدی چندگانه برای ارسال داده از سرخوشه‌ها به چاهک زیر آبی عمل می‌نماید. اگرچه الگوریتم‌های پیشنهادی طول عمر شبکه را افزایش می‌دهند اما تنها در نظر گرفتن بیشترین انرژی باقیمانده برای انتخاب سرخوشه، راهکار مناسبی نیست [۸]. در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن چندین فاکتور اساسی، بهترین گزینه برای نقش سرخوشگی انتخاب می‌شود.

از آنجا که یکی از مهم‌ترین اهداف پژوهش، افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر در زیر آب است از Energy Harvesting به عنوان یکی از روش‌های مطرح در این زمینه یاد می‌شود. در این گونه روش‌ها از رویکرد استخراج انرژی از منابع بالقوه در زیر آب همانند نور خورشید، گرما، باد و نوسانات محیطی برای تأمین انرژی و با هدف نهایی افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌شود. اگرچه پیشرفت‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است اما پیاده‌سازی این گونه راهکارها مستلزم در نظر گرفتن فاکتورهای شبکه‌ای گوناگونی مانند توپولوژی، نرخ مصرف انرژی و پیش‌بینی خطاها است و مهم‌تر از آن بایستی طرح جمع‌آوری انرژی مربوط با ساختار شبکه سازگاری کاملی داشته باشد. علاوه بر این طراحی سیستم شارژکننده به شدت تحت تأثیر سخت‌افزار بوده و نیز تضمینی برای در دسترس بودن همیشگی منابع تأمین‌کننده انرژی همانند نور خورشید در محیط مورد نظر وجود ندارد. از طرف دیگر به دلیل هزینه‌های سنگین طراحی و پیاده‌سازی چنین تکنولوژی‌ای در مقابل مقدار کم انرژی تولیدشده به طور کلی توجیه اقتصادی برای اجرایی‌شدن این الگوریتم‌ها در محیط عملی وجود ندارد [۲۲] و [۲۳]. با در نظر گرفتن نقاط ضعف مذکور، در روش پیشنهادی در این مقاله از روش Energy Harvesting استفاده نشده و در عوض با ارائه طرحی مناسب تلاش شده تا بتوان به شبکه‌ای پایدار و کارا رسید.

طرح خوشه‌بندی DABC[4] در چهار فاز ابتدایی، انتخاب سرخوشه، خوشه‌بندی و تجمیع داده کار می‌کند که هر فاز در بازه زمانی مشخصی به اتمام می‌رسد. در فاز ابتدایی تنها گره‌های چاهک مجاز به کارکردن هستند تا از اتلاف انرژی جلوگیری شود. در فاز انتخاب سرخوشه، پارامترهای بالاترین میزان انرژی و نزدیک‌ترین فاصله به چاهک در نظر گرفته می‌شوند. در فاز تجمیع داده سرخوشه‌ها ساز و کار تجمیع داده را برای جمع‌آوری و انتقال داده به چاهک خودشان اجرا می‌کنند بدین معنی که تکنیک تجمیع با تابع مشابهت را برای سرخوشه‌ها به منظور حذف انتقال‌های افزونه داده به چاهک/ ایستگاه کاری به کار می‌برند. این الگوریتم TDMA[5] را برای ارتباطات درون خوشه‌ای و CDMA[6] را برای برای ارتباطات بین خوشه‌ای در نظر گرفته است [۹]. اگرچه در این روش نیز از تکنیک‌های خوشه‌بندی و تجمیع داده استفاده شده اما در مقایسه با روش پیشنهادی موجود در این مقاله، DABC دارای نقاط ضعف قابل توجهی می‌باشد که در بخش نتایج این تحقیق به آنها پرداخته شده است.

در روش IDACB[7] به کمک روش‌های خوشه‌بندی و تجمیع داده در کنار تکنیک‌های خواب و بیداری و نیز استفاده از الگوریتم TDMA راهکاری مناسب برای جمع‌آوری و انتقال داده‌ها به ایستگاه کاری ارائه شده است [۱]. با این وجود روش پیشنهادی نسبت به راهکار مذکور در مواردی دارای بهبود است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین پروتکل‌های مطرح شده انجام شده است.

با مطالعه پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب، مشاهده می‌شود که الگوریتمی مناسب که توأماً دارای طرحی مؤثر در جمع‌آوری داده‌ها، خوشه‌بندی با کمترین هزینه، تعویض نقش سرخوشگی در مواقع بحرانی، تجمیع داده‌ها در سرخوشه و ارسال داده‌های تجمیع‌شده به سمت چاهک با انتخاب گام بعدی مناسب را داشته باشد و مصرف انرژی و میزان بسته‌های دریافتی را بهبود بخشد وجود ندارد. لذا در بخش ۳ پروتکل ترکیبی کارایی در راستای تحقق اهداف مذکور پیشنهاد می‌شود.

1. Under Water Density Based Clustered Sensor Network
2. Temporary Cluster Based Routing
3. Souiki, et al.
4. Data Aggregation Based Efficient Clustering Scheme
5. Time Division Multiple Access
6. Code Division Multiple Access
7. Improved Data Aggregation for Cluster Based Underwater Wireless Wireless Sensor Networks

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: مقایسه‌ای بین پروتکل‌های مربوط به تحقیق.

پروتکل	خوشه‌بندی	تجمیع داده	توزیع یکنواخت انرژی	کاهش مصرف انرژی	قابلیت چندمسیره‌بودن
IDACB [۱]	√	√	√	√	√
DABC [۹]	√	√	√	√	x
EEDBR [۱۰]	x	x	x	√	√
LEACH [۱۱]	√	x	x	√	x
EBRA [۱۲]	√	x	x	√	x
Co-UWSN [۱۳]	x	x	x	√	x
DUCS [۱۴]	√	x	√	√	x
MCCP [۱۵]	√	x	√	√	x
ERHN [۱۶]	√	x	x	√	x
ICMIN [۱۷]	√	x	x	√	x
DCECA [۱۸]	√	x	x	√	x
SHCA [۱۹]	√	√	x	√	x
UWDBCSN [۲۰]	√	x	x	√	x
TCBR [۲۱]	√	x	x	√	x
FBCEER [۸]	√	x	x	√	x
MEHS [۲۳] و [۲۲]	√	x	x	√	√
پروتکل پیشنهادی	√	√	√	√	√

۳- پروتکل مسیریابی ترکیبی کارا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب[1]

در این بخش روش پیشنهادی به تفصیل بیان می‌شود. ابتدای شروع به کار شبکه، با در نظر گرفتن معیارهای عمق هر گره از سطح آب و فاصله هر گره تا چاهک، چندین گره به عنوان سرخوشه‌های اولیه انتخاب می‌شوند. لازم به ذکر است که عمق هر گره به کمک عمق‌سنج در هر گره موجود است و فاصله خط مستقیم چاهک تا گره‌ها نیز با توجه به رابطه ساده $D_{(n)} = V.\Delta t$ قابل محاسبه است که در آن $D_{(n)}$ همان میزان فاصله گره n تا چاهک است، پارامتر V یک ثابت برابر سرعت صوت و تقریباً برابر ۱۵۰۰ در نظر گرفته شده است. اما پارامتر Δt برابر تفاضل زمان ارسال یک بسته و زمان دریافت پاسخ آن خواهد بود. بدین ترتیب هرچه میزان Δt بیشتر باشد نشان‌دهنده افزایش فاصله بین چاهک و گره است. سپس با ارسال پیام تبلیغ[2]، اعضای خوشه توسط سرخوشه‌ها جذب می‌شوند. با گذر زمان گره‌های غیر سرخوشه، داده‌های خود را جمع‌آوری کرده و هر یک به سرخوشه مربوط به خود ارسال می‌نمایند. حال هر سرخوشه بایستی داده‌های دریافتی را پس از تجمیع (به روش میانگین‌گیری) به گام مناسب بعدی به سمت چاهک ارسال نماید که انتخاب گام بعدی جهت ارسال داده توسط اولین سیستم فازی صورت می‌گیرد. بدین صورت که هر سرخوشه برای درخواست اطلاعات، پیامی را به همسایگان خود ارسال می‌کند. سرخوشه پس از دریافت اطلاعات انرژی و وضعیت کیفیت پیوند از همسایگان، از سیستم فازی خود استفاده کرده و پس از انتخاب گام مناسب بعدی، بسته‌های داده را به آن گره انتخابی ارسال می‌کند. با گذر زمان، وضعیت شبکه تغییر کرده و انرژی گره‌ها به نسبت فعالیتشان تحلیل می‌رود. در این مرحله اگر میانگین انرژی گره‌های خوشه از حداقل انرژی در نظر گرفته شده آستانه (که معادل ۲۰ درصد انرژی کلی خوشه است) کمتر نباشد الگوریتم وارد فاز مرحله دوم می‌شود بدین صورت که گره سرخوشه مناسب از میان گره‌های عضو خوشه انتخاب می‌شود. روال کار در این فاز بدین صورت است که در ابتدا وضعیت انرژی گره‌ها بررسی می‌شود. چنانچه انرژی کلی گره‌ها همچنان از مقدار آستانه کمتر نشده باشد ساختار خوشه‌ها حفظ شده اما سرخوشگی تغییر می‌کند تا پایداری شبکه حفظ شود. برای انتخاب سرخوشه جدید در خوشه‌ها، پارامترهای انرژی، عمق و فاصله هر گره تا چاهک به سیستم فازی مرحله دوم داده شده و در نهایت سرخوشه‌های مناسب جدید انتخاب و جایگزین سرخوشه‌های قبلی می‌شوند. پس از انجام تغییرات لازم، تغییرات مربوط به گره‌ها اطلاع‌رسانی می‌شود. حال مجدداً خوشه‌ها به جمع‌آوری داده‌های حس‌شده پرداخته و پس از ارسال داده‌ها به سرخوشه‌های جدید، بسته‌های نهایی به سیستم فازی مرحله اول داده می‌شود تا پس از انتخاب مناسب‌ترین گام بعدی به سمت چاهک ارسال شوند. حال اگر میانگین انرژی گره‌های خوشه از حداقل انرژی در نظر گرفته شده کمتر باشد، سرخوشه مربوط اطلاعات خود را به طور مستقیم به چاهک ارسال می‌نماید. در شکل ۱ چارچوب روش پیشنهادی نمایش داده شده است.

در شکل ۲ منظور از انجام تغییرات لازم در باکس دوم، تغییر نقش سرخوشگی از سرخوشه قبلی به گره منتخب برای سرخوشگی جدید است.

در این پژوهش از یک سیستم فازی پیشنهادی برای تعیین نقش سرخوشگی، اخذ تصمیمات کشف و انتخاب مسیر استفاده می‌شود. دلیل عدم استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی اکتشافی عدم بلادرنگی این روش‌هاست. حال این که میزان انرژی و منابع ذخیره‌سازی اطلاعات و منابع پردازشی در شبکه حسگر محدود است. لذا ممکن است تا پیش از رسیدن به نقطه بهینه در تصمیم‌گیری، انرژی شبکه جهت بهینه‌سازی اتلاف شود. حال این که در سیستم فازی بر اساس داده‌های موجود بهترین انتخاب صورت خواهد گرفت که خود بلادرنگی شبکه را بالا برده و در رسیدن به کیفیت خدمات در شبکه یاری می‌رساند.

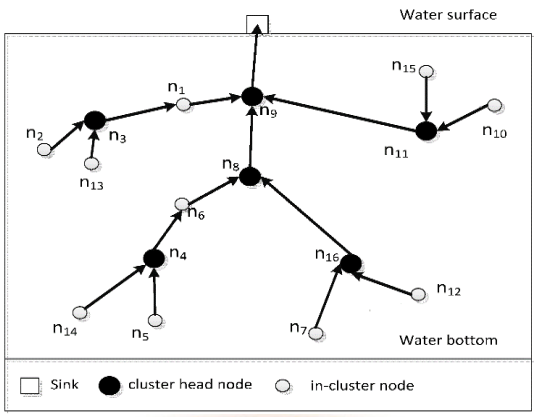
از آنجایی که تغییرات پارامترهای مورد نظر مثل انرژی به صورت خطی است در روش پیشنهادی برای انجام محاسبات فازی از مدل مثلثی

1. An Efficient Hybrid Routing Protocol in Underwater Wireless Sensor Networks

2. Advertisement

Archive of SID

www.SID.ir



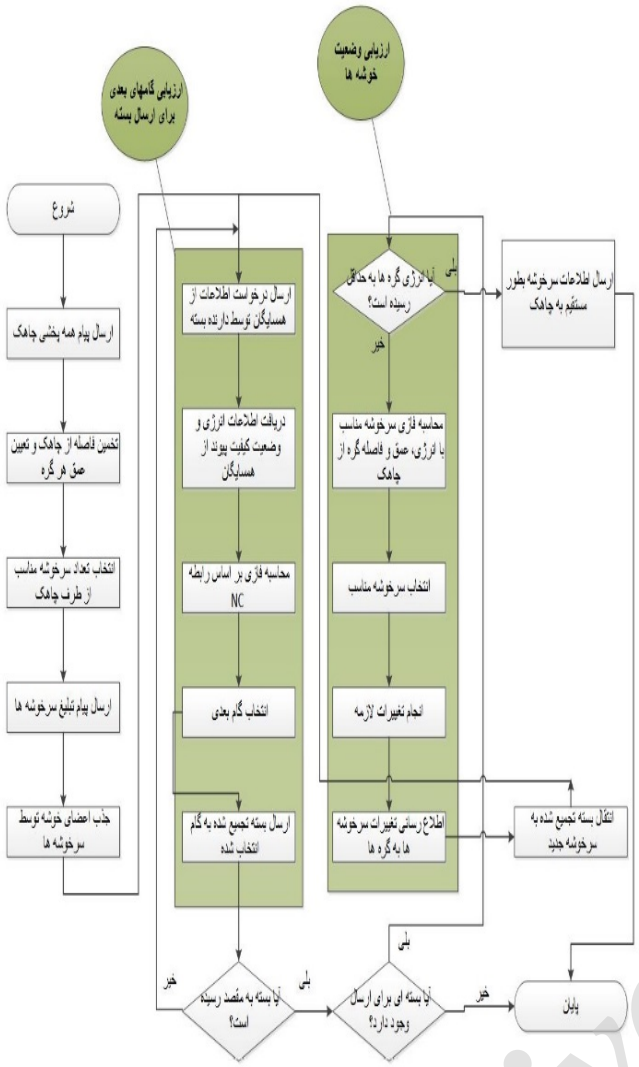
شکل ۱: تصویری کلی از ساختار شبکه به همراه چارچوب روش پیشنهادی.

استفاده شده است. به ازای هر مقدار عددی از سه پارامتر ورودی، سیستم فازی ۵ سطح بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد را متصور شده است. چون میزان انرژی باقیمانده گره در ۵ سطح، میزان فاصله گره تا چاهک در ۵ سطح و اختلاف ارتفاع از سطح آب گره نیز در ۵ سطح دسته‌بندی شده است، به جهت در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن، 5^3 حالت می‌توان در نظر گرفت و در هر لحظه، شبکه مسلماً در یکی از ۱۲۵ حالت مزبور خواهد بود. از طرف دیگر به دلیل وجود ۳ پارامتر ورودی در هر لحظه برای هر گره، حداکثر ۸ حالت فازی بررسی می‌شود که برای هر حالت با توجه به مقادیر فازی‌شده پارامترها و حاصل‌ضرب مقادیر فازی‌شده در یکدیگر یک میزان ارزش خاص محاسبه خواهد شد. به عبارت دیگر پارامترهای مورد نظر در هر مرحله، پس از ورود به سیستم فازی پیشنهادی و انجام عملیات فازی و تطابق با قوانین، تبدیل به خروجی سیستم فازی می‌گردند که به عنوان ارزش گره یا همان $NC(j)$ به ازای هر گره j در نظر گرفته خواهد شد [۸]

$$NC(j)=\frac{\sum_{i=1}^{n}U_i\times C_i}{\sum_{i=1}^{n}U_i} \qquad (۱)$$

که در (۱) در فرمول فازی، n تعداد قوانین، u مقدار فازی‌شده هر قانون و c هم ضریب تأثیر یا ضریب وزنی آن است که مطابق قوانین فازی استنتاج شده است. همان طور که مشخص است از عملگر ضرب (And منطقی) به عنوان عملگر فازی در این رابطه استفاده شده است

$$f(j)=\frac{1}{Hop\,Count(j)}+NC(j) \qquad (۲)$$



شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی.

در نهایت به کمک (۲)، گره حسگری که بالاترین مقدار $f(j)$ را دارد به عنوان بهترین گره کاندید برای شرکت در فرایند مسیریابی خواهد بود. در (۲) تعداد گام موجود بین هر گره تا چاهک (*Hop Count*) اهمیت داشته و می‌تواند مقدار فازی هر گره را افزایش یا کاهش دهد. هر قدر مقدار $f(j)$ بالاتر باشد نشان‌دهنده انرژی بالاتر، فاصله تا سرخوشه کمتر، تأخیر کمتر و چگالی بالاتر بوده و همچنین چاهک با تعداد گام کمتری در دسترس خواهد بود.

در جدول ۲ مثالی از قوانین فازی پیشنهادی برای محاسبه انرژی باقیمانده گره در سطح بسیار پایین آورده شده است.

۴- شبیه‌سازی و نتایج

در این قسمت کارایی طرح پیشنهادی به کمک شبیه‌ساز NS۲ ارزیابی می‌شود. گره‌های حسگر به صورت تصادفی در محیط قرار گرفته‌اند، سرعت نسبی صوت در آب ۱۵۰۰ متر بر ثانیه و نوع داده تولیدشده دمای محیط و ارتباطات بین خوشه‌ای و درون خوشه‌ای به ترتیب بر اساس TDMA و CDMA در نظر گرفته شده است. در جدول ۳ شرایط شبیه‌سازی بیان شده است.

پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های DABC و IDACB با در نظر گرفتن پارامترهای انرژی باقیمانده در هر گره از شبکه، واریانس انرژی باقیمانده در گره‌ها و تعداد بسته‌های از دست رفته شبکه و تعداد بسته‌های

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: نمونه‌ای از قوانین فازی پیشنهادی برای انرژی باقیمانده گره در سطح VERY LOW.

Rue	Antecedent			Consequent
	Remaining Energy $R_{E(j)}$	Distance to Base Station $D_{BS(j)}$	Height of water level $HL_{(j)}$	Node Cost $NC_{(j)}$
۱	Very Low	Very Low	Very Low	High
۲	Very Low	Low	Very Low	High
۳	Very Low	Medium	Very Low	Medium
۴	Very Low	High	Very Low	Low
۵	Very Low	Very High	Very Low	Low
۶	Very Low	Very Low	Low	Very High
۷	Very Low	Low	Low	Very High
۸	Very Low	Medium	Low	High
۹	Very Low	High	Low	Medium
۱۰	Very Low	Very High	Low	Low
۱۱	Very Low	Very Low	Medium	Very High
۱۲	Very Low	Low	Medium	High
۱۳	Very Low	Medium	Medium	Medium
۱۴	Very Low	High	Medium	Low
۱۵	Very Low	Very High	Medium	Very Low
۱۶	Very Low	Very Low	High	Medium
۱۷	Very Low	Low	High	Medium
۱۸	Very Low	Medium	High	Low
۱۹	Very Low	High	High	Very low
۲۰	Very Low	Very High	High	Very Low
۲۱	Very Low	Very Low	Very High	Low
۲۲	Very Low	Low	Very High	Low
۲۳	Very Low	Medium	Very High	Low
۲۴	Very Low	High	Very High	Very Low
۲۵	Very Low	Very High	Very High	Very Low

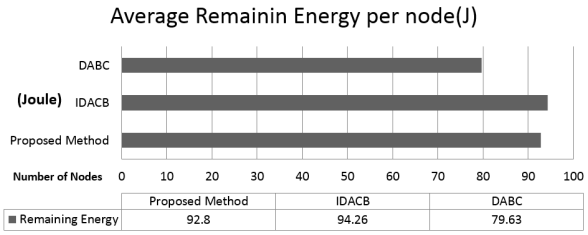
مسیریابی در آن و نیز میزان گذردهی[1] مقایسه می‌شود. برای رسم نمودارها، شبیه‌ساز مربوط در هر آزمون ده مرتبه اجرا شده و نتایج نشان داده شده حاصل از متوسط مقادیر به دست آمده است. از آنجایی که الگوریتم مربوط تنها برای کاربردهای متحمل تأخیر است در شبیه‌سازی، پارامتر تأخیر بررسی نمی‌شود.

٤-١ انرژی باقیمانده در هر گره از شبکه

میزان مصرف انرژی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب یکی از مهم‌ترین معیارهای مورد نظر شبکه است. شکل ۳ متوسط انرژی باقیمانده در هر گره پس از ۱۰۰ ثانیه را نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که میزان انرژی مصرفی پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل DABC در شرایط یکسان و با تعداد ۵۰ گره به اندازه ۶ درصد بهبود دارد در حالی که نسبت به پروتکل IDACB به اندازه ۱ درصد بدتر عمل می‌کند. در مورد اول توزیع مناسب بار بر روی گره‌های شبکه و استفاده از مسیریابی آگاه از انرژی، بار ترافیکی و فاصله با استفاده از منطق فازی، موجب چنین بهبودی شده است. اما در مورد دوم دلیل بهتر عمل کردن پروتکل IDACB نسبت به پروتکل پیشنهادی را می‌توان در

1. Throughput



شکل ۳: انرژی کلی باقیمانده شبکه در هر گره در زمان ۱۰۰ ثانیه.

جدول ۳: شرایط شبیه‌سازی.

پارامترها	Proposed Method	DABC, IDACB
پروتکل انتقالی	پیشنهادی	خوشه‌بندی
پروتکل مسیریابی	خوشه‌بندی با استفاده از منطق فازی	خوشه‌بندی
نوع صف	Tail drop	Tail drop
اندازه شبکه	۱۵۰۰×۱۵۰۰×۱۵۰۰ متر	۱۵۰۰×۱۵۰۰×۱۵۰۰ متر
نوع آنتن	همه‌جهته	همه‌جهته
زمان شبیه‌سازی	۱۰۰ ثانیه	۱۰۰ ثانیه
زمان راه‌اندازی	۱۰ ثانیه	۱۰ ثانیه
موقعیت چاهک	سطح آب	سطح آب
انرژی اولیه چاهک	۱۰۰۰ ژول	۱۰۰۰ ژول
برد مخابراتی چاهک	۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰ متر
انرژی اولیه گره عادی	۱۰۰ ژول	۱۰۰ ژول
محدوده انتقال گره عادی	۴۰۰ متر	۴۰۰ متر
اندازه بسته	۱۲۸ بایت	۱۲۸ بایت
طول صف	۲۰۰	۲۰۰
میزان انرژی ارسال در هر گره	۰٫۵ ژول	۰٫۵ ژول
میزان انرژی دریافت در هر گره	۰٫۱۵ ژول	۰٫۱۵ ژول
نوع ترافیک شبکه	CBR	CBR
نوع داده تولیدشده	دمای محیط	دمای محیط

به کارگیری توأم تکنیک‌های خواب و بیداری در طول پروسه‌های خوشه‌بندی، تجمیع داده و ارسال داده‌ها دانست.

٤-٢ واریانس انرژی باقیمانده در گره‌ها

از این پارامتر جهت بررسی میزان توزیع یکنواخت مصرف انرژی در گره‌ها پس از مدت زمان ۱۰۰ ثانیه و به ازای تعداد گره‌های متفاوت استفاده می‌شود. با توجه به این که واریانس، میزان پراکندگی حول مقدار میانگین را نشان می‌دهد هر چه مقدار عددی واریانس انرژی باقیمانده در گره‌ها کمتر باشد نشان‌دهنده بهینه‌تربودن پروتکل است

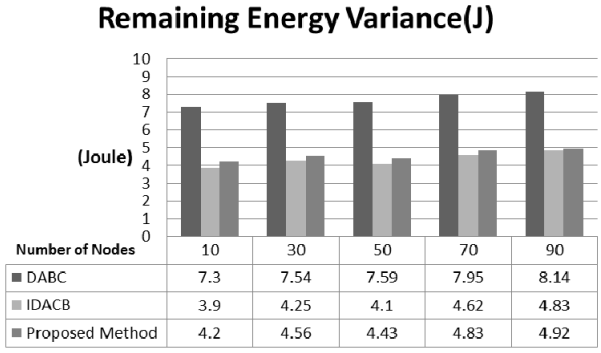
$$Var(x)=\sum_{i=1}^{N}\frac{(x_i-m_x)^2}{N} \qquad (۳)$$

که در این رابطه m_x میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها (x_i) و $Var(x)$ واریانس انرژی باقیمانده و N تعداد گره‌ها را نشان می‌دهد.

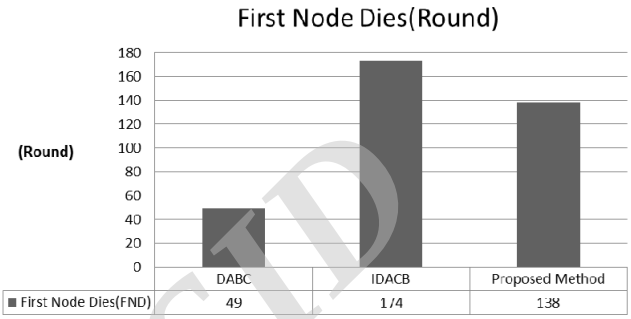
مطابق با شکل ۴ عملکرد پروتکل پیشنهادی از DABC به اندازه ۴۰ درصد بهتر است. استفاده بهینه از تکنیک تجمیع داده در کنار خوشه‌بندی و منطق فازی باعث چنین بهبودی شده است اما در مقایسه با پروتکل IDACB به اندازه ۵ درصد بدتر عمل می‌کند که دلیل آن را می‌توان به استفاده بهینه از الگوریتم TDMA در کنار تکنیک خواب و بیداری گره‌ها ارجاع داد.

Archive of SID

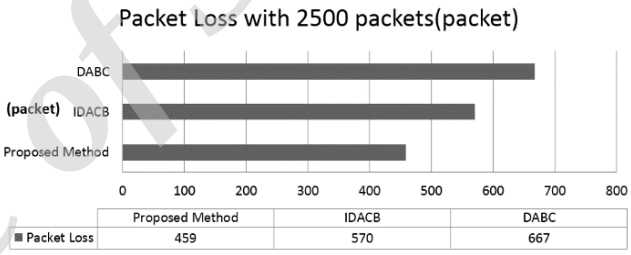
www.SID.ir



شکل ۴: واریانس انرژی باقیمانده گره‌ها پس از ۱۰۰ ثانیه.



شکل ۵: مرگ اولین گره.



شکل ۶: تعداد بسته‌های از دست رفته شبکه در زمان ۱۰۰ ثانیه.

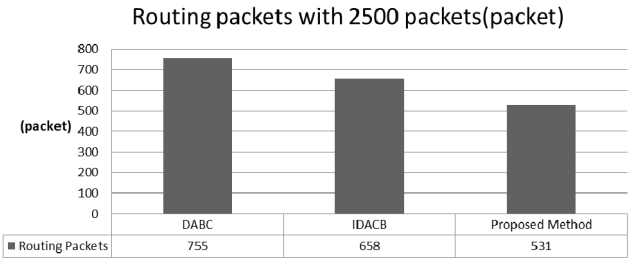
۴-۳ مقایسه عمر شبکه

از آنجایی که پس از مرگ اولین گره، سرعت مرگ گره‌های حسگر سریع‌تر شده و تعداد گره‌های زنده در هر لحظه و نیز عمر کلی شبکه کاهش می‌یابد، در بسیاری از روش‌های ارائه‌شده مرگ اولین گره حسگر را به عنوان طول عمر شبکه حسگر در نظر گرفته‌اند. بنابراین حالت ایده‌آل در شبکه‌های حسگر به گونه‌ای است که انرژی همه گره‌ها با هم به پایان برسد و لذا برای افزایش طول عمر شبکه سعی می‌شود توزیع بار در شبکه یک توزیع یکنواخت باشد.

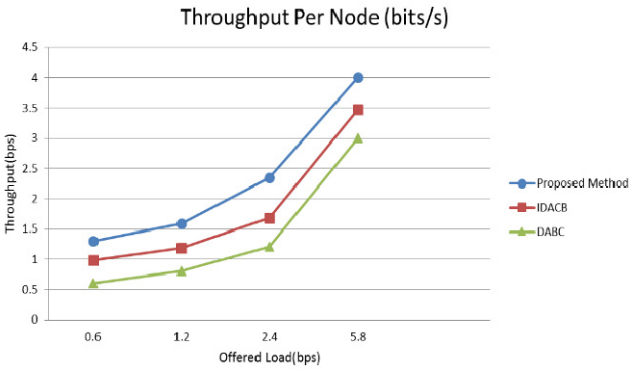
همان طور که در شکل ۵ مشخص است عملکرد الگوریتم پیشنهادی از نظر افزایش طول عمر شبکه نسبت به الگوریتم DABC بهبود یافته که دلیل آن را می‌توان در توزیع یکنواخت بار با استفاده بهینه از روش فازی در کنار تکنیک‌های تجمیع داده و خوشه‌بندی ذکر کرد.

۴-۴ تعداد بسته‌های از دست رفته شبکه

در مسیریابی شبکه هرچه فرایند مسیریابی در انتقال بسته‌های اطلاعاتی موفق‌تر عمل کند تعداد بسته‌های از دست رفته کاهش خواهد یافت. دلایل متعددی موجب از دست رفتن بسته‌های اطلاعاتی شبکه می‌گردد که برخی از مهم‌ترین دلایل آن می‌تواند شکست پیوند، اتمام انرژی گره واسط، تأخیر بیش از آستانه و ازدحام باشد.



شکل ۷: تعداد بسته‌های مسیریابی شبکه در زمان ۱۰۰ ثانیه.



شکل ۸: مقایسه توان خروجی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های IDACB و DABC.

مطابق شکل ۶ پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل DABC از نظر تعداد بسته‌های از دست رفته به اندازه ۳۱٪ و در مقایسه با پروتکل IDACB به اندازه ۱۹٪ بهتر عمل می‌کند (تعداد بسته‌های از دست رفته به ازای ارسال ۲۵۰۰ بسته در هر سه سناریو و پس از زمان یکسان ۱۰۰ ثانیه محاسبه شده است). دلیل این میزان بهبود را نیز می‌توان در استفاده از خوشه‌بندی مناسب در شبکه و تحویل داده‌ها به مقصد به‌روش چندگامی تلقی نمود.

۴-۵ تعداد بسته‌های مسیریابی

این پارامتر جهت ارزیابی پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های هم‌ردیف خود انجام شده است. نتایج نشان داده شده شامل تعداد بسته‌های ارسالی و دریافتی است تا بتوان عملکرد پروتکل در تحویل بسته‌های تولیدی شبکه به مقصد را تحلیل کرد. معمولاً هرچه تعداد بسته‌های ارسالی و دریافتی به یکدیگر نزدیک‌تر باشد روند پروتکل مناسب‌تر خواهد بود چرا که به مفهوم کمتربودن تعداد بسته‌هایی که درگیر پروسه مسیریابی شده‌اند می‌باشد. در این آزمون از شمارش بسته‌های کنترلی و کشف یا تثبیت مسیر خودداری شده است.

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تعداد بسته‌های مسیریابی به ازای ارسال ۲۵۰۰ بسته در هر سه سناریو و پس از زمان یکسان ۱۰۰ ثانیه محاسبه شده است. در روش پیشنهادی به دلیل کمتربودن اختلاف تعداد بسته‌های ارسالی و دریافتی به جهت استفاده بهینه از تکنیک خوشه‌بندی و مسیریابی چندگامی، عملکرد پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل DABC به اندازه ۲۹٪ و نسبت به پروتکل IDACB ۱۹٪ بهبود داشته است.

۴-۶ گذردهی

گذردهی شبکه که معرف نرخ تحویل موفق پیام‌های ارسالی بر روی یک کانال ارتباطی است در شکل ۸ نشان داده شده است. با استفاده از تکنیک فازی مشاهده می‌شود که گذردهی شبکه در روش پیشنهادی بالاتر از دو روش دیگر است.

Archive of SID

www.SID.ir

۵- مسایل رایج و زمینه‌های کاری آینده

در این مقاله با در نظر گرفتن ماهیت شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب و نیز مسایل مرتبط با آن، روشی مناسب در رابطه با مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب ارائه شد که می‌تواند به یک پروتکل مسیریابی کارا در این شبکه‌ها منتج شود. با این وجود، پتانسیل‌های کاری تحقیقاتی در این راستا را به عنوان نقاط قابل بهبود می‌توان در مواردی چون مسئله تعیین محل گره‌ها، در نظر گرفتن مشکل ناحیه تهی، بهبود امنیت و مصرف انرژی مطرح نمود.

مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر زیر آب موضوعی مهم است و بنابراین باید توسعه سرویس‌های مکانی پایا و جدید را در نظر گرفته و روی اثرات تکنیک‌های تعیین محل بر کارایی الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی تحقیق نمود.

مشکل ناحیه تهی تا به حال توسط چندین پژوهش در شبکه‌های حسگر زمینی بررسی شده که هدف آنها شبکه‌های بی‌سیم دوبعدی و ایستگاهی است. اما این تکنیک‌ها برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب به دلیل این که ناحیه تهی به عنوان یک فضای سه‌بعدی شناخته می‌شود مناسب نیست. علاوه بر این تنها تعداد کمی از پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی مسئله ناحیه تهی را در شبکه‌هایشان در نظر می‌گیرند، بنابراین بایستی به این مسئله چالش‌برانگیز اهمیت بیشتری داده شود.

تا به حال تلاش‌های زیادی در رابطه با امنیت شبکه‌های حسگر سنتی انجام شده است. تحقیقات امنیتی برای مسیریابی UWSN و مخصوصاً مسیریابی بر اساس موقعیت، هنوز در مراحل ابتدایی خود می‌باشند. به طور ویژه چون اکثر پروتکل‌ها اطلاعات مکانی را به طور مشخص همه‌پخشی می‌نمایند، همه گره‌ها در محدوده ارسالشان اجازه دسترسی به این اطلاعات را می‌دهند و در نتیجه نیاز به توسعه تکنیک‌های جدیدی برای مقابله با حمله‌های گره‌های مهاجم وجود دارد. علاوه بر این باید روی حریم محلی هر گره به عنوان مهم‌ترین چالش، تمرکز شود.

همان طور که به طور مفصل بحث شد مصرف انرژی فاکتوری بحرانی برای تعیین طول عمر یک شبکه حسگر است چرا که عموماً گره‌های حسگر به کمک باتری تغذیه می‌شوند. بنابراین طراحی الگوریتم‌ها باید با در نظر گرفتن انرژی محدود گره‌ها و نیز با قابلیت توسعه شبکه صورت گیرد.

٦- نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب در زمینه‌های نظامی و غیر نظامی کاربردهای گوناگونی دارند. در نظر گرفتن چالش‌های موجود در طراحی و پیاده‌سازی روش‌های کارامد در رابطه با نیازمندی‌های این گونه شبکه‌ها اجتناب‌ناپذیر است چرا که شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب با شبکه‌های حسگر زمینی موجود تفاوت‌های اساسی دارند. با توجه به فراگیرشدن این گونه شبکه‌ها، زمینه‌های تحقیقاتی زیادی در این رابطه موجود است. در این تحقیق راهکاری پویا و بلادرنگ و مبتنی بر منطق فازی، خوشه‌بندی و تکنیک تجمیع داده ارائه شد که می‌تواند به یک پروتکل مسیریابی انرژی کارامد ترکیبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب منجر شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه، توزیع مصرف انرژی در شبکه و میزان گذردهی در مقایسه با روش DABC بهتر عمل می‌نماید. با این وجود به عنوان یکی از معایبی که به الگوریتم پیشنهادی وارد است طراحی آن برای کاربردهای غیر حساس به تأخیر و در نظر نگرفتن پارامتر تأخیر در آن است که جای کار را برای تحقیقات آتی در این خصوص باز می‌گذارد.

مراجع

[1] N. Goyal, M. Dave, and A. K. Verma, "Improved data aggregation for cluster based underwater wireless sensor networks," *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect, A Phys. Sci*, vol. 4, no. 5, pp. 235-245, Jun. 2017.

[2] C. Zidi, F. Bouabdallah, and R. Boutaba, "Routing design avoiding energy holes in underwater acoustic sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 16, no. 14, pp. 2035-2051, Feb. 2016.

[3] A. Khasawneh, M. Shafie Bin Abd Latiff, O. Kaiwartya, and H. Chizari, "A reliable energy-efficient pressure-based routing protocol for underwater wireless sensor network," *Wireless Networks*, vol. 4, no. 6, pp. 1-15, Feb. 2017.

[4] N. Z. Zenia, *et al.*, "Energy-efficiency and reliability in MAC and routing protocols for underwater wireless sensor network: a survey," *J. of Network and Computer Applications,* vol. 71, no. 10 pp. 72-85, Aug. 2016.

[5] S. Lee, Y. Jeong, E. Moon, and D. Kim, "An efficient MOP decision method using hop interval for RPL-based underwater sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 93, no. 4, pp. 1027-1041, Apr. 2017.

[6] A. Ahmad, A. Sheeraz, M. Alam, I. Azim Niaz, and N. Javaid, "On energy efficiency in underwater wireless sensor networks with cooperative routing," *Annals of Telecommunications*, vol. 72, no. 3-4, pp. 173-188, Apr. 2017.

[7] N. Goyal, M. Dave, and A. Verma, "Fuzzy based clustering and aggregation technique for under water wireless sensor networks," in *Proc. Int. Conf. on Electronics and Communication System, ICECS'14,* 6 pp., Coimbatore, India, 13-14 Feb. 2014.

[8] S. Souiki, M. Hadjila, and M. Feham, "Fuzzy based clustering and energy efficient routing for underwater wireless sensor networks," *International J. of Computer Networks & Communications,* vol. 7, no. 2, pp. 33-44, Mar. 2015.

[9] T. Khoa and O. Seung-Hyun, "A data aggregation based efficient clustering scheme in underwater wireless sensor networks," In: Y. S. Jeong, Y. H. Park, C. H. Hsu, and J. Park, eds,) *Ubiquitous Information Technologies and Applications,* LNEE 280. Springer, Berlin, pp. 541-548, 2014.

[10] A. Wahid and D. Kim, "An energy efficient localization-free routing protocol for underwater wireless sensor networks," *International J. of Distributed Sensor Networks*, Article ID 307246, 11 pp., Apr. 2012.

[11] A. Joshi, S. Dhongdi, R. Sethunathan, P. Nahar, and K. R. Anupama, "Energy efficient clustering based network protocol stack for 3D airborne monitoring system," *J. of Computer Networks and Communications*, Article ID 8921261, 13 pp., Feb. 2017.

[12] J. Li, X. Jiang, and I. -T. Lu, "Energy balance routing algorithm based on virtual MIMO scheme for wireless sensor networks," *J. of Sensors*, vol. 2014, 8 pp., Article 589249, 2014.

[13] S. Ahmed, *et al.*, "Co-UWSN: cooperative energy-efficient protocol for underwater WSNs," *International J. of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, Article No. 75, Jan. 2015.

[14] N. Goyal, M. Dave, and A. K. Verma, "Data aggregation in underwater wireless sensor network: recent approaches and issues," *J. of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2 May 2017, doi:10.1016/j.jksuci.2017.04.007

[15] K. Ovaliadis and N. Savage, "Cluster protocols in underwater sensor networks: a research review," *J. of Engineering Science and Technology Review*, vol. 7, no. 3, pp. 171-175, 2014.

[16] M. Hong, C. Yookun, and H. Junyoung, "Enhancing the reliability of head nodes in underwater sensor networks," *Sensors*, vol. 12, no. 2, pp. 1194-1210, Jan. 2012.

[17] S. Kumar and R. Sethi, "An improved clustering machanism to improve nework life for underwater WSN," *International J. of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, vol. 2, no. 3, pp. 43-47, May/Jun. 2013.

[18] S. K. Murugaraja, R. Kumar Ramesh, and A. Anbarasan, "A distributed cost effective cluster algorithm," *International J. of Computer Science and Management Research*, vol. 2, no. 12, pp. 2374-2377, May 2013.

[19] J. H. Chenn, *et al.*, "A self-healing clustering algorithm for underwater sensor networks," *Int. J. Cluster Computing. Springer*, vol. 14, no. 1, pp. 91-99, Mar. 2011.

[20] S. Saxena, S. Mishra, and M. Singh, "Clustering based on node density in heterogeneous under-water sensor network," *I. J.*

Archive of SID

www.SID.ir

Information Technology and Computer Science, vol. 2, pp. 49-55, Jun. 2013.
[21] M. Ayaz, A. Abdullah, and L. T. Jung, "Temporary cluster based routing for underwater wireless sensor networks," in *Proc. Int. Symp. on Information Technology, ITSim,* vol. 2, pp. 1009-1014, 15-17 Jun. 2010.
[22] M. H. Anisi, G. Abdul-Salaam, M. Yamani, A. W. Abdul Wahab, and I. Ahmedi, "Energy harvesting and battery power based routing in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 23, no. 1, pp. 249-266, Jan. 2017.
[23] S. Srujana, N. P. Mathews, and V. P. Harigovindan, "Multi-source energy harvesting system for underwater wireless sensor networks," *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 1041-1048, Dec. 2015.

جاوید توکلی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد به پایان رسانده است و هم‌اکنون کارشناس شبکه های کامپیوتری در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های کامپیوتری، شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب، شبکه‌های بین خودرویی و شبکه‌های سیار.

ندا مقیم به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۱ مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته‌ی مهندسی برق از دانشگاه صنعتی اصفهان دریافت نمود. در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۹ نام‌برده به عنوان کارشناس برق و کامپیوتر در مرکز تحقیقات دانشگاه صنعتی اصفهان مشغول به‌کار بود. در سال ۱۳۸۳ به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه صنعتی پلی تکنیک (امیر کبیر) در تهران وارد شد و در سال ۱۳۸۸ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه مذکور گردید. دکتر مقیم از سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه اصفهان مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت‌علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های ثابت و سیار بی‌سیم، شبکه‌های نسل جدید، کیفیت سرویس و اینترنت اشیاء می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir