

مقاله مروری در مورد بهینه سازی سرخوشه ها و کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بیسیم زیرآبی صوتی

حسین کرمی بلبل^۱

^۱ کارشناسی ارشد کامپیوتر نرم افزار

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

حسین کرمی بلبل

hossin.k60k60@gmail.com

چکیده

با توجه به این که نزدیک به هفتاد درصد سطح کره زمین پوشیده از آب است، بنابراین نقاط زیادی وجود دارند که تاکنون مورد اکتشاف قرار نگرفته‌اند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب دارای قابلیت‌هایی هستند که توانایی انسان را در مشاهده و پیش‌بینی کاربردهای اکتشاف نشده مرتبط با دریاها و اقیانوس‌ها افزایش می‌دهند. امروزه از شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب جهت بررسی آلودگی‌های اقیانوس‌ها، بررسی مناطقی که در آن‌ها احتمال وجود نفت و گاز وجود دارد، بررسی زمین‌لرزه‌های زیرآب، بررسی وجود ماهی‌ها و نظارت و مراقبت بر عبور زیردریایی‌ها و شناورها استفاده می‌شود. هدف این مقاله بررسی بهینه سازی سرخوشه ها و کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بیسیم زیرآبی صوتی می باشد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی، انرژی، شبکه های حسگر، بیسیم زیرآبی صوتی

مقدمه

با توجه به این‌که نزدیک به هفتاد درصد سطح کره زمین پوشیده از آب است، بنابراین نقاط زیادی وجود دارند که تاکنون مورد اکتشاف قرار نگرفته‌اند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب دارای قابلیت‌هایی هستند که توانایی انسان را در مشاهده و پیش‌بینی کاربردهای اکتشاف نشده مرتبط با دریاها و اقیانوس‌ها افزایش می‌دهند. امروزه از شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب جهت بررسی آلودگی‌های اقیانوس‌ها، بررسی مناطقی که در آن‌ها احتمال وجود نفت و گاز وجود دارد، بررسی زمین‌لرزه‌های زیرآب، بررسی وجود ماهی‌ها و نظارت و مراقبت بر عبور زیردریایی‌ها و شناورها استفاده می‌شود. (اکیلدز و همکاران^۱، ۲۰۱۵)

امروزه زندگی بدون ارتباطات بی‌سیم قابل‌تصور نیست. انقلاب مفاهیم و درهم آمیختن بی‌سابقه‌ی چالش‌های فنی، حسگرهای بی‌سیم را یکی از بزرگ‌ترین تمایلات قرن ۲۱ کرده است. امروزه با پیشرفت فناوری و ایجاد مدارها کوچک و کوچک‌تر موجب گشته است تا استفاده از مدارات بی‌سیم در اغلب وسایل الکترونیکی امروز ممکن شود. این پیشرفت همچنین باعث توسعه ریز حسگرها شده است. (قانع و رجب‌زاده، ۱۳۸۸).

به دلیل کاهش اندازه و هزینه سنسورها، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به سرعت در زمینه سیستم‌های شبکه‌ای اهمیت پیدا کردند (میسرا و جین، ۲۰۱۱).

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبکه‌هایی بر اساس همکاری گره‌های کوچک می‌باشند. این گره‌ها اساساً با مصرف انرژی کم، هزینه اندک و ارتباطات بی‌سیم مشخص می‌شوند و می‌توانند برای اندازه‌گیری دما، فشار، رطوبت، نور و ... به کار روند. (موتازونو و همکاران، ۲۰۱۲).

این شبکه‌ها داده‌ها را از طریق شبکه به یک واحد مرکزی ارسال می‌کنند. شبکه‌های مدرن‌تر امروزی دوطرفه هستند و امکان کنترل فعالیت سنسورها را هم فراهم کرده‌اند. برخلاف شبکه‌های سنتی که همه‌منظوره‌اند، شبکه‌های حسگر نوع تک منظوره هستند (نادران طحان، ۱۳۹۰).

این گره‌ها وظیفه نظارت بر پدیده‌های فیزیکی محیط اطراف مانند دما، حیات، رطوبت، ارتعاشات، صدا و حرکت را بر عهده دارند. منبع تغذیه یک گره عمدتاً یک باتری با انرژی و طول عمر محدود است که شارژ مجدد و تعویض آن بسیار سخت و حتی در مواردی غیرممکن است. بنابراین یک شبکه WSN از مجموعه‌ای از گره‌ها تشکیل شده است که تعداد آنها می‌تواند از چند تا چند صد حسگر متغیر باشد. در این شبکه‌ها هر گره به گره دیگر (یا چند گره دیگر) متصل است (کریمی، ۱۳۸۹).

از طرفی مسیریابی در شبکه فرایندی شامل انتخاب مسیر در شبکه است که می‌تواند در ارسال داده‌ها نقش داشته باشد. مسیریابی برای شبکه‌هایی همچون شبکه تلفن، اینترنت و انتقال عملی است. مسیریابی می‌تواند عامل ارسال بسته‌های منطقی از مبدأ به مقصد باشد. پروتکل‌های مسیریابی متعددی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم طراحی گشته است که بسیاری از آنها برای انتقال داده تنها از یک مسیر بهینه استفاده می‌کنند. این نوع مسیریابی بر اساس معیارهایی چون جهت انتقال داده، فاصله تا گره مقصد، سطح انرژی باقی‌مانده در هر گره، تعیین می‌شود. در این روش‌ها، یک مسیر اصلی بین گره‌های منبع و مقصد شناسایی شده و داده‌ها از طریق همین مسیر منتقل می‌گردند. اما استفاده مداوم از یک مسیر سبب می‌گردد تا انرژی گره‌های موجود در آن مسیر سریع‌تر از سایر گره‌های شبکه مصرف شده در مدت‌زمان کوتاه‌تری نسبت به قبل دسترسی به سایر گره‌های همسایه امکان‌پذیر نباشد. بدین ترتیب شبکه به بخش‌های مجزا تقسیم شده و کارایی لازم به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. با استفاده از برخی شیوه‌های مسیریابی نیز می‌توان ترافیک شبکه را با توجه به کیفیت هر مسیر، روی چندین مسیر مختلف تقسیم نمود. بدین ترتیب از منابع سیستم به نحو بهتری استفاده شده و کیفیت خدمات لازم نیز فراهم می‌گردد. با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی، می‌توان مشکلات ناشی از تغییر مداوم در توپولوژی و لینک‌های نامطمئن را حل نمود که در این میان میزان بهبود پارامترهای کیفیت خدمات، وابسته به توانایی پروتکل مسیریابی در شناسایی مسیرهای مجزا می‌باشد. محققین متعددی به ارائه مسیریابی آگاه از انرژی به‌منظور طولانی کردن طول عمر شبکه اقدام نموده‌اند. هر یک از این پروتکل‌ها با در نظر گرفتن

معیاری سعی در ارائه پروتکلی مبتنی بر انرژی داشته‌اند که از جمله آنها می‌توان به کوتاه‌ترین فاصله و حداقل مصرف انرژی اشاره کرد. لزوم آگاه بودن از انرژی، طول عمر زیاد، تحمل‌پذیر بودن در برابر خطا و مقیاس‌پذیری در شبکه‌های حسگر، است که از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که باید در طراحی یک پروتکل مدنظر قرار گیرند (ال-کراکی و کمال، ۲۰۰۴).

در این مقاله به بررسی چندین الگوریتم مسیریابی به‌منظور کاهش مصرف انرژی در سنسورهای بی‌سیم با استفاده از روشی جهت بهینه‌سازی سرخوشه‌ها اشاره خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق، هدف از انجام این مقاله ارائه روشی جهت بهینه‌سازی سرخوشه‌ها در مسیریابی کاهش انرژی برای سنسورهای بی‌سیم زیربانی صوتی می‌باشد.

با استفاده از الگوریتم‌های متمرکز در کاربردهای شبکه‌های سنسور بی‌سیم می‌توان از الگوریتم‌های هوشمند یا غیرهوشمند بهینه در شبکه استفاده کرد و پارامترهای آن را به‌طور تطبیقی در حین اجرا تغییر داد. بهره‌گیری از الگوریتم‌های موجود در طبیعت برای مسیریابی همچون مسیریابی مورچگان یا ARA در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است و چندین الگوریتم که هر یک شرایط خاصی را بهبود می‌بخشند پیشنهاد شده است از این رو ایجاد یک الگوریتم هوشمند که در شرایط مختلف متناسب با شرایط موجود نوع الگوریتم ARA را که استفاده می‌کند تغییر دهد می‌تواند مفید باشد. بطوریکه دوریگو^۲ و همکاران (۱۹۹۶)؛ نشان دادند که هوش جمعی رویکردی است الهام گرفته از رفتار اجتماعی حشرات (از جمله مورچه‌ها) و حیوانات دیگر که در حل مسائل زیادی بکار می‌روند و بیشترین موفقیت را در تکنیک بهینه‌سازی به دست آورده‌اند. از این رو به‌عنوان بهینه‌سازی کلونی مورچه ACO^۳ شناخته شده است. در پژوهشی توسط بل و مک مولن^۴، یک مسئله مسیریابی توسط الگوریتم بهینه‌یابی کلونی مورچگان حل شد که نتایج ارائه شده موفق بودن الگوریتم را برای مسائل با حجم بالا نشان داده است. همچنین صفاری امان و همکاران (۱۳۸۶)؛ نشان دادند که هوش جمعی اغلب برای بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع شده به کار می‌رود و در این زمینه الهام از روش زندگی مورچگان مناسب بوده است. وی در مطالعه خود با ارائه یک مدل مناسب در مسیریابی و بکارگیری عامل‌های هوشمند به‌صورت محلی و سراسری، سعی کرد تا عملیات مسیریابی را بهبود بخشد. خراسانی و همکاران (۲۰۰۸)؛ نشان دادند روش‌های ابتکاری و اکتشافی برای حل مسائل بهینه‌سازی به دنبال یافتن پاسخی در یک زیر فضا از کل ناحیه جستجو می‌باشد. وی مهم‌ترین قابلیت روش‌های هوشمند را چنین توصیف کرد که این روش‌های هوشمند با فرض‌های محدودکننده در ناحیه جستجو مواجه نمی‌شوند، فرض‌هایی از قبیل پیوستگی و ... وی در این مطالعه از PSO که همانند الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر هوش جمعی است، استفاده کرد. در این مقاله روش جدیدی با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی اجتماع پرندگان ارائه شد که از جمله جدیدترین روش‌های جستجو مبتنی بر جمعیت می‌باشد و بر پایه شبیه‌سازی رفتار جمعی گروهی از پرندگان و حشرات در دسته‌های بزرگ پروازی شکل گرفته است. نتایج حاصله نیز نشان داد که PSO از حیث نزدیکی به نقاط بهینه به مراتب بالاتر و دقیق‌تر از سایر روش‌های ارائه شده است.

مرور ادبیات و سوابق مربوطه:

جویباری و محمدی، در تحقیقی تحت عنوان " یک الگوریتم مسیریابی کم‌هزینه، با تحمل خطا، دارای هوشیاری تراکم برای شبکه بر تراشه‌های اتصال محور" به بررسی پرداختند. این شبکه بر استفاده از تراشه‌های سه‌بعدی (NOCs) به‌عنوان کارآمدترین و پیشرفته‌ترین ساختارهای ارتباطی برای سیستم‌های تراشه‌ای پیچیده و دارای عملکرد بالا (SOCs) تکیه می‌کند. این ساختارها نسبت به خطاهای تولید و زمانی اجرا، بسیار حساس هستند. از این رو، مسیریابی دارای تحمل خطا برای افزایش قابلیت اطمینان و عملکرد SOC های دارای تراشه‌های سه‌بعدی، ضروری هستند. در پژوهش انجام شده، FTD× 6Z، یک الگوریتم مسیریابی سازگار و دارای تحمل خطا که اتصالات پر خطا را در اتصال سه‌بعدی NOC محور، تاب می‌آورد را ارائه کرده‌اند. این مسیریابی بدون استفاده از جداول یافتن مسیر یا اطلاعات کلی در مورد مسیرها و خطاها، تحمل خطا را کسب می‌کند. برای ارزیابی عملکرد مسیریابی، این الگوریتم را با مسیریابی سطح دارای تحمل خطا از نظر متوسط تأخیر و نهفتگی بسته، توان عملیاتی و قابلیت اطمینان مقایسه کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی حاکی از بهبود چشمگیر میزان پوشش خطای ناشی از اشباع، و پیشرفت متوسط توان عملیاتی و قابلیت اطمینان مسیریابی ارائه شده تحت الگوهای ترکیبی ترافیک بود.

² Dorigo

³ Ant Colony Optimization

⁴ Bell & McMullen

بن احمد و بن عبدالله^۵، در پژوهشی تحت عنوان "الگوریتم مسیریابی مساعد فاقد بن‌بست و دارای تحمل خطا برای طراحی شبکه بر تراشه‌های سه‌بعدی (3D-NOC)" معتقدند که شبکه بر تراشه‌های سه‌بعدی به‌عنوان راه‌حلی مناسب ارائه شده است که توازی بالای الگوی اتصال متقابل شبکه بر تراشه‌ای را با عملکرد بالا و قدرت اتصال متقابل پایین مدارهای یکپارچه سه‌بعدی ترکیب می‌کند. در این مقاله، یک الگوریتم کارآمد و دارای تحمل خطا را به‌عنوان، هیبرید خطاپذیر جمع‌کننده و (HYBRID-LOOK-AHEAD-FAULT-TOLERANT-HLAFT) معرفی کرده‌اند که از هر دو شیوه مسیریابی محلی و جمع‌کننده سریع که وجود رقم نقلی ناشی از جمع را پیش‌بینی می‌کند، برای افزایش عملکرد سیستم‌های 3D-NOC بهره می‌برد. درحالی‌که تحمل خطا را نیز تضمین می‌کند. یک روش بازیابی و بهبود حالت بن‌بست که با HLAFT همراه است، روش دسترسی تصادفی بافر (RAB) نام دارد. این روش نیز در مطلب مذکور ارائه می‌شود. RAB از شیوه مسیریابی جمع‌کننده سریع (LOOK ahead) برای بررسی و حذف بن‌بست‌ها بدون به وجود آمدن پیچیدگی سخت‌افزاری خاصی، استفاده می‌کند. الگوریتم ارائه‌شده و روش بازیافت بن‌بست را روی طراحی واقعی 3D-NOC

اجرا کرده‌اند (3D-OASIS-NOC) - و آن را به‌عنوان نمونه اولیه روی FPGA استفاده کرده‌اند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه‌شده بهتر از XYZ عمل می‌کند، حتی در موارد دارای میزان خطای بالا مثل بالای ۲۰٪ و از مسیریابی قبلاً طراحی شده ایشان که در کاهش تأخیر نمایش داده شده بود (LAFT) بهتر می‌کند، ضمن این‌که قادر است به توان عملیاتی ۱/۸ درصد به‌علاوه ۷/۲ درصد ذخیره توان دینامیک برسد. که این میزان به یمن واحد مدیریت توان تر کسب شده با HLAFT قابل حصول است.

اظهارالدین و همکاران^۶، در پژوهشی تحت عنوان "الگوریتم‌های دسته‌بندی و مسیریابی بانرژی بهینه و تحمل خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم" مطرح می‌کند که حفاظت از انرژی و تحمل خطا، دو مسأله مهم در به‌کارگیری یک شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) است. در مقاله انجام شده، الگوریتم‌های دسته‌بندی و مسیریابی توزیع شده را که در پیوند باهم DFCA نامیده می‌شوند، ارائه کرده‌اند. الگوریتم چنان‌که نشان داده می‌شود از نظر انرژی سودمند و دارای تحمل خطا است.

ولی نتایج و همکاران^۷، در پژوهشی تحت عنوان "یک روش مسیریابی سازگار و دارای قابلیت پیکربندی برای شبکه بر تراشه‌های اتصال محور و دارای قابلیت تحمل خطا" به بررسی پرداخته‌اند و ادعان داشته‌اند که قابلیت اطمینان و استواری بالا علیه اثرات نامطلوب یکی از اهداف کلیدی در طراحی تراشه‌های شبکه است. این مطلب یک شیوه مسیریابی با هزینه بسیار پایین و با قابلیت تحمل خطا را برای ایستادگی در برابر اتصالات پر خطا مسیر یا بهادر تراشه‌های شبکه اتصال محور، ارائه داده‌اند. این الگوریتم جدید می‌تواند به‌طور دینامیک مجدداً پیکربندی شده تا مکان‌یابی‌های نامتعارف را که توسط اجزاء دارای خطا در شبکه به وجود آمده‌اند، پشتیبانی کند. به‌علاوه، این الگوریتم، یک الگوریتم توزیع یافته، سازگار و هوشیار نسبت به تراکم است که در آن تنها دو کانال مجازی هم برای سازگاری و هم برای تحمل خطا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیادت، در پژوهشی تحت عنوان "طراحی و شبیه‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی تحمل‌پذیر نقص در شبکه بر روی تراشه" مطرح کرده است که افزایش پیچیدگی طراحی مدارهای مجتمع از یک سو و نیاز به جداسازی فعالیت بخش‌های محاسباتی و ارتباطی در تراشه‌های امروزی از سویی دیگر، مسیر طراحی را به سوی سامانه‌های مبتنی بر شبکه روی تراشه سوق داده است. در مقیاس‌های زیر میکرون فناوری، تحمل‌پذیری نقص یک عامل بااهمیت در ارتباط با شبکه روی تراشه می‌شود. مقاله انجام شده الگوریتم‌های تحمل‌پذیر نقص برای استفاده در حوزه شبکه بر روی تراشه را بررسی و از لحاظ برخی پارامترهای عملکردی مقایسه می‌نماید. سپس الگوریتمی را در جهت برخورد با نقص‌های ثابت و گذرا با سطوح عملکردی مناسب، معرفی می‌نماید، به این نحو که در مقابل نقص‌های ثابتی که به‌طور ساختاری در تراشه موجود است بسته قابلیت انتظار و نهایت برگشت به مبدأ برای یافتن مسیری دیگر را داشته، و بیت‌های داده در مقابل نقص‌های گذرا با کدهای افزونه چرخشی و سیاست کنترل جریان سوئیچ به سوئیچ (سطح لینک) محافظت می‌شوند.

ابراهیمی و همکاران، در سال (۱۳۹۲) در تحقیق خود با عنوان بررسی و مقایسه کارآمدی انرژی در الگوریتم‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بیان کردند که فضای شبکه‌های حسگر بی‌سیم یکی از موضوعاتی است که در دنیای امروزی پیشرفت زیادی داشته است. گره‌های حسگر مزایایی چون هزینه و توان کم به همراه توابع چندگانه را برای ما به ارمغان می‌آورند، این در حالی است که گره‌های حسگر به‌سرعت انرژی خود را از دست می‌دهند، در مطالعات اخیر فضای شبکه‌های حسگر و توان مؤثر، دو مسئله مهم به شمار می‌روند. پروتکل‌های مسیریابی مختلفی وجود دارند که بهترین مسیر را با صرف کمترین انرژی معرفی می‌کنند. هدف این مقاله بررسی پروتکل‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی است که کارایی بهتری را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌دهند. در آغاز به برخی

⁵ Ben Ahmed & Ben Abdallah

⁶ Azharuddin et al.,

⁷ Valinataj, M et al.,

پروتکل‌های سلسله مراتبی اشاره مختصری داشته، سپس به بررسی ویژگی‌ها و معایب مهم پروتکل‌ها می‌پردازند، در نهایت پروتکل‌های بررسی شده را از نظر کارآمدی با یکدیگر مقایسه کرده و جدول مقایسه‌ای برای ویژگی‌های بررسی شده رسم کرده‌اند.

خضراء و همکاران در سال ۱۳۹۲ در پژوهشی با عنوان مروری بر الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر زیرآبی به بررسی پرداختند. اخیراً توجه محققین به شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآبی به منظور جمع‌آوری اطلاعاتی نظیر کنترل آلودگی جلوگیری از بلایای طبیعی تحقیقات ساحلی کمک به دریانوردی و کاربردهای نظامی جلب شده است شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآبی گونه‌ای از شبکه‌های حسگر بی‌سیم‌اند ولی برای برقراری ارتباطات در زیرآب به دلیل قابلیت شنیده شدن و حرکت راحت صوت درآب از امواج صوتی به جای امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود موضوعات حل‌نشده گوناگونی برای این شبکه‌ها همچون مسیریابی مکان‌یابی حمل‌ونقل اطمینان پهنای باند محدود تأخیر انتشار زیاد توان باکتری کم غیره وجود دارد در مقاله انجام‌شده به بررسی برخی از مسیریاب‌ها پرداخته شده است و مزایا و معایب هرکدام را بطور جداگانه بررسی شده است.

سجادی و همکاران در سال ۱۳۹۱ در پژوهشی با عنوان یک الگوریتم مسیریابی بر پایه انرژی و موقعیت نسبی گره‌ها برای شبکه‌های حسگر زیرآبی به بررسی پرداختند. شبکه‌های حسگر زیرآبی دارای کاربردهای مختلفی از جمله نظارت بر محیط آبی، اکتشافات زیردریایی، جلوگیری از وقایع غیرمنتظره و شناسایی مین‌های دریایی می‌باشند. در این نوع شبکه‌ها گره‌ها متحرک هستند. پروتکل‌های مسیریابی به منظور انتقال داده‌ها از گره مبدأ به گره یا گره‌های مقصد بکار می‌روند. در مقاله انجام‌شده یک الگوریتم مسیریابی را برای این شبکه‌ها ارائه شده است. در الگوریتم ارائه شده با استفاده از مجموعه حاکم همبند اشتاینر (SCDS) یک ستون فقرات مجاری بر اساس انرژی باقیمانده و موقعیت نسبی گره‌ها ایجاد می‌شود. در ادامه الگوریتم پیشنهادی را با پروتکل مسیریابی (DBR) مقایسه شده‌اند. پارامترهای مورد مقایسه، طول عمر مسیر ساخته شده و تعداد گره‌های شرکت‌کننده در مسیر ایجاد شده با اعمال تغییرات در شعاع حسگرها و تعداد گره‌های شبکه می‌باشد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نتایج بهتری از لحاظ پایداری و طول عمر مسیر ایجاد شده و نیز کاهش در تعداد گره‌های شرکت‌کننده در مسیر تولید می‌کند.

نتیجه:

کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم زیر آبی صوتی و جدول نتیجه‌ها پروتکل مسیریابی چندگانه توزیع شده‌ای، برای انتخاب چندین مسیر نود مجزا بین هر جفت نود منبع و مقصد ارائه شده است. به علاوه، الگوریتم توزیع باری نیز برای توزیع ترافیک روی مسیرهای شناسایی شده در فاز شناسایی مسیرها ارائه شده است. الگوریتم توزیع بار ارائه شده، به نود منبع امکان می‌دهد که ترافیک موجود را براساس میزان انرژی و طول هر مسیر توزیع نماید. این پروتکل جهت شناسایی مسیرهای نود مجزای موجود از سه فاز مجزا تشکیل شده است. در فاز اول نوعی پیام کنترلی در شبکه منتشر می‌شود. با انتشار این پیام در شبکه، هر نود از وضعیت نودهای موجود در همسایگی خود مطلع شده، نودهای مقصد و کمترین فاصله ممکن تا هر کدام از آن‌ها را نیز شناسایی خواهد کرد. فاز دوم زمانی شروع می‌شود که تعدادی از نودهای حسگر رخدادی را شناسایی نموده و قصد ارسال داده‌های جمع‌آوری شده به نود مقصد را دارند. در این فاز مسیرهای نود مجزایی بین هر جفت نود منبع و مقصد شناسایی شده، پس از شناسایی مسیرهای موجود، نود منبع نرخ داده‌ای مناسبی را به هر مسیر، براساس هزینه‌ی آن مسیر، انتساب می‌کند. فاز سوم بعد از فاز شناسایی مسیرها، برای انتقال داده‌ها به نود مقصد و نگهدارنده‌ی آن مسیرهای شناسایی شده، شروع می‌شود. چون ممکن است نرخ داده‌ی اولیه که به هر مسیر نسبت داده شده مناسب نباشد یا به مرور زمان میزان انرژی موجود در هر مسیر به طور قابل توجهی کاهش یابد، هنگام ارسال داده‌ها در هر مسیر، مقادیر کنترلی دیگری برای کنترل میزان انرژی موجود در مسیرهای فعال نیز انتقال می‌یابد. هنگامی که نود مقصد با توجه به این اطلاعات مطلع شد که هزینه مسیر اصلی از میزان معینی بیشتر شده نرخ داده نسبت داده شده به هر مسیر را براساس شرایط جاری مسیرها مجدداً تغییر می‌دهد. نود منبع میزان تأخیر بین بسته‌های دریافتی خود را برای اطلاع از خرابی مسیرها، کنترل می‌کند.

نوع کاربرد	نحوه نگهداری مسیرها	نحوه توزیع ترافیک	انتخاب‌گر مسیرها	تعداد مسیرها	نوع مسیرها	پروتکل مسیریابی چندگانه
تحمل‌پذیری در مقابل خرابی‌ها	پس از خرابی آخرین مسیر	یک مسیر	نودهای میانی	N	مجزای جزئی	Braided Multi-Path Routing [26]
تحمل‌پذیری در مقابل خرابی‌ها	خرابی آخرین مسیر	یک مسیر	نودهای میانی و نود مقصد	N	لینک مجزا (قابل توسعه به نود مجزا)	AOMDV [30]
بهبود قابلیت اطمینان	زمانی که قابلیت اطمینان مورد نظر برآورده نشود.	-	نود مقصد	N	نود مجزا	MP-DSR [32]
تحمل‌پذیری در مقابل خرابی‌ها	پس از خرابی آخرین مسیر	یک مسیر	نودهای میانی	N	نود مجزا	N-to-1 Multi Path Routing [28]
بهبود قابلیت اطمینان و امنیت	پس از خرابی آخرین مسیر	چندین مسیر	نودهای میانی	N	نود مجزا	H-SPREAD [29]
کاهش تأخیر	پس از خرابی آخرین مسیر	چندین مسیر	نود مقصد	N	نود مجزا	[33]
کاهش تأخیر و ازدحام	پس از خرابی یکی از مسیرها	چند مسیر	نود مقصد	۲ (قابل توسعه)	نود مجزا	SEMR [34]
کاهش میزان انرژی مصرفی	پس از خرابی آخرین مسیر	چند مسیر	نود مقصد	۲ (قابل توسعه)	نود مجزا	SMR [35]
کاهش میزان انرژی مصرفی	تنها دو مسیر یا کمتر فعال باشند	چند مسیر	نود مقصد	N	نود مجزا	[36]

مرجان مرادی*، جواد رضازاده و عبدالصمد اسماعیل

با استفاده از روابط صوتی در میان UWSN در مقایسه با اتصالات رادیویی در TWSN چالش‌های مختلفی را ارائه می‌دهد و به بومی سازی زیرآب محدود می‌شود این امر چالش برانگیز است که امواج رادیویی (RF) به شدت زیر آب تضعیف می‌شوند. بنابراین به کارگیری فن آوری مانند GPS امکان پذیر نیست. [۴] کانال‌های صوتی توسط پهناهای باند به شدت محدود، تأخیر در انتشار بالا و میزان خطای بی‌تئی بالا مشخص می‌شود. از این رو، امید است پروتکل‌های بومی سازی با حداقل تبادل پیام ممکن کار کند. اتصالات ارتباطی

صوتی زیر آب را می توان براساس طیف خود به عنوان کوتاه، متوسط، بلند و بسیار بلند طبقه بندی کرد. سرعت داده ی اتصالات صوتی و پهنای باند معمولی کانال صوتی زیر آب برای محدوده های مختلف در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱. سرعت داده و پهنای باند معمولی برای کانال زیر آبی با محدوده های مختلف.

بازه	محدوده (Km)	سرعت داده	پهنای باند (KHz)
برد کوتاه	<1	~20 kbps	20-50
برد متوسط	1-10	~10 kbps	~10
دور برد	10-100	~1 kbps	2-5
مقیاس مخزن	3000	~10 bps	<1

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، پهنای باند و سرعت داده ی ارتباطات زیر آب صوتی بسیار کم است، اما برای فواصل کوتاهتر افزایش می یابد. این بدان معنی است، در طیف وسیعی از برنامه های کاربردی با استفاده از مودم های صوتی با محدوده طولانی، پروتکل های بومی سازی با حداقل پیام ممکن و بیت های داده ضعیف بایستی ایجاد شوند. در غیر این صورت، عملکرد شان به شدت تحت تاثیر مقدار پردازش مورد نیاز است. این هم چنین توسط قدرت محدود سنسورهای زیر آبی و عدم امکان تغییر و یا شارژ مجدد باتری ملزم می شود. در همین حال، شبکه های حسگر زیر آبی اگر نگه نداشته شوند، شبکه هایی بسیار هستند و محل گره ها مدام تغییر میکند. بنابراین، تحرک گره هایی که آزادند و شناور اند چالش دیگری را در بومی سازی به همراه خود می آورد. در چنین محیط آبی پویایی، فرآیند بومی سازی بایستی به صورت دوره ای به اجرا درآید تا نتایج مکانی را به روز رسانی کند، همانگونه که به طور قابل توجهی مقدار پردازش مورد نیاز ارتباطات و مصرف انرژی را افزایش می دهد. [۸،۷]. علاوه بر این، در برخی از برنامه های کاربردی مانند بلایای طبیعی از پیش اخطار دهنده و ممنوعیت خط ساحلی، زمان پاسخ بومی سازی بایستی آنقدر سریع باشد تا مکان واقعی آن را گزارش دهد زمانیکه داده حس می شود و این مصرف انرژی را افزایش می دهد.

منابع و مراجع

- [۱] ابراهیمی، راضیه؛ روستا، فاطمه؛ مدرسی، مریم، (۱۳۹۲)، بررسی و مقایسه کارآمدی انرژی در الگوریتم‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، همایش ملی مهندسی کامپیوتر و توسعه پایدار با محوریت شبکه‌های کامپیوتری، مدل-سازی و امنیت سیستم‌ها.
- [۲] یوسفی، حامد، میزانیان، کامییز، جهانگیر، امیر حسین، یگانه، محمد حسین، بیشینه کردن طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با ارتباطات غیرقابل اطمینان. چهاردهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر ایران، تهران. ۲۰ و ۲۱ اسفندماه ۱۳۸۷.
- [۳] عبادی، سعید؛ رسولی هیکل‌آباد، سعید، (۱۳۸۹)، ارائه یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی جدید برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، شهریور.
- [۴] غفاری، امیر مسعود رحمانی؛ حاج سید جوادی، سید حمید، (۱۳۹۳)، پروتکل مسیریابی مطمئن و کارآمد از لحاظ انرژی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مجله‌ی علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات، جلد ۳، شماره ۱.
- [۵] خراسانی، جاوید، قره ویسی، علی‌اکبر، فتوحی فیروزآباد، محمود، جبار، محسن، ۱۳۸۷، روش هوشمند جدیدی برای حل مسأله در مدار قرار دادن ژنراتورها، بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق.
- [۶] خضراء، گلاره؛ معصومه فخرآبادی و انیس قادریان، ۱۳۹۲، مروری بر الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر زیرآبی، اولین همایش ملی برق و کامپیوتر جنوب ایران، خورموج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورموج.
- [۷] سجادی، جهانگرد؛ سارا خسروی و جواد اکبری ترکستانی، ۱۳۹۱، یک الگوریتم مسیریابی بر پایه انرژی و موقعیت نسبی گره‌ها برای شبکه‌های حسگر زیرآبی، ششمین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی
- [۸] سیادت، نسیم، محمدی، کریم، طراحی و شبیه‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی تحمل‌پذیر نقص در شبکه بر روی تراشه، مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۷، ش ۱۶، (۱۳۸۸).
- [۹] مرادی امیر، سلماسی زاده محمود. منظوری شلمانی محمدتقی، اختلاف تحمل‌پذیری خطا و مقاومت در برابر حملات تزریق خطا در پیاده‌سازی‌های الگوریتم رمز AES، علوم و مهندسی کامپیوتر، دوره ۴، شماره ۲-۴ (ب)، صفحه ۳۲ تا ۳۸، (۱۳۸۵).
- [10] Akyildiz, I. F., Pompili, D., & Melodia, T. (2015). Underwater acoustic sensor networks: research challenges. *Ad hoc networks*, 3(3), 257-279.
- [11] Azharuddin, M., Kuila, P., & Jana, P. K. Energy efficient fault tolerant clustering and routing algorithms for wireless sensor networks. *Computers & Electrical Engineering*. (2014).
- [12] Ben Ahmed, A., & Ben Abdallah. A. Graceful deadlock-free fault-tolerant routing algorithm for 3D Network-on-Chip architectures. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 74(4), 2229-2240. (2014).
- [13] H. AboElFotoh, E. Elmallah, and H. Hassnein. "On the Reliability of Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2006) Symposium on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks*. (2006).

- [14] J. D. Allen, P. T. Gaughan, D. E. Schimmel, and S. Yalamanchili, "Ariadne-an adaptive router for faulttolerant multicomputers," SIGARCH Comput.Archit. News, vol. 22, (1994).
- [15] J. Duato, S. Yalamachili, L. Ni. Interconnection Network an Engineering Approach, Morgan Kaufmann Publishers,ISBN : 1-55860-852-4,(2003).
- [16] Jouybari, H. N., & Mohammadi, K. A Low Overhead, Fault Tolerant and Congestion Aware Routing Algorithm for 3D Mesh-based Network-on-Chips.Microprocessors and Microsystems. (2014).
- [17] V. Rantala, T. Lehtonen, J. Plosila."Network on Chip Routing Algorithms",University of Turku , Department of Information Technology Joukahaisenkatu 3-5 B, 20520 Turku , Finlandvttran,tetale , juplos@utu.fi.(2006).
- [18] Valinataj, M., Mohammadi, S., Plosila, J., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. A reconfigurable and adaptive routing method for fault-tolerant mesh-based networks-on-chip. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 65(7), 630-640. (2011).
- [19] W. J. Dally and H. Aoki. "Deadlock-free adaptive routing in multicomputer networks using virtual channels," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 4, pp. 466-475, (1993).
- [20] W. J. Dally, B. Towles. "Principles and Practices of Interconnection Networks". Morgan Kaufmann Publishers an Imprint of Elsevier Inc. ISBN: 0- 12-200751-4. (2004).