



بکارگیری یک مکانیزم احتمالاتی و ناحیه‌بندی دامنه انتقال گره‌ها جهت بهبود الگوریتم مسیریابی DBR در شبکه‌های حسگر زیرآبی

مجتبی جمشیدی^۱، اکرم حیرانی^۲، مهدی اثنی عشری^۳، محمد رضا میبیدی^۴

^۱ آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران jamshidi.mojtaba@gmail.com
^۲ گروه کامپیوتر، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران akramheyran@gmail.com
^۳ پژوهشکده فناوری اطلاعات، پژوهشگاه فضای مجازی، تهران، ایران esnaashari@itrc.ac.ir
^۴ دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده

فراهم نمودن یک الگوریتم مسیریابی کارا، از نظر نرخ تحویل بسته‌ها، تأخیر انتها به انتهای تحویل بسته‌ها از مبدأ به مقصد و انرژی مصرفی، برای شبکه‌های حسگر زیرآبی بسیار چالش‌زا است. چراکه این شبکه‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر استفاده از کانال‌های صوتی بجای کانال‌های رادیویی جهت مخابره و نیز همبندی (توپولوژی) بسیار پویا به دلیل حرکت حسگرها توسط جریان آب هستند. یکی از الگوریتم‌های بسیار مطرح در این زمینه، الگوریتم مبتنی بر عمق DBR است. این الگوریتم بسیار ساده است، ولی از نظر نرخ تحویل بسته‌ها، تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی کارآمد نیست. در این مقاله با اضافه کردن یک رویه شتاب به الگوریتم پایه DBR، سعی می‌شود کارایی این الگوریتم افزایش یابد. در رویه شتاب، از یک مکانیزم احتمالاتی ساده جهت تسریع در ارسال بسته‌ها و نیز افزایش چندمسیری به سمت مقصد استفاده می‌شود. در الگوریتم DBR گره‌ها ابتدا مدت زمانی بسته دریافتی را در بافر خود نگه می‌دارند و سپس، در صورت لزوم، آن را به سمت مقصد هدایت می‌کنند، اما در رویه شتاب الحاقی، هر گره دریافت کننده بسته، با احتمال $0 < P_f \leq 1$ بسته دریافتی را بلافاصله به سمت مقصد هدایت می‌کند و با احتمال $1 - P_f$ از روال معمول DBR پیروی می‌کند. الگوریتم پیشنهادی توسط شبیه‌ساز JSIM پیاده‌سازی گردیده و با انجام یک سری آزمایش‌ها، کارایی آن با الگوریتم پایه DBR از نقطه نظرهای نرخ تحویل بسته‌ها، تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی مقایسه گردیده است. نتیجه آزمایش‌ها حاکی از برتری الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم DBR است.

کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر زیرآبی، مسیریابی، الگوریتم DBR، رویه شتاب

۱- مقدمه

استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی که نیازمند پهنای باند بالا هستند و یا تأخیر انتها به انتها^۱ در آنها زیاد است نمی‌تواند یک انتخاب خوب باشد.

۲- همبندی در این شبکه‌ها بسیار پویاست، چراکه گره‌های حسگر توسط جریان آب، مدام در حال حرکت هستند (بجز برخی حسگرهای سطح آب یا در کف آب که به‌طور ثابت مستقر می‌شوند). لذا، نمی‌توان از الگوریتم‌های مسیریابی خاص شبکه‌های حسگر زمینی (که اغلب دارای همبندی ثابت و یا کم تحرک هستند) برای شبکه‌های حسگر زیرآبی استفاده کرد.

۳- دلیل آخر که البته خاص هم شبکه‌های حسگر زمینی و هم زیرآبی است، محدود بودن انرژی باتری گره‌های حسگر است که بکارگیری الگوریتم‌های مسیریابی با سربار ارتباطات بالا را نامناسب می‌نماید.

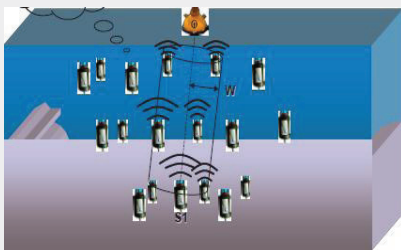
تاکنون الگوریتم‌های زیادی نظیر [8-16] برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر زیرآبی ارائه شده است. در [8] یکی از مطرح‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی، DBR^۲ برای شبکه‌های حسگر زیرآبی پیشنهاد شده است. DBR یک الگوریتم بسیار ساده و مبتنی بر عمق است که نیازی به تعیین مکان گره‌ها ندارد. این الگوریتم تنها از مشخصه میزان عمق گره‌ها در آب جهت مسیریابی بسته‌ها بهره می‌گیرد. در بخش بعدی، به تفصیل بیشتر این الگوریتم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربرد گسترده‌ای در بسیاری از دامنه‌های زمینی، نظیر خدمات شهری، محیط زیست، صنعت، بناهای تاریخی، دیده‌بانی مرزها و ... دارند. در سال‌های اخیر، این شبکه‌ها کاربرد روز افزونی در دامنه‌های زیرآبی داشته‌اند. به چنین شبکه‌های حسگری که برای محیط‌های زیرآبی ساخته می‌شوند، اصطلاحاً UWSN^۱ گفته می‌شود. مسیریابی و تحویل بسته‌ها از مبدأ به مقصد یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در حوزه تحقیقاتی شبکه‌های UWSN است که مورد توجه بسیاری از محققان نیز قرار گرفته است [1][2][3].

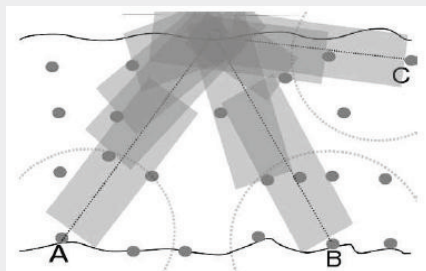
از طرفی، با توجه به ویژگی‌های خاص شبکه‌های حسگر زیرآبی، طراحی یک الگوریتم مسیریابی مقیاس‌پذیر و کارآمد برای این گونه شبکه‌ها بسیار چالش‌زاست. مهم‌ترین دلایل این امر عبارتند از [4-7]:

۱- ارتباطات رادیویی در زیر آب، به دلیل تضعیف سریع، به‌خوبی کار نمی‌کند و از این‌رو، معمولاً از ارتباطات صوتی در محیط زیرآب استفاده می‌شود. ولی کانال‌های صوتی اغلب پهنای باند کم و تأخیر انتشار طولانی دارند. بنابر این،

الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی گره‌های حسگر در معماری سلسله مراتبی سه-بُعدی، به نام LCAD، برای شبکه‌های حسگر زیرآبی مطرح شده است. در این الگوریتم، کل شبکه به گریدهای سه-بُعدی تقسیم می‌شود. مخابره داده‌ها از سه فاز تشکیل شده است: (۱) فاز راه‌اندازی، که سرکلاستر انتخاب می‌گردد. (۲) فاز جمع‌آوری داده‌ها، که داده‌ها توسط گره‌های درون خوشه به سرکلاستر فرستاده می‌شود. (۳) فاز انتقال، که داده‌های جمع‌آوری شده توسط سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه ارسال می‌گردد. الگوریتم DUCS [16] یک الگوریتم خودسازماندهی تطبیقی برای خوشه‌بندی است. این الگوریتم فرض نموده است که همیشه داده‌ها جهت ارسال به چاهک توسط گره‌های حسگر زیرآبی وجود دارد و از کنترل توان جهت تنظیم توان انتقال استفاده می‌شود. الگوریتم DUCS سعی می‌کند با ویژگی‌های ذاتی محیط‌های زیرآبی، هم‌چون تأخیر انتشار طولانی، نرخ تحویل داده پایین و سخت بودن همزمانی خود را تطبیق دهد.



شکل (۱) یک تصویر سطح بالا از الگوریتم VBF [10]



شکل (۲) نحوه اجرای الگوریتم HH-VBF در یک شبکه حاوی سه گره منبع [10]

الگوریتم DBR [8] یک الگوریتم حریصانه است که تلاش می‌کند یک بسته را از گره منبع به چاهک‌ها تحویل دهد. این الگوریتم نیازی به داشتن موقعیت جغرافیایی گره‌ها ندارد و فقط از مشخصه میزان عمق جهت مسیریابی بسته‌ها بهره می‌گیرد. هم‌چنین، این الگوریتم در شبکه‌های حسگر زیرآبی با معماری چند-چاهک [17] بسیار موثرتر عمل می‌کند. شکل (۳) یک نمونه از چنین شبکه‌هایی را نشان می‌دهد. در این معماری، چندین گره چاهک که مجهز به مودم‌های صوتی و رادیویی هستند (قابلیت مخابره از طریق سیگنال‌های رادیویی و صوتی را دارند)، در سطح آب گسترش می‌یابند. در الگوریتم DBR هم‌چنین فرض شده است هر حسگر زیرآبی از میزان عمق خود در آب اطلاع دارد. در عمل، اطلاعات عمق، به آسانی از طریق حسگرهای عمقی بدست می‌آید. قالب بسته‌ها در این الگوریتم نیز در شکل (۴) آمده است. در فیلد SenderID شناسه گره منبع، در فیلد Packet Sequence Number شماره بسته، در فیلد Depth عمق گره ارسال کننده بسته و داده‌ها در فیلد Data قرار می‌گیرد.

روند اجرای الگوریتم DBR به‌طور خلاصه به این صورت است: گره u به محض دریافت یک بسته از گره v ، ابتدا عمق گره گام قبلی (یعنی گره v) که داخل بسته دریافتی قرار دارد را بازیابی می‌کند. گره u عمق خودش، d_u را با عمق گره گام قبلی (در اینجا گره v)، d_v مقایسه می‌کند. چنانچه گره u خودش را نزدیکتر به سطح آب ببیند، یعنی $d_u < d_v$ باشد، خود را شایسته

خواهیم پرداخت. در کل، الگوریتم DBR از نقطه نظر نرخ تحویل بسته‌ها، تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی، چندان کارآمد نیست.

در این مقاله، با اضافه کردن یک رویه شتاب به الگوریتم پایه DBR، کارایی این الگوریتم بهبود داده می‌شود. در رویه شتاب، از یک مکانیزم احتمالاتی ساده جهت تسریع در ارسال بسته‌ها و نیز افزایش تعداد مسیرهای ارسال بسته‌ها به سمت مقصد استفاده می‌شود. از این رو، کارایی الگوریتم DBR تا حد زیادی بهبود می‌یابد. الگوریتم پیشنهادی ADBR^{*} نام‌گذاری شده است.

ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی می‌شود: در بخش ۲ به ارائه کارهای گذشته و در بخش ۳ به تشریح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازیم. بخش ۴ به ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی و بخش آخر به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲- کارهای گذشته

در [9] اولین الگوریتم مسیریابی، VBF^۵، برای شبکه‌های حسگر زیرآبی مطرح شد. در الگوریتم VBF، فرض شده است که هر گره از موقعیت مکانی خود آگاه است. هم‌چنین، در هر بسته، موقعیت مکانی گره‌های منبع، چاهک و ارسال کننده جاسازی می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم، استفاده از یک لوله مسیریابی مجازی است که بردار "منبع تا چاهک" به عنوان محور (لوله) W و به عنوان شعاع آن است (شکل ۱). پارامتر W یک آستانه‌ی از پیش تعریف شده است. اگر یک گره داخل این لوله قرار گیرد، بسته را از منبع به سمت مقصد ارسال می‌کند. به‌طور دقیق‌تر، هر گره میانی u که داده‌های منبع را دریافت کند، ابتدا فاصله خودش از بردار "منبع تا چاهک" را محاسبه نموده و چنانچه این فاصله کوچکتر یا مساوی شعاع لوله، W ، باشد آنگاه اقدام به ارسال بسته می‌کند، در غیر این‌صورت، گره u بسته دریافتی را دور می‌ریزد. در این الگوریتم، به ازای هر گره منبع، یک لوله مجازی تعریف می‌شود. در [10] نیز یک الگوریتم دیگر به نام HH-VBF^۶ مطرح شده است که از همان مفهوم بردار مسیریابی مطرح شده در VBF استفاده می‌کند. ولی بجای استفاده از یک لوله مجازی تکی از منبع تا چاهک، الگوریتم HH-VBF از لوله‌های مجازی مختلف، در هر نقطه از ارسال بسته (گره‌های میانی) استفاده می‌کند. شکل (۲) نحوه ایجاد مسیرها در این الگوریتم را نشان می‌دهد.

الگوریتم REBAR [11] یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر مکان است که بر سه مسئله مهم در رابطه با شبکه‌های حسگر زیرآبی، یعنی مصرف انرژی، نرخ تحویل بسته‌ها و مسئله فضای خالی تمرکز دارد. در REBAR، گره‌ها به کمک اطلاعات جغرافیایی فقط در یک دامنه خاص بین گره منبع و چاهک عمل انتشار (broadcast) بسته‌ها را انجام می‌دهند. یعنی از انتشار در سطح کل شبکه، که باعث مصرف زیاد انرژی می‌گردد، استفاده نمی‌شود. الگوریتم FBR [12] یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر مکان و انرژی موثر است. در این الگوریتم فرض می‌شود هر گره از موقعیت مکانی خود و گره مقصد آگاه است. هم‌چنین از سطوح انتقال متغیر در ارسال بسته‌های داده‌ای استفاده می‌شود. در [13] یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر سکتوربندی به همراه پیشگویی مکان مقصد، به نام SBR-DLP، مطرح گردیده که در آن فرض شده است یک گره موقعیت مکانی خود را می‌داند و مکان گره مقصد نیز پیش‌بینی می‌شود.

تحرك زیاد گره‌ها و شرایط محیط آکوستیک دو عامل مهم منجر به از دست رفتن بسته‌ها در فرآیند مسیریابی، و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان شبکه است. الگوریتم DFR [14] بر این موضوع تمرکز دارد و کیفیت لینک را در استراتژی هدایت بسته‌ها در نظر می‌گیرد. در این الگوریتم نیز فرض می‌شود اطلاعات جغرافیایی تمام گره‌ها در دسترس است. در [15] یک

انتها به انتهای یک بسته زیاد می‌باشد. همچنین، به دلیل کنترل شدید چند-مسیری، نرخ تحویل بسته‌ها پایین است.

۳- الگوریتم پیشنهادی (ADBR)

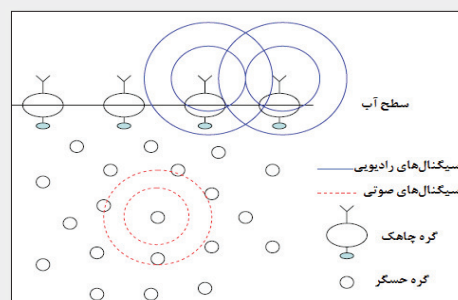
در الگوریتم پیشنهادی ADBR، از یک مکانیزم احتمالاتی ساده جهت سرعت بخشیدن به عمل ارسال بسته‌ها و نیز افزایش چند-مسیری در الگوریتم DBR استفاده می‌شود. در ADBR، هر گره i پس از دریافت یک بسته p از گره j ، هم‌چون الگوریتم DBR، اگر i در عمق بیشتری نسبت به j قرار گرفته باشد، یعنی $d_p > d_i$ ، و یا بسته p را در بافر Q2 داشته باشد، گره i به سادگی این بسته را دور می‌ریزد. در غیر این صورت، رویه شتاب فراخوانی می‌شود. به‌طور خلاصه، در رویه شتاب، با احتمال P_f گره i بلافاصله اقدام به ارسال بسته دریافتی p می‌کند. یعنی زمان نگهداری برابر صفر می‌شود. واضح است، علاوه بر گره i ، ممکن است چندین گره همسایه دیگر، بسته p را از گره j دریافت کنند. لذا این گره‌ها نیز روال شتاب را اجرا می‌کنند. بنابر این، بهتر است احتمال P_f برای هر گره، متناسب با اختلاف عمق خودش با گره گام قبلی انتخاب گردد. لذا می‌توان احتمال P_f را از رابطه (۲) بدست آورد:

$$P_f = \frac{\left\lfloor \frac{d}{\lambda} \right\rfloor}{\lambda}, \quad \lambda = [1, R], \quad d = d_p - d_c \quad (2)$$

که در این‌جا، d اختلاف عمق، R حداکثر دامنه انتقال و λ یک مقدار ثابت مفروض در شبکه است. درواقع، الگوریتم پیشنهادی، ناحیه بالاتر (کم عمق‌تر) از یک گره ارسال کننده را به R/λ زیرناحیه مساوی، که ارتفاع هر زیر ناحیه λ است، تقسیم می‌کند. انتخاب تابع $\lceil \cdot \rceil$ در این رابطه سبب خواهد شد احتمال P_f برای تمام گره‌های واقع در یک ناحیه خاص برابر شود. از این‌رو، تمام گره‌های واقع در یک ناحیه خاص، شانس برابری جهت ارسال بدون درنگ بسته دریافتی خواهند داشت. لذا بسته‌ها از مسیرهای مختلف به سمت چاهک‌ها هدایت می‌شوند تا نرخ تحویل بسته‌ها افزایش یابد. در ادامه با توجه به شکل (۵) به تشریح بیشتر رویه شتاب می‌پردازیم.

مطابق شکل (۵)، فرض کنید گره s یک بسته را منتشر کند. گره‌های u, v, w, x, a, z و دیگر گره‌های همسایه، بسته را دریافت می‌کنند. حال تمام گره‌های همسایه کم عمق‌تر نسبت به s که این بسته را در بافر Q2 خود یافت نمی‌کنند، به عنوان مثال، گره‌های u, v, w, x, a, z رویه شتاب را اجرا می‌کنند. با فرض اینکه پارامتر $\lambda = R/4$ تنظیم شده باشد، چهار زیر ناحیه عمقی، بالاتر از گره s ایجاد می‌شود که گره‌های w و z در ناحیه اول، گره x در ناحیه دوم، گره‌های a و v در ناحیه سوم و گره u در ناحیه چهارم واقع می‌شوند. گره u چون که در ناحیه چهارم واقع شده است، به احتمال $P_f = 1$ بلافاصله اقدام به ارسال بسته دریافتی می‌کند. ولی گره‌های a و v به احتمال $P_f = 0.75$ ، گره‌های x به احتمال $P_f = 0.50$ و گره‌های w و z به احتمال $P_f = 0.25$ اقدام به ارسال بسته می‌کنند. واضح است، گره‌هایی که در عمق کمتری نسبت به دیگر گره‌ها می‌باشند بهتر است سریع‌تر بسته را به سمت چاهک ارسال کنند. به عنوان مثال، گره‌ای که در زیرناحیه آخر از دامنه انتقال گره گام قبلی باشد (در شکل ۵ گره u در زیرناحیه آخر از دامنه انتقال گره s است)، بهتر است بلافاصله بسته دریافتی را به سمت چاهک هدایت کند و نباید عمل ارسال خود را به تعویق بیندازد (زمان نگهداری صفر شود). این امر سبب کاهش تأخیر انتها به انتها می‌گردد. هم‌چنین این احتمال وجود دارد، در رویه شتاب، برخی گره‌های دیگر (علاوه بر u)، مثلاً گره z بلافاصله اقدام به ارسال بسته کنند. از این‌رو بسته از طریق چند مسیر مختلف به سمت

کاندیدا شدن برای ارسال بسته می‌داند. در غیر این صورت، گره u بسته دریافتی را دور (Drop) می‌ریزد. در DBR، هر گره یک صف اولویت Q1 و یک بافر Q2 در حافظه خود دارد. هر آیتم در بافر Q2 یک شناسه یکتا دارد که از ترکیب SenderID و Packet Sequence Number بسته تشکیل می‌شود. زمانی که یک گره به‌طور موفق یک بسته را ارسال می‌کند، شناسه یکتای این بسته را در Q2 درج می‌کند. هر آیتم در صف Q1 دو مولفه دارد: یک بسته و زمان ارسال زمانبندی شده^۴ برای ارسال بسته. اولویت یک آیتم در Q1 توسط زمان ارسال زمانبندی شده مشخص می‌گردد. یک آیتم با زمان ارسال نزدیک‌تر، دارای اولویت بالاتر است. یک گره به محض دریافت یک بسته، بلافاصله اقدام به ارسال بسته نمی‌کند، بلکه مدت زمانی، تحت عنوان زمان نگهداری بسته را نگه می‌دارد. زمان ارسال زمانبندی شده یک بسته براساس زمان دریافت بسته و زمان نگهداری محاسبه می‌شود.



شکل (۳) معماری شبکه حسگر زیرآبی چند-چاهک

Sender ID	Packet Sequence Number	Depth	Data
سرایند بسته			

شکل (۴) قالب بسته در الگوریتم DBR

یک گره u هنگام دریافت یک بسته، چنانچه قبلاً آن را ارسال نکرده باشد (در بافر Q2 نباشد) و نیز بسته از سوی یک گره با عمق بیشتر ارسال شده باشد (یعنی $d_p > d_c$)، آن را در Q1 درج می‌کند. اگر بسته هم‌اکنون در Q1 باشد و مجدداً بسته مذکور دریافت گردد (در طول زمان نگهداری)، در این صورت، چنانچه کپی جدید بسته از سوی یک گره با عمق کمتر یا مساوی گره u ، یعنی $d_p \leq d_c$ ، باشد بسته از Q1 حذف می‌گردد. ولی اگر بسته از یک گره با عمق بیشتر به دست گره u رسیده باشد، یعنی $d_p > d_c$ ، در این صورت، زمان ارسال بسته مورد نظر در Q1 بروزرسانی می‌گردد. هر گره، پس از ارسال یک بسته، آن را از صف Q1 خود حذف و به بافر Q2 خود اضافه می‌کند. نحوه محاسبه زمان نگهداری در رابطه (۱) آمده است:

$$f(d) = \frac{2\tau}{\delta} \cdot (R - d), \quad \delta \in (0, R], \quad \tau = R / v_0 \quad (1)$$

که در اینجا، R حداکثر دامنه انتقال یک گره، d اختلاف عمق گره جاری و گره گام قبلی، v_0 سرعت انتشار در آب و δ یک مقدار ثابت مفروض در شبکه است. هم‌چنین، در DBR، یک آستانه عمق، d_{th} ، جهت کنترل تعداد گره‌های درگیر جهت ارسال بسته، در نظر گرفته شده است. یک گره تنها زمانی که اختلاف عمق خودش با گره گام قبلی بیشتر از آستانه d_{th} باشد، یعنی $(d_p - d_c) > d_{th}$ ، اقدام به ارسال بسته می‌کند. یکی از معایب الگوریتم DBR، بالا بودن تأخیر انتها به انتها است. از آنجا که در DBR، هر گره پس از دریافت یک بسته، بلافاصله اقدام به ارسال آن نمی‌کند، بلکه مدت زمانی (زمان نگهداری) صبر کرده و سپس، اقدام به ارسال بسته می‌کند. لذا تأخیر

انتقال گرہ‌ها ۵۰ متر است. پهنای باند لینک‌ها 1 مگابیت در نظر گرفته شده است. میزان انرژی مصرفی برای ارسال، دریافت و حالت بیکاری به ترتیب 0.016، 0.008 و 0.0002 ژول است. انرژی اولیه گرہ‌های حسگر را ۵ ژول در نظر گرفته‌ایم در حالی که فرض شده است گرہ‌های چاهک از نظر میزان انرژی بدون محدودیت هستند. همچنین از پروتکل CSMA در لایه MAC استفاده گردیده است. مدت زمان هر شبیه‌سازی ۱۰۰۰ ثانیه بوده و نتایج نهایی از میانگین ۲۰ اجرای مختلف حاصل گردیده است. معیارهای رایج جهت ارزیابی پروتکل‌های مسیریابی عبارتند از:

نرخ تحویل بسته‌ها: نسبت تعداد بسته‌های مجزای دریافت شده توسط چاهک‌ها بر تعداد کل بسته‌های تولید شده توسط تمام گرہ‌های منبع.

میانگین تأخیر انتها به انتها: میانگین زمان طی شده توسط یک بسته از لحظه ارسال توسط گرہ منبع تا زمان دریافت توسط یک چاهک.

میانگین انرژی مصرفی: میانگین انرژی مصرف شده توسط هریک از گرہ‌های حسگر (بجز گرہ‌های چاهک و منبع) در طول حیات شبکه.

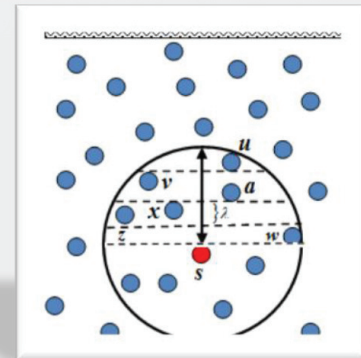
آزمایش ۱: هدف این آزمایش، بررسی تأثیر پارامتر δ بر کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج با الگوریتم پایه DBR است. در این آزمایش پارامترهای $\lambda = R/10$ ، $d_{th} = 0$ ، $N_{Sink} = 10$ و به تعداد ۱۰ گرہ چاهک و $N_{Source} = 1$ گرہ منبع در شبکه وجود دارد. همچنین تعداد گرہ‌ها در شبکه را از $N = 200$ تا $N = 500$ تغییر می‌دهیم. شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب نتایج حاصل را در قالب نرخ تحویل بسته‌ها، میانگین تأخیر انتها به انتها و میانگین انرژی مصرفی نشان می‌دهد.

نتایج این آزمایش در شکل (۶) نشان می‌دهد نرخ تحویل بسته‌ها در الگوریتم پیشنهادی به ازای $N < 500$ بهتر از الگوریتم DBR است و برای $N \geq 500$ ، نرخ تحویل هر دو الگوریتم تقریباً به ۱۰۰٪ می‌رسد. ولی به ازای $N = 300$ ، چنانچه $\delta = R$ باشد نرخ تحویل بسته‌ها در الگوریتم پیشنهادی و DBR به ترتیب برابر ۸۸٪ و ۷۶٪ خواهد بود و برای $\delta = R/2$ نرخ این معیار برای این دو الگوریتم به ترتیب ۸۸٪ و ۸۶٪ است. همچنین، به ازای $N = 400$ و $\delta = R$ ، $R/2$ نرخ این معیار برای الگوریتم پیشنهادی و DBR به ترتیب تقریباً برابر ۹۸٪ و ۹۶٪ است. دلیل این نتایج این است که رویه شتاب در الگوریتم پیشنهادی احتمال هدایت بسته‌ها از طریق چند مسیر مجزا به سمت چاهک‌ها را افزایش می‌دهد. از این رو، نرخ تحویل بسته‌ها در الگوریتم پیشنهادی بیشتر از الگوریتم DBR می‌شود.

همچنین، نتایج آزمایش در شکل (۷) نشان می‌دهد به ازای مقادیر مختلف N و δ ، میانگین تأخیر انتها به انتها الگوریتم پیشنهادی کمتر از الگوریتم DBR است. چراکه در الگوریتم پیشنهادی، به احتمال P_f ، گرہ‌های میانی بلافاصله اقدام به ارسال بسته‌های دریافتی به سوی چاهک‌ها می‌کنند. در حالی که، در الگوریتم DBR، گرہ‌های میانی پس از دریافت یک بسته، مدت زمانی صبر کرده (زمان نگهداری) و سپس اقدام به ارسال بسته‌ها به سمت چاهک‌ها می‌کنند. لذا میانگین تأخیر انتها به انتها الگوریتم DBR بیشتر از الگوریتم پیشنهادی است.

همچنین، شکل (۸) نشان می‌دهد، میانگین انرژی مصرفی الگوریتم پیشنهادی کمتر از الگوریتم DBR است. چراکه در الگوریتم پیشنهادی، هنگامی که یک گرہ u در رویه شتاب اقدام به ارسال بسته دریافتی خود می‌کند، دیگر گرہ‌های همسایه یا گرہ‌هایی که در زیرناحیه‌های پایین‌تر از گرہ u قرار دارند، این بسته را از صف Q1 خود حذف کرده و دیگر آن را ارسال نمی‌کنند (البته اگر در رویه شتاب اقدام به ارسال نکرده باشند). ولی در الگوریتم پایه DBR ممکن است بیش از یک گرہ، زمان نگهداری تقریباً برابری برای

چاهک‌ها هدایت می‌شود که این سبب بالا رفتن نرخ تحویل بسته‌ها خواهد شد. چراکه ممکن است بسته‌ای که از طریق گرہ u هدایت شده، به مقصد نرسد. در روال شتاب، هر گرہ پس از ارسال بسته، آن را از صف Q1 خود (در صورت وجود) حذف و به بافر Q2 اضافه می‌کند.



شکل (۵) یک مدل از اجرای رویه شتاب

ولی اگر گرہ‌ای در رویه شتاب موفق به ارسال بسته نشود، به عبارت دیگر شانس ارسال بسته را پیدا نکند، همان الگوریتم DBR را ادامه می‌دهد. یعنی، بسته دریافتی را در صف Q1 خود درج یا بروزرسانی می‌کند تا پس از طی شدن زمان نگهداری، در صورت لزوم، اقدام به ارسال بسته کند.

حال، در شکل (۵) فرض کنید گرہ‌های u ، a و v وجود نداشته باشند. در این صورت، چنانچه الگوریتم DBR اجرا شود، گرہ‌های x ، z و w مدت زمانی زیادی منتظر خواهند ماند (زمان نگهداری) به این امید که گرہ‌های واقع در عمق کمتر، بسته دریافتی از گرہ s را به سطح آب هدایت کنند درحالی که چنین گرہ‌هایی وجود ندارند. این سبب افزایش تأخیر انتها به انتها می‌شود. ولی چنانچه الگوریتم پیشنهادی اجرا گردد، گرہ x به احتمال $P_f = 0.50$ و گرہ‌های z و w به احتمال $P_f = 0.25$ بلافاصله (زمان نگهداری صفر) اقدام به ارسال بسته دریافتی می‌کنند. لذا تأخیر انتها به انتها کاهش می‌یابد.

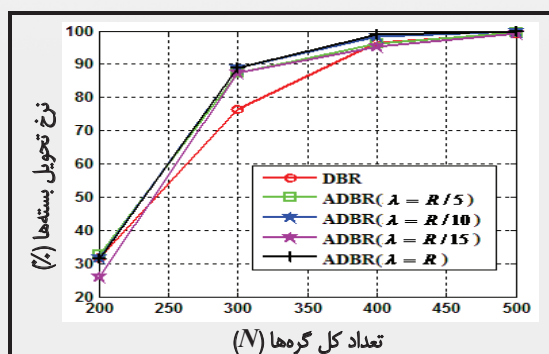
به این ترتیب، الگوریتم پیشنهادی با افزایش درجه چند مسیری و صفر کردن زمان نگهداری در برخی حالات، نرخ تحویل بسته‌ها را افزایش و تأخیر انتها به انتها را کاهش می‌دهد. همچنین، با کاهش تعداد تصادم‌ها، تاحدی انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد.

۴- ارزیابی کارایی

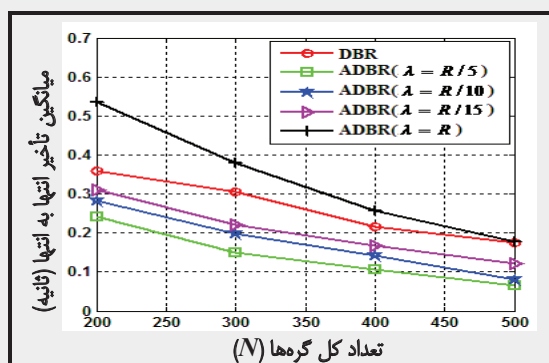
در این جا، به کمک شبیه‌سازی، کارایی الگوریتم ADBR مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل، با نتایج حاصل از الگوریتم DBR مقایسه خواهد شد.

تمام شبیه‌سازی‌ها توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز [18] JSIM انجام شده است. گرہ‌های حسگر به‌طور تصادفی در یک فضای سه‌بعدی $500m \times 500m \times 500m$ گسترش می‌یابند. شبکه حاوی N_{Sink} چاهک است که در سطح آب گسترش می‌یابند و فرض می‌کنیم این گرہ‌های چاهک به‌طور ثابت در سطح آب مستقر می‌شوند (متحرک نمی‌باشند). همچنین شبکه حاوی N_{Source} گرہ منبع است. اگرچه گرہ‌های منبع می‌توانند هرجایی باشند، ولی بخاطر سادگی شبیه‌سازی، آنها را به‌طور تصادفی در پایین‌ترین لایه محیط (کف آب) قرار می‌دهیم. دیگر گرہ‌های حسگر نیز به‌طور تصادفی در محیط مدنظر پراکنده می‌شوند. در اینجا از مدل تحرک در نظر گرفته شده در [19] جهت حرکت گرہ‌ها در محیط شبکه استفاده شده است. فرض می‌شود گرہ‌های منبع در هر ۵ ثانیه یک بسته (به اندازه ۵۰ بایت) تولید می‌کنند. حداکثر دامنه

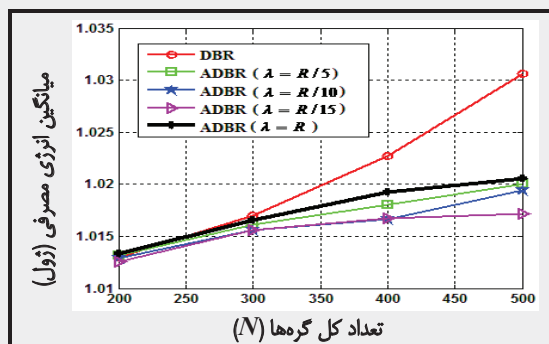
می‌یابد. در حالتی که $\lambda = R$ باشد، چون که همه گره‌های همسایه دریافت کننده بسته در رویه شتاب اقدام به ارسال بسته می‌کنند، لذا احتمال تصادم و مشغول بودن کانال انتقال افزایش می‌یابد که این سبب افزایش تأخیر تحویل بسته‌ها می‌شود.



شکل (۹) تأثیر پارامتر λ بر نرخ تحویل بسته‌ها در الگوریتم پیشنهادی



شکل (۱۰) تأثیر پارامتر λ بر میانگین تأخیر انتها به انتها الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج با الگوریتم DBR

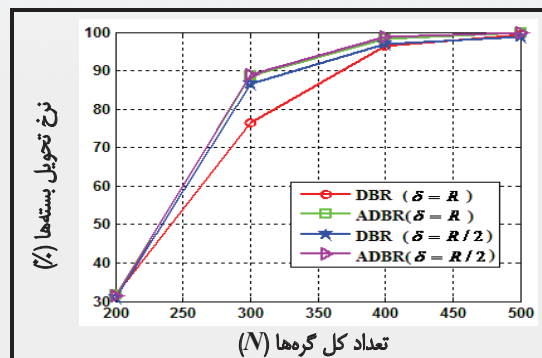


شکل (۱۱) تأثیر پارامتر λ بر میانگین انرژی مصرفی در الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج با الگوریتم DBR

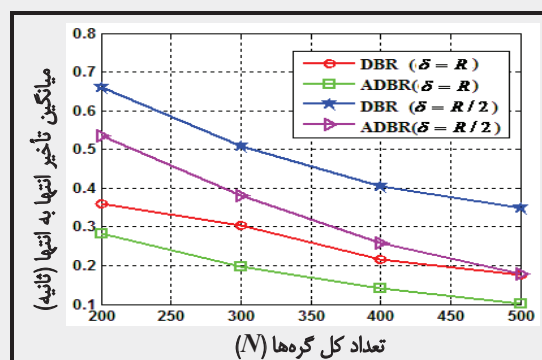
آزمایش ۳: در این آزمایش تأثیر تعداد گره‌های منبع، N_{Source} ، بر کارایی الگوریتم پیشنهادی و DBR مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این آزمایش، پارامترهای $\lambda = R/10$ ، $d_{th} = 0$ ، $\delta = R$ و تعداد گره‌های چاهک $N_{Sink} = 10$ در $N = 200 \sim 500$ تنظیم شده و تعداد گره‌های چاهک $N_{Sink} = 10$ نظر گرفته شده است. جدول (۱) نتایج حاصل را در قالب نرخ تحویل بسته‌ها، شکل (۱۲) نتایج حاصل را در قالب میانگین تأخیر انتها به انتها و شکل (۱۳) نتایج حاصل را در قالب میانگین انرژی مصرفی نشان می‌دهد.

نتایج این آزمایش نیز نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی به ازای مقادیر مختلف N_{Source} از نقطه نظر نرخ تحویل بسته‌ها، میانگین تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی، همواره بهتر از الگوریتم DBR عمل می‌کند. واضح است که با افزایش تعداد گره‌های منبع در شبکه، میزان ترافیک افزایش می‌یابد که این

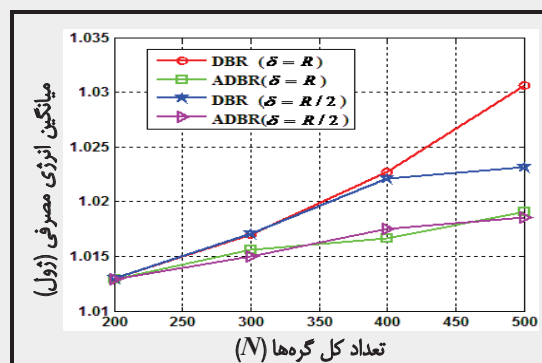
بسته دریافتی داشته باشد. لذا پس از طی شدن زمان نگهداری، این چند گره همزمان اقدام به ارسال بسته دریافتی می‌کنند. این عمل منجر به افزایش میزان تصادم‌ها و در نتیجه افزایش انرژی مصرفی می‌شود.



شکل (۱۲) تأثیر پارامتر δ بر نرخ تحویل بسته‌ها در الگوریتم DBR و ADBR



شکل (۱۳) تأثیر پارامتر δ بر میانگین تأخیر انتها به انتها در DBR و ADBR



شکل (۱۴) تأثیر پارامتر δ بر میانگین انرژی مصرفی دو الگوریتم

آزمایش ۴: در این آزمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی به ازای مقادیر مختلف λ ارزیابی شده و نتایج حاصل با الگوریتم DBR مقایسه می‌شود. در این آزمایش، پارامترهای $\lambda = R$ ، $d_{th} = 0$ ، $\delta = R$ و تعداد گره‌های چاهک $N_{Sink} = 10$ و $N_{Source} = 1$ در $N = 200 \sim 500$ تنظیم شده و به شکل‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهند.

همان‌طور که از شکل (۹) مشخص است، نرخ تحویل بسته‌ها به ازای مقادیر مختلف λ تقریباً برابر بوده و از این حیث بالاتر از الگوریتم DBR است. هم‌چنین، نتایج این آزمایش در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهد با افزایش مقدار پارامتر λ ، میانگین تأخیر انتها به انتها کاهش (بجز حالت $\lambda = R$) و انرژی مصرفی الگوریتم پیشنهادی افزایش می‌یابد. چراکه، هرچه λ افزایش یابد، تعداد زیر نواحی بالاتر از گره ارسال کننده بسته، کاهش می‌یابد. از این‌رو، گره‌های بیشتری شانس ارسال بسته در رویه شتاب را پیدا می‌کنند. لذا تأخیر تحویل بسته‌ها کاهش و در مقابل انرژی مصرفی افزایش

مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramanian Y. and Cayirci E., "A survey on sensor networks", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, 2002.
- [2] Yick J., Mukherjee B. and Ghosal D., "Wireless sensor network survey", Computer Networks 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [3] Akyildiz I.F., Pompili D., Melodia T., "Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks", In: Proc. of ACM SIGBED Review 1(1), 2004.
- [4] Cui J.H., Kong J., Gerla M., Zhou S., "Challenges: Building scalable mobile underwater wireless sensor networks for aquatic applications", In: Proc. Of Special Issue of IEEE Network on Wireless Sensor Networking, 2006.
- [5] Heidemann J., et al. "Research challenges and applications for underwater sensor networking", In: Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2006.
- [6] Partan J., Kurose J., Levine B.N., "A survey of practical issues in underwater networks", In: Proc. of ACM International Workshop on UnderWater Networks (WUWNet), 2006.
- [7] Kilfoyle D. B. and Baggeroer A. B., "The State of the Art in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE Journal of Oceanic Engineering, OE-5(5):4-27, 2000.
- [8] Yan H., Shi Z.J. & Cui J.H., "DBR: depth-based routing for underwater sensor networks", In Proc. of IFIP Networking, Singapore, 2008.
- [9] Xie P., Cui J.-H., and Lao L., "VBF: Vector-Based Forwarding Protocol for Underwater Sensor Networks", In: Proc. of IFIP Networking, Coimbra, Portugal, 2006.
- [10] Nicolaou, N. et al., "Improving the robustness of location-based routing for underwater sensor networks", In: Proc. of IEEE OCEANS, 2007.
- [11] Jinming C. et al., "REBAR: a reliable and energy balanced routing algorithm for UWSNs", In Proc. of the 8th international conference on grid and cooperative computing, 2008.
- [12] Jornet J. M., Stojanovic M. and Zorzi M., "Focused beam routing protocol for underwater acoustic networks", in Proc. of the third ACM International Workshop on UnderWater Networks WUWNet, San Francisco, California, USA, 2008.
- [13] Chirdchoo N., Wee-Seng S. and KeeChaing C., "Sector-based routing with destination location prediction for underwater mobile networks", In Proc. of the international conference on advanced information networking and applications workshops (WAINA), pp. 1148-1153, 2009.
- [14] Daeyoung H. and Dongkyun K., "DFR: Directional flooding-based routing protocol for underwater sensor networks", In Proc. Of the IEEE OCEANS, pp. 1-7, 2008.
- [15] Anupama KR., et al., "A location-based clustering algorithm for data gathering in 3D underwater wireless sensor networks" In Proc. of the International Symposium on Telecommunications, IST, pp. 343-348, 2008.
- [16] Domingo C. M., and Prior R., "Design and analysis of a GPS-free routing protocol for underwater wireless sensor networks in deep water", in International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 215-220, 2007.
- [17] Seach W.K., Tan H.X., "Multipath virtual sink architecture for underwater sensor networks", In: Proc. of OCEANS, 2006.
- [18] J-SIM Simulator, <http://www.j-sim.org>.
- [19] Yu C. M., Lu C. S. , and Kuo S. Y., "Mobile Sensor Network Resilient Against Node Replication Attacks" In: Proc. of IEEE Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2008.

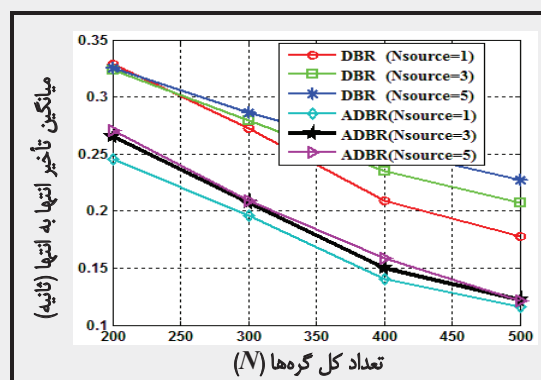
زیر نویس ها

- ¹ Underwater Wireless Sensor Networks
- ² End-to-end delay
- ³ Depth Based Routing
- ⁴ Accelerated Depth-Base Routing
- ⁵ Vector-Based Forwarding
- ⁶ Hop-by-Hop Vector-Based Forwarding
- ⁷ Multiple-sink
- ⁸ Scheduled sending time

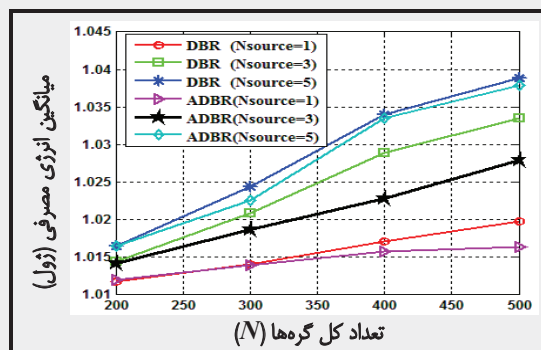
منجر به افزایش تصادمها، مشغول شدن کانالهای انتقال و انرژی مصرفی خواهد شد. بنابر این، با افزایش تعداد گرههای منبع در شبکه، از یک طرف نرخ تحویل بستهها کاهش می یابد و از طرف دیگر میانگین انرژی مصرفی و تأخیر انتها به انتها افزایش می یابد. نتایج این آزمایش در جدول (۱) و شکل های (۱۲) و (۱۳) نیز گواه همین موضوع است.

جدول (۱) تأثیر پارامتر N_{Source} بر نرخ تحویل دو الگوریتم (برحسب %)

N_{Source}	Alg.	$N=200$	$N=300$	$N=400$	$N=500$
1	DBR	16.31	66.06	92.91	98.25
	ADBR	17.68	70.75	94.1	98.37
3	DBR	13	63.36	91.6	91.26
	ADBR	15.35	64.31	91.87	93.94
5	DBR	15.14	59.34	81.92	89.2
	ADBR	15.73	60.03	91.72	95.1



شکل (۱۲) تأثیر تعداد گرههای منبع بر میانگین تأخیر انتها به انتها دو الگوریتم



شکل (۱۳) تأثیر تعداد گرههای منبع بر میانگین انرژی مصرفی دو الگوریتم

۵- نتیجه گیری

در این مقاله با اضافه کردن یک روال احتمالاتی ساده، به الگوریتم DBR سعی شد کارایی این الگوریتم بهبود یابد. الگوریتم بهبود یافته، که ADR نام دارد، دارای یک رویه شتاب است که سعی می کند بستهها بدون هیچ گونه توقف (نگهداری موقت در بافر) از طریق چند مسیر مختلف به سوی مقصد هدایت شوند. هر دو الگوریتم پیشنهادی و DBR توسط شبیه ساز JSIM پیاده سازی گردید و با انجام یک سری آزمایشها، کارایی این دو از نظر معیارهای نرخ تحویل بستهها، میانگین تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی، ارزیابی و مقایسه گردید. نتایج مقایسه ها نشان داد الگوریتم پیشنهادی کارآمدتر از الگوریتم پایه DBR است.