



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 انتی عشیری^۳, محمد رضا میدی^۴

^۱آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران jamshidi.mojtaba@gmail.com

^۲گروه کامپیوتر، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران akramheyrani@gmail.com

^۳پژوهشکده فناوری اطلاعات، پژوهشگاه فضای مجازی، تهران، ایران esnaashari@itrc.ac.ir

^۴دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده

فرامه 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 (توبولوژی) 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 کارا نمی‌باشد. 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 تسريع در ارسال بسته‌ها و نیز افزایش چند-مسیری 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 $P_f < 1$ بسته دریافتی را بالافاصله به سمت مقصد هدایت می‌کند و با احتمال $P_f - 1$ از روال معمول DBR پیروی می‌کند. الگوریتم پیشنهادی توسط شبیه‌ساز JSIM پیاده‌سازی گردیده و با انجام یک‌سری 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

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 کارا مدد برای این گونه شبکه‌ها بسیار چالش‌زاست. مهم‌ترین دلایل این امر عبارتند از [4-7]:

- ۱- ارتباطات رادیویی در زیر آب، به دلیل تعصیف سریع، به خوبی 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،

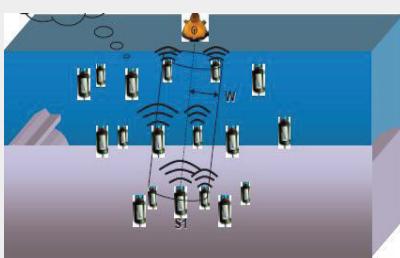
استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی که نیازمند پهنای باند بالا هستند و یا تأخیر انتها به انتها^۲ در آنها زیاد است نمی‌تواند یک انتخاب خوب باشد.

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 به طور 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.

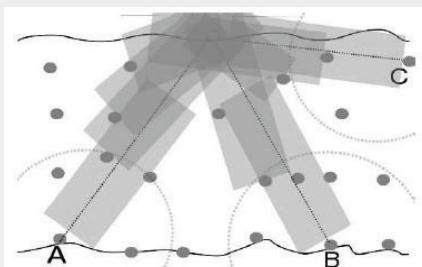
۳- دلیل آخر که البته خاص هم شبکه‌های حسگر زمینی و هم زیرآبی است، محدود بودن انرژی باطری گره‌های حسگر است که بکارگیری الگوریتم‌های مسیریابی با سربار ارتباطات بالا را تناسب می‌نماید.

تاکنون الگوریتم‌های زیادی نظری [8-16] برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر زیرآبی ارائه شده است. در [8] یکی از مطرح‌ترین الگوریتم‌های DBR، برای شبکه‌های حسگر زیرآبی پیشنهاد شده است. 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

الگوریتم خوشبندی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی گره‌های حسگر در معماری سلسه مراتبی سه‌بعدی، به نام LCAD، برای شبکه‌های حسگر زیرآبی مطرح شده است. در این الگوریتم، کل شبکه به گردیدهای سه‌بعدی 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 خوش به سرکلاستر فرستاده می‌شود. (۳) فاز انتقال، که داده‌های جمع‌آوری شده توسط سرخوشهای پایه ارسال می‌گردد. الگوریتم DUCS [16] یک الگوریتم خودسازماندهی تطبیقی برای خوشبندی 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



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 مسیردهی بسته‌ها بهره می‌گیرد. همچنین، این الگوریتم در شبکه‌های حسگر زیرآبی با عماری چند-چاهک [17] بسیار موثرer عمل می‌کند. شکل (۳) یک نمونه از چنین شبکه‌هایی را نشان می‌دهد. در این معماری، چندین گره چاهک که مجهز به مودهای 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 عمیق 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 عدد گره ارسال کننده بسته و داده‌ها در فیلد Data قرار می‌گیرد.

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

خواهیم پرداخت. در کل، الگوریتم DBR از نقطه نظر نرخ تحویل بسته‌ها، تأخیر انتها و انرژی مصرفی، چندان کارامد 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 تسريع در ارسال بسته‌ها و نیز افزایش تعداد مسیرهای ارسال بسته‌ها به سمت مقصد استفاده می‌شود. از این‌رو، کارایی الگوریتم DBR تا حد زیادی بهبود می‌یابد. الگوریتم پیشنهادی ADBR [18] 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^۱، 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) و W به عنوان شعاع آن است (شکل ۱). پارامتر W یک آستانه‌ی از پیش‌تعریف شده است. اگر یک گره داخل این لوله قرار گیرد، بسته را از منبع به سمت مقصد ارسال می‌کند. به طور 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 این صورت، گره u بسته 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^۲ 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 مستانه 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 پیشگوئی 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.

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

- انتهای این بسته زیاد می باشد. همچنین، به دلیل کنترل شدید چند-مسیری، نرخ تحویل بسته‌ها پایین است.

۳- الگوریتم پیشنهادی (ADBR)

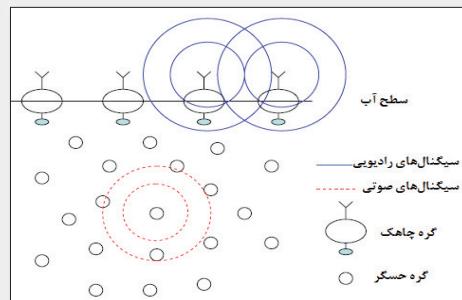
در الگوریتم پیشنهادی ADBR، از یک مکانیزم احتمالاتی ساده جهت سرعت بخشنیدن به عمل ارسال بسته‌ها و نیز افزایش چند-مسیری در الگوریتم DBR استفاده می‌شود. در ADBR، هر گره i پس از دریافت یک بسته p از گرجه j ، هم‌چون الگوریتم DBR، اگر i در عمق بیشتری نسبت به j قرار گرفته باشد، یعنی $d_p > d_j$ ، یا بسته p را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

$$P_f = \frac{\left[\begin{matrix} d \\ \lambda \end{matrix} \right]}{R} , \quad \lambda = [1, R] , \quad d = d_p - d_c \quad (\mathfrak{F})$$

که در این جا، d اختلاف عمق، R حداقل دامنه انتقال و λ مقدار ثابت مفروض در شبکه است. درواقع، الگوریتم پیشنهادی، ناحیه بالاتر (کم عمق تر) از یک گره ارسال کننده را به λ / R زیرناحیه مساوی، که ارتفاع هر زیرناحیه λ است، تقسیم می کند. 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 این رو، تمام گرههای واقع در یک ناحیه خاص، شناس برابری جهت ارسال بدون درنگ بسته دریافتی خواهند داشت. لذا بسته ها از مسیرهای مختلف به سمت چاهک ها هدایت می شوند تا نرخ تحویل بسته ها افزایش یابد. در ادامه با توجه به شکا (۸) به تشریح بیشتر مدل شتاب و میدان برمی شویم.

مطابق شکل (۵)، فرض کنید گره S یک بسته را منتشر کند. گره‌های a و b و c و d دیگر گره‌های همسایه، بسته را دریافت می‌کنند. حال تمام گره‌های همسایه کم عمق‌تر نسبت به S ، که این بسته را در بافر Q2 خود یافته نمی‌کنند، به عنوان مثال، گره‌های a و b و c و d رویه شتاب را اجرا می‌کنند. با فرض اینکه پارامتر $R/4 = \lambda$ تنظیم شده باشد، چهار زیر ناحیه عمومی، 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 $P_f = 1$ بلاfacسله 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 قبلي باشد (در شکل ۵ گره u در زیرناحیه آخر از دامنه انتقال گره S است)، بهتر است بلاfacسله بسته دریافتی را به سمت چاهک هدایت کند و نباید عمل ارسال خود را به تعویق بیناذاذ (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 بلاfacسله اقدام به ارسال، بسته کنند. از این، رویه انتها از طریق، جند مسیر مختلف به سمت

کانیدا شدن برای ارسال بسته می‌داند. در غیر این صورت، گره u بسته دریافتی را دور (Drop) می‌ریزد. در DBR، هر گره یک صفحه اولویت Q1 و یک بافر Q2 در حافظه خود دارد. هر آیتم در بافر Q2 یک شناسه یکتا دارد که از ترکیب Packet Sequence Number و SenderID بسته تشکیل می‌شود. زمانی که یک گره به طور موفق یک بسته را ارسال می‌کند، شناسه یکتا این بسته را در Q2 درج می‌کند. هر آیتم در صف Q1 دو مولفه دارد: یک بسته و زمان ارسال زمانبندی شده^b 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، بلا فاصله اقدام به ارسال بسته نمی‌کند، بلکه مدت زمانی، تحت عنوان زمان نگهداری بسته را نگه می‌دارد. زمان ارسال زمانبندی شده یک بسته پر اساس زمان دریافت بسته و زمان نگهداری محاسبه می‌شود.



شکل (۳) معماری شبکه حسگر زیرآبی چند-چاهکه

Sender ID	Packet Sequence Number	Depth	Data
سازند پست ۴			

شكل (٤) 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 (عنی $d_p < d_p$)، آن را در Q1 درج می کند. اگر بسته هم اکنون 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 می گردد. 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 می گردد. هر گره، پس از ارسال یک بسته، آن را از صفحه Q1 خود حذف و به بافر Q2 خود اضافه می کند. نحوه محاسبه زمان نگهداری در رابطه (۱) آمده است:

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

که در اینجا، R حداقل دامنه انتقال یک گره، d اختلاف عمق گره جاری و گره گام قبلی، Δh 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، درنظر 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، بلا فاصله اقدام به ارسال آن نمی‌کند، بلکه مدت زمانی (زمان نگهداری) صبر کرده و سپس، اقدام به ارسال بسته می‌کند. لذا تأخیر

انتقال گره‌ها ۵۰ متر است. پهنهای باند لینک‌ها ۱ مگابیت در نظر گرفته شده است. میزان انرژی مصرفی برای ارسال، دریافت و حالت بیکاری به ترتیب ۰.۰۱۶ و ۰.۰۰۸ و ۰.۰۰۰۲ جول است. انرژی اولیه گره‌های حسگر را ۵ جول (در درنظر گرفته‌ایم در حالی که فرض شده است گره‌های 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 گره‌های منبع.

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

میانگین انرژی مصرفی: میانگین انرژی مصرف شده توسط هر یک از گره‌های حسگر (جز گره‌های چاهک و منبع) در طول حیات شبکه.

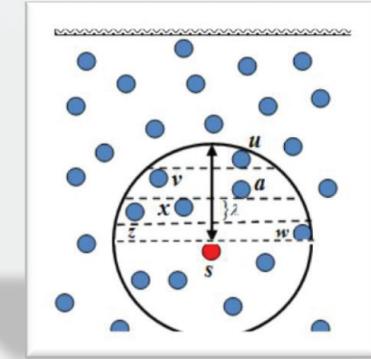
آزمایش ۱: هدف این آزمایش، بررسی تأثیر پارامتر δ بر کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج با الگوریتم پایه DBR است. در این آزمایش پارامترهای $N_{\text{Sink}}=10$, $d_{th}=\lambda=R/10$, $d_{th}=5$ و به تعداد $N=500$ گره چاهک و $N_{\text{Source}}=1$ گره منبع در شبکه وجود دارد. همچنین تعداد گره‌ها در شبکه را از $N=200$ تا $N=500$ تغییر می‌دهیم. شکل‌های (۶) و (۸) به ترتیب نتایج حاصل را در قالب نرخ تحویل بسته‌ها، میانگین تأخیر انتها به انتهاء و میانگین انرژی مصرفی نشان می‌دهند.

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 $R = \delta = R/2$ 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 ستاپ در الگوریتم پیشنهادی احتمال هدایت بسته‌ها از طریق چند مسیر مجزا به سمت چاهک‌ها را افزایش می‌دهد. از این‌رو، 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 انتهاء الگوریتم پیشنهادی کمتر از الگوریتم DBR است. چراکه در الگوریتم پیشنهادی، به احتمال P_f گره‌های میانی بلاfacسله اقدام به ارسال بسته‌های دریافتی به سوی چاهک‌ها می‌کنند. درحالی که، در الگوریتم DBR، گره‌های 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 انتهاء 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 گره u در رویه ستاپ اقدام به ارسال بسته دریافتی خود می‌کند، دیگر گره‌های همسایه یا گره‌هایی که در زیرناحیه‌های پایین‌تر از گره u قرار دارند، این بسته را از صفحه Q1 خود حذف کرده و دیگر آن را ارسال نمی‌کنند (البته اگر در رویه ستاپ اقدام به ارسال نکرده باشند). ولی در الگوریتم پایه DBR ممکن است بیش از یک گره، زمان نگهداری تقریباً برابر برای

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



شکل (۵) یک مدل از اجرای رویه شتاب

ولی اگر گره‌ای در رویه ستاپ موفق به ارسال بسته نشود، به عبارت دیگر شناس ارسال بسته را پیدا نکند، همان الگوریتم DBR را ادامه می‌دهد. یعنی، بسته دریافتی را در صفحه 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 گره‌های u و w وجود نداشته باشند. در این صورت، چنانچه الگوریتم DBR اجرا شود، گره‌های z و w مدت زمانی زیادی منتظر خواهند ماند (زمان نگهداری) به این امید که گره‌های واقع در عمق کمتر، بسته دریافتی از گره u را به سطح آب هدایت کنند درحالی که چنین گره‌هایی وجود ندارند. این سبب افزایش تأخیر انتها به انتهاء می‌شود. ولی چنانچه الگوریتم پیشنهادی اجرا گردد، گره x به احتمال $P_f = 0.50$ و گره‌های z و w به احتمال $P_f = 0.25$ اقدام به ارسال بسته دریافتی می‌کنند. لذا تأخیر انتها به انتهاء کاهش می‌یابد.

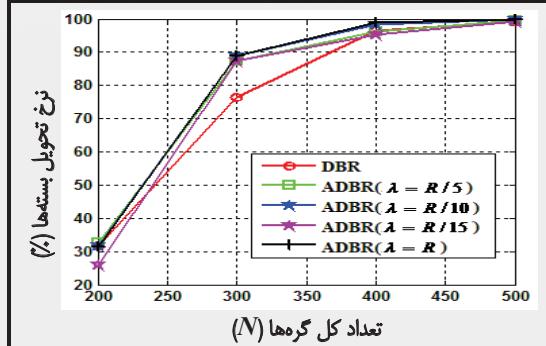
به این ترتیب، الگوریتم پیشنهادی با افزایش درجه چند مسیری و صفر کردن زمان نگهداری در برخی حالات، نرخ تحویل بسته‌ها را افزایش و تأخیر انتها به انتهاء را کاهش می‌دهد. همچنین، با کاهش تعداد تصادم‌ها، تاحدی انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد.

۴- ارزیابی کارایی

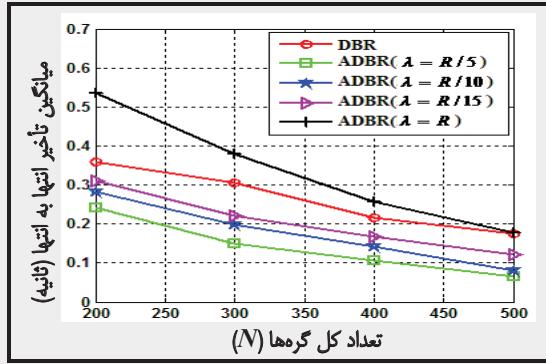
در اینجا، به کمک شبیه‌سازی، کارایی الگوریتم ADBR مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل، با نتایج حاصل از الگوریتم DBR مقایسه خواهد شد.

تمام شبیه‌سازی‌ها توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز JSIM [18] انجام شده است. گره‌های حسگر به طور 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 گره‌های چاهک به طور ثابت در سطح آب مستقر می‌شوند (متحرک نمی‌باشند). همچنین شبکه حاوی N_{Source} گره منبع است. اگرچه گره‌های منبع می‌توانند هر جایی باشند، ولی بخارط سادگی شبیه‌سازی، آنها را به طور تصادفی در بایین ترین لایه محیط (کف آب) قرار می‌دهیم. دیگر گره‌های حسگر نیز به طور تصادفی در محيط پراکنده می‌شوند. در اینجا از مدل تحرک در نظر گرفته شده در [19] جهت حرکت گره‌ها در محیط شبکه استفاده شده است. فرض می‌شود گره‌های منبع در هر ۵ ثانیه یک بسته (به اندازه ۵۰ بایت) تولید می‌کنند. حداقل دامنه

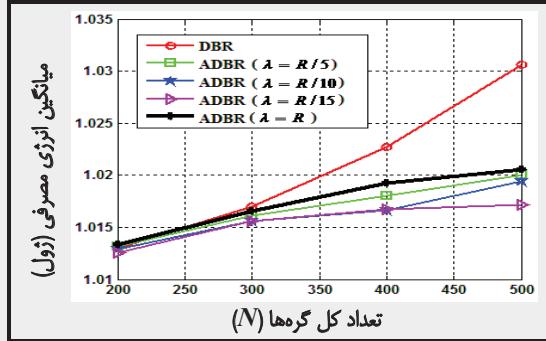
می‌یابد. در حالتی که $R = \lambda$ باشد، چون که همه گره‌های همسایه دریافت کننده بسته در رویه شتاب اقدام به ارسال بسته می‌کنند، لذا احتمال تصادم و مشغول بودن کانال انتقال افزایش می‌یابد که این سبب افزایش تأخیر تحويل بسته‌ها می‌شود.



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



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

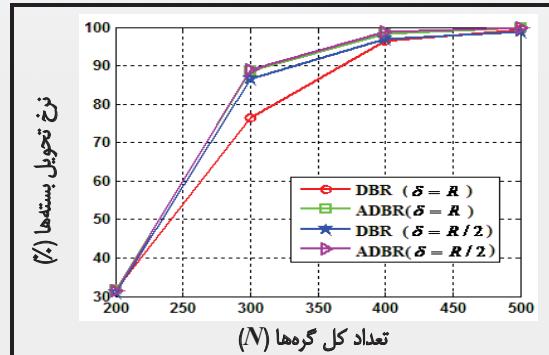


شکل (۱۱) تأثیر پارامتر λ بر میانگین انرژی مصرفی در الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج با الگوریتم DBR

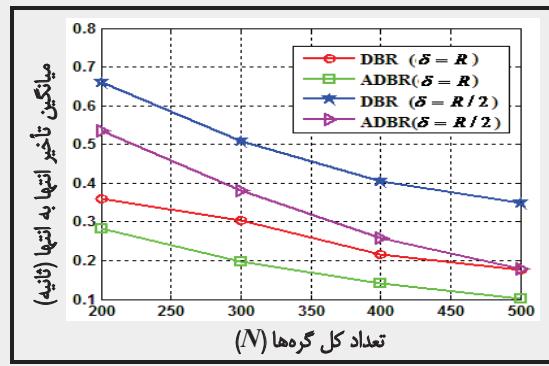
آزمایش ۳: در این آزمایش تأثیر تعداد گره‌های منبع، N_{Source} ، بر کارایی الگوریتم پیشنهادی و DBR مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این آزمایش، پارامترهای $\lambda = R/10$ ، $d_{th} = 0$ ، $\delta = R$ و $N = 200 \sim 500$ تنظیم شده و تعداد گره‌های چاهک $N_{\text{Sink}}=10$ در نظر گرفته شده است. جدول (۱)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

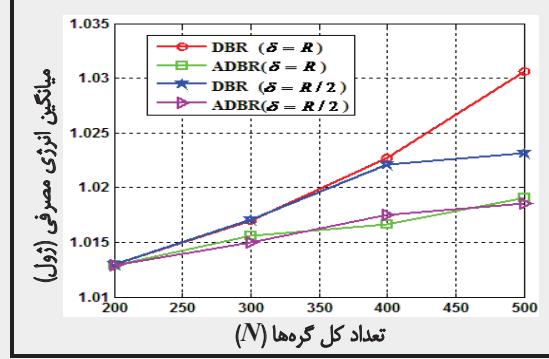
بسته دریافتی داشته باشد. لذا پس از طی شدن زمان نگهداری، این چند گره هم‌زمان اقدام به ارسال بسته دریافتی می‌کنند. این عمل منجر به افزایش میزان تصادم‌ها و درنتیجه افزایش انرژی مصرفی می‌شود.



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



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



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

آزمایش ۲: 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 $R = 0$ ، $d_{th} = 0$ ، $\delta = N = 200 \sim 500$ و $N_{\text{Sink}}=10$ گره چاهک و $N_{\text{Source}}=1$ منبع در شبکه وجود دارد.

شکل های (۹)، (۱۰) و (۱۱) نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل (۹) مشخص است، نرخ تحويل بسته‌ها به ازای مقادیر مختلف λ تقریباً برابر بوده و از این حیث بالاتر از الگوریتم DBR است. هم‌چنین، نتایج این آزمایش در شکل های (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهد با افزایش مقدار پارامتر λ ، میانگین تأخیر انتهای به انتهای کاهش (بجز حالت $R = \lambda$) 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 شناس ارسال بسته در رویه شتاب را پیدا می‌کنند. لذا تأخیر تحويل بسته‌ها کاهش و در مقابل انرژی مصرفی افزایش

مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam 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., Stejanovic 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] Daeyoup 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.

زیرنویس‌ها

¹Underwater Wireless Sensor Networks

²End-to-end delay

³Depth Based Routing

⁴Accelerated Depth-Base Routing

⁵Vector-Based Forwarding

⁶Hop-by-Hop Vector-Based Forwarding

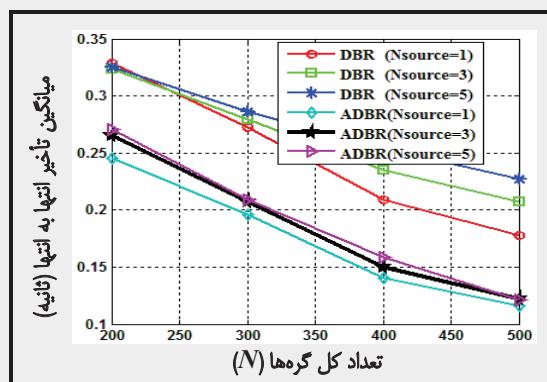
⁷Multiple-sink

⁸Scheduled sending time

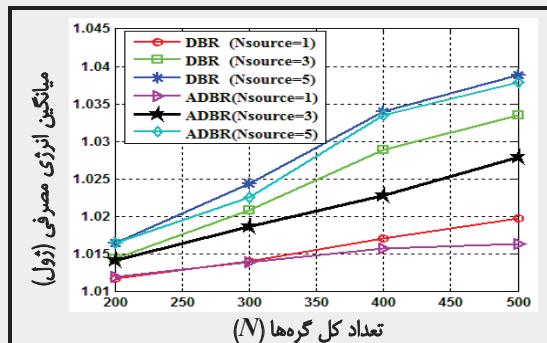
منجر به افزایش تصادم‌ها، مشغول شدن کاتال‌های انتقال و انرژی مصرفی خواهد شد. بنابر این، با افزایش تعداد گره‌های منبع در شبکه، از یک طرف نرخ تحویل بسته‌ها کاهش می‌یابد و از طرف دیگر میانگین انرژی مصرفی و تأخیر انتها به انتها افزایش می‌یابد. نتایج این آزمایش در جدول (۱) و شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نیز گواه همین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

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

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- نتیجه‌گیری

در این مقاله با اضافه کردن یک روال احتمالاتی ساده، به الگوریتم DBR سعی شد کارایی این الگوریتم بهبود یابد. الگوریتم بهبود یافته، که ADBR نام دارد، دارای یک رویه شتاب است که سعی می‌کند بسته‌ها بدون هیچ‌گونه توقف (نگهداری موقت در بافر) از طریق چند مسیر مختلف به سوی مقصد هدایت شوند. هر دو الگوریتم پیشنهادی و DBR توسط شبیه‌ساز JSIM پیاده‌سازی گردید و با انجام یک سری آزمایش‌ها، کارایی این دو از نظر میارهای نرخ تحویل بسته‌ها، میانگین تأخیر انتها به انتها و انرژی مصرفی، ارزیابی و مقایسه گردید. نتایج مقایسه‌ها نشان داد الگوریتم پیشنهادی کارامدتر از الگوریتم پایه DBR است.