

مسیریاب ستاره دریایی برای شبکه های حسگر با سینک سیار

چکیده

اثبات شده است که شبکه های حسگر بی سیم (WSNها) با سینک های سیار، عمر شبکه را گسترش می دهند و سرویس های تحویل خدمات بهتری را ارائه می دهند. این امر با به حداقل رساندن هزینه های مسیریابی و اجتناب از توسعه هر گونه نقاط داغ در شبکه به دست آمد. با این حال، استراتژی های مسیریابی موجود بیان شده در نوشته ها دارای محدودیت هایی در ارائه تاخیر تحویل پایانه به پایانه داده ها و بازده مورد نیاز برنامه های حسگری و نظارت زمان واقعی هستند. در این مقاله، با پیروی از اصل سیستم عروق آبی یک ستاره دریایی، ما یک ستون فقرات مسیریابی متشکل از یک کانال-حلقه مرکزی و تعدادی از کانال های-شعاعی در سراسر شبکه طراحی کرده ایم. شعاع کانال-حلقه و تعداد کانال های-شعاعی به طور پویا بر اساس طیف انتقال گره های حسگر و اندازه شبکه تعیین می شوند. ستون فقرات مسیریابی مارپیچ پیشنهاد شده تضمین می کند که هر گره حسگر منبع، دسترسی تک-هاپ به یک گره ستون فقرات پیدا می کند که به نوبه خود باعث تسهیل کاهش تاخیر تحویل داده ها و افزایش انصاف توزیع بار مصرف انرژی در گره های شبکه می شود. نتایج آزمایشات شبیه سازی که در NS-2 انجام شده است، اثربخشی ستون فقرات پیشنهادی مسیر ستاره دریایی را از لحاظ تاخیر تحویل داده ها پایانه به پایانه، بازده و مصرف انرژی در مقایسه با کارهای پیشرفته تر اثبات میکند.

کلمات کلیدی: شبکه حسگر بی سیم (WSN)، سینک سیار، ستون فقرات مسیر ستاره دریایی، تاخیر پایانه به پایانه، مدل زنجیره مارکوف، طول عمر شبکه.

1. مقدمه

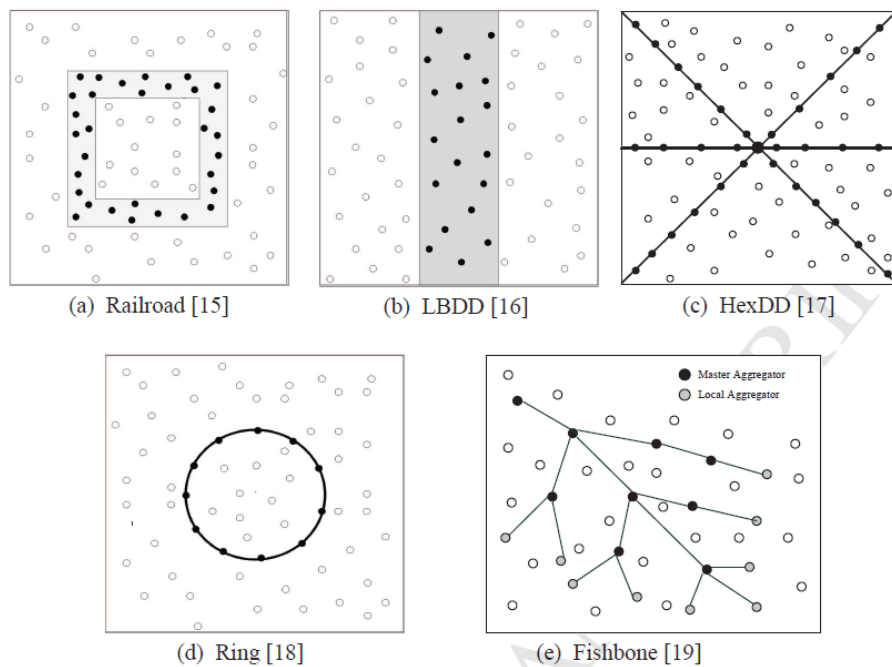
در سال های اخیر، افزایش ویژگی های فوق العاده محاسبات و ارتباطات در مؤلفه های حسگر به شبکه های حسگر بی سیم (WSNها) کم کرده است تا به طور پیوسته از برنامه های کاربردی در مقیاس کوچک [1] به زیرساخت های حجیم، پاسخ اورژانس پزشکی، نظارت نظامی، نظارت بر کشاورزی و کاربردهای ابررسانای داده [2، 3، 4، 5، 6] گسترش یابند. با این حال، تشکیل یک ستون فقرات مسیریابی برای یک شبکه معین که جمع آوری به موقع و مقرون به صرفه از نظر انرژی داده ها از مولفه های حسگر منبع به سینک را تسهیل می کند، یک چالش بزرگ است [7، 8]. در این مقاله، ما یک ستون فقرات مسیریابی داده ها را برای یک WSN توسعه می دهیم که تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه و مصرف انرژی یکنواخت را برای طول عمر گسترش یافته شبکه را ارائه می دهد.

به دلیل ایجاد مناطق نقطه داغ در نزدیکی سینک [9، 10، 11، 12، 13، 14]، استراتژی های مسیریابی در نوشته ها با توجه به سینک استیک از مشکل پارتیشن بندی شبکه رنج می برند. برخی از کارهای اخیر، اثربخشی استراتژی های مسیریابی مبتنی بر سینک سیار در افزایش کارایی داده ها و طول عمر شبکه [15، 16، 17، 18، 19، 20، 21] را نشان داد. این آثار نیز نشان داده است که تحرک سینک، اتصال شبکه داده ها را تحت شبکه های حسگر پراکنده و گسسته تضمین می کند. با این حال، تحرک سینک، مشکل موقعیت یابی سینک مقصد در زمان واقعی را ارائه می کند و ستون فقرات مسیریابی سینک-منبع (سورس) را فراهم می کند به طوری که تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه کاهش یابد و بازده تحویل داده ها افزایش یابد.

استراتژی های مسیریابی مبتنی بر سینک سیار در نوشته ها می توانند به دو گروه تقسیم شوند: بر اساس وعده گاه و مبتنی بر ستون فقرات. در رده اول، راه آهن [15]، خط [16] یا شش گوشه [17، 22] مانند مناطق وعده گاه ساخته می شوند، همان طور که در شکل 1(a)، (b)، (c) به ترتیب نشان داده شده است، که در آن، هر گره وعده گاه، داده ها را از گره های حسگر منبع جمع آوری می کند، آن ها را ذخیره می کند و به محض درخواست، به گره سینک می فرستد. با این حال، مناطق وعده گاه در این پروتکل ها، از ذخیره داده ها برای مدت زمان طولانی، پایداری داده ها در برابر خرابی گره، قابلیت اطمینان و مشکلات نقطه ی داغ به علت سیل و یا پخش در داخل

منطقه وعده گاه رنج می برند. در رده دوم کارها، یک ستون مسیریابی شکل گرفته است، که در آن، هر گره حسگر منبع، موقعیت سینک به روز شده را از ستون فقرات (به عنوان مثال حلقه [18]، استخوان ماهی [19] بدست می آورد، همان طور که در شکل 1 (d)، (e) نشان داده شده است، و داده ها را به حالت سینک در مد چند منظوره منتقل می کند. با این حال، این پروتکل ها به دلیل فقدان مقیاس پذیری و تاخیرات بیشتر در تحویل داده ها، مورد انتقاد قرار دارند.

در این مقاله، مسیریابی ستاره دریایی را معرفی می کنیم، یک استراتژی جدید برای ساختن ستون فقرات مسیریابی، که در آن کانال های حلقه ای و شعاعی (مشابه با سیستم عروق آبی یک ستاره دریایی [23]) ساخته می شوند به طوری که هر گره منبع می تواند به یکی از گره های ستون فقرات در یک هاپ دسترسی داشته باشد. کانال-حلقه کمک می کند تا مسائل نقطه داغ کاهش یابد و کانال های شعاعی موجب تسهیل تحویل داده های سریعتر به سوی سینک می شوند.



شکل 1: استراتژی های مسیریابی برای شبکه های حسگر با سینک سیار

یک نسخه اولیه از این اثر در [24] منتشر شده است که امروزه به طور گسترده ای با افزایش مدل ساخت کانال-حلقه به روزرسانی شده، تجزیه و تحلیل نظری عملکردها و مطالعات شبیه سازی جامع بهبود یافته است. سهم های کلیدی استراتژی پیشنهاد شده توسعه ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی به شرح زیر است:

- ما یک ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی-مانند ستون فقرات را در شبکه ایجاد می سازیم به طوری که هر گره منبع می تواند به طور مستقیم به یکی از گره های ستون فقرات دسترسی پیدا کند، و تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه به حداقل برساند.

- ساخت کانال های حلقه ای و شعاعی چارچوب ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی از لحاظ ریاضی مدلسازی می شود و در نتیجه مقیاس پذیر است.

- یک تجزیه و تحلیل آماری برای تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه در ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی با در نظر گرفتن فاصله هاپ تا سینک و تعداد تلاش های ارسال مجدد انجام شده است.

- عملکردهای ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی در نسخه 2 شبیه ساز شبکه (25) [25] (NS-2) انجام شده است و پیشرفت های قابل توجهی در عملکرد هر دو برنامه های گزارش های متناوب داده ها و رویداد-محور مشاهده شده است.

ادامه مقاله به شرح زیر تدوین شده است. بخش 2 شامل یک مطالعه در مورد آثار پیشرفته و یک بینش صریح از ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی در بخش 3 ارائه شده است. یک مدل تحلیلی با استفاده از زنجیره مارکوف برای بررسی تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه متوسط مسیریابی ستاره دریایی در بخش 4 توسعه داده شده است. بخش 5 در مورد نتایج ارزیابی عملکرد بحث می کند و در نهایت، مقاله را در بخش 6 نتیجه گیری را بیان می کنیم.

2. کارهای مرتبط

در نوشته ها، تعداد زیادی از راهبردهای مسیریابی برای شبکه های حسگر با سینک سیار را پیدا کرده ایم و می توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد: [15، 16، 17] مبتنی بر وعده گاه و مبتنی بر ستون فقرات [18، 19].

در میان رویکردهای مبتنی بر وعده گاه، در مسیریابی راه آهن [15]، منطقه ای مستطیلی در شبکه ساخته می شود، همان طور که در شکل 1(a) نشان داده شده است، تا فراداده ها از گره منبع ذخیره شوند. هنگامی که یک منبع، داده ها را حس می کند، به صورت محلی فراداده ها را ذخیره می کند و به راه آهن ارسال می کند. در حالی که سینک نیاز به داده دارد، یک پرس و جوی تک منظوره به راه آهن ارسال می کند. پس از دریافت این پرس و جو، راه آهن، داده ها را از منبع دریافت می کند و از طریق مسیر تک منظوره به سینک منتقل می شود. به علت گذراندن مسیر طولانی تر با استفاده از پرس و جوی تک منظوره و از دست دادن داده ها برای خرابی گره، این پروتکل از رکود و تاخیر بالاتر رنج می برد. برای کاهش مسئله تلفات داده ها از یک گره منبع در [15]، یک نوار عمودی از گره ها برای ذخیره داده ها در پروتکل توزیع داده های مبتنی بر خط (LBDD) [16] ایجاد شده است، همان طور که در شکل 1(b) نشان داده شده است. منطقه عمودی در [16]، شبکه را به دو بخش مساوی تقسیم می کند. هنگامی که یک منبع، داده ها را حس می کند، بلافاصله داده ها را به گره های داخل خط منطقه عمودی ارسال می کند. بعدها، در حالی که سینک، داده ها را پرس و جو می کند، گره های درون خطی، پرس و جو را در ناحیه وعده گاه پخش می کنند و گره داخل خط متناظر، داده های مورد نیاز در مسیر معکوس را ارسال می کند. با این حال، به علت داشتن منطقه مرکزی تک، این پروتکل از رکود و تاخیر بالاتر بیشتر برای گره های مرزی در یک شبکه بزرگ رنج می برد. علاوه بر این، پخش در منطقه مرکزی، طول عمر شبکه را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. یکی از تفاوت های کلیدی پروتکل های راه آهن [15] و [16] LBDD این است که پرس و جوهای ارسال شده توسط سینک در سفر راه آهن توسط ارسال تک منظوره به جای پخش کردن هستند. با این حال، تاخیر تحویل داده های موردانتظار در پروتکل راه آهن بیشتر از در LBDD است، [16] از آنجا که پرس و جوها، مسیرهای طولانی تر را در راه آهن راه می پیمایند [15].

با ایجاد شش ناحیه وعده گاه در طول سه قطر اصلی در شبکه عبوری از سلول مرکزی که در شکل 1(c) نشان داده شده است، این مشکلات در پروتکل [HexDD 17] به منظور ارتقای عملکردهای شبکه پرداخته شده اند. در هنگام ارسال داده ها به گره داخلی بین بخش های نزدیک خطوط اصلی مورب، این مناطق، داده ها را تکثیر و ذخیره می کنند. برای بازیابی داده ها، پرس و جوهای سینک روی منطقه وعده گاه قرار می گیرند. اگر داده های درخواست شده در هر گره وعده گاه وجود داشته باشد، داده ها را از طریق مسیر معکوس فرستادن پرس و جوی سینک به سینک ارسال می کند. با این وجود، این پروتکل از مشکل نقطه داغ (نقطه دسترسی) به ویژه در منطقه مرکزی رنج می برد، زیرا تمام داده ها و پرس و جوها از طریق گره مرکزی منتقل می شوند. علاوه بر این، 6 منطقه ثابت وعده گاه، صرفه نظر از اندازه شبکه، موجب عدم تعادل مصرف انرژی در چند گره وعده گاه در شبکه می شود. به تازگی برخی از انواع دیگر پروتکل های مبتنی بر وعده گاه [22، 26، 27، 28] پیشنهاد شده است؛ اما هیچکدام از آنها نمی توانند از مشکل نقطه داغ جلوگیری کنند.

در مورد رویکرد مبتنی بر ستون فقرات، یک ستون فقرات مسیریابی در شبکه برای بدست آوردن موقعیت سینک تازه و انتقال داده ها به سمت آن [18، 19، 29، 30، 31، 32، 33، 34] توسعه داده شده است. در مسیریابی حلقه [18]، یک حلقه بسته از گره ها ساخته شده است که یک مرکز شبکه از پیش تعیین شده سراسری را در خود جای می دهد، همان طور که در شکل 1(d) نشان داده شده است. به محض اینکه سینک سیار، موقعیت خود را تغییر می دهد، مکان به روزرسانی شده به حلقه را با ارسال بسته ها به سمت مرکز شبکه تبلیغ می کند و بنابراین گره های منبع می توانند موقعیت تازه سینک را از حلقه به دست بیاورند. بعدها، گره های منبع، داده ها را به طور مستقیم در حالت چندهاپ به سینک ارسال می کنند. اگر چه این ستون فقرات مسیریابی، موضع گیری سریعتر سینک را ارائه می دهد، مقیاس پذیری آن برای شبکه های بزرگ مورد سوال است. علاوه بر این، با توجه به اندازه شبکه یا محدوده ارتباطی حسگرها، شعاع حلقه مناسب را بررسی نکرده است. نتایج تجربی نشان می دهند که اگر شعاع حلقه خیلی کوچک باشد، زمان موضع یابی سینک برای گره های مرکز شبکه افزایش می یابد. همین مسئله برای گره های مرکزی هنگامی رخ می دهد که یک شعاع بزرگ حلقه انتخاب می شود. ستون فقرات نه تنها برای موضع یابی سریع تر

سینک موثر است، بلکه همچنین برای تحویل کارآمد-انرژی داده ها به سینک موثر است. در [19]، ستون فقرات مسیریابی Fishbone با استفاده از سطوح مختلف جمع کننده ها (به عنوان مثال جمع کننده های اصلی و محلی) ساخته شده است، همان طور که در شکل 1(e) نشان داده شده است. گره های منبع، داده ها را بر روی ستون فقرات در ارسال چندهپ منتقل می شوند. اگرچه ستون فقرات فوقانی، زیرساخت های ارتباطی بهتر را فراهم می کنند، تأخیر ارائه شده پایانه به پایانه داده ها به دلیل نبود انتخاب شعاع-حلقه مطلوب در [18] و تجمع چند سطحی در [19] بالاتر است.

با انگیزه از چالش های بالا در زمینه مسیریابی بسته های داده از گره های منبع به سینک سیار در WSN ها، در این مقاله، ما ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی را با هدف ارائه تاخیر تحویل داده ها و افزایش زمان عمر شبکه توسعه داده ایم. عملکردهای خوب توسط ساخت کانال-حلقه و کانال های شعاعی در شبکه، مشابه با سیستم عروق آب یک ستاره دریایی [23] به دست می آیند. کانال-حلقه بر اساس طیف انتقال حسگر ساخته می شود و کانال های شعاعی بسته به اندازه شبکه و طیف انتقال تشکیل می شوند. وجود کانال-حلقه مرکزی با تعدادی از کانالهای-شعاعی به طور مشترک به توزیع بارهای مسیریابی داده ها در بسیاری از گره های شبکه کمک می کند. چنین سیاستی، منافع چند بعدی ای دارد از جمله افزایش طول عمر شبکه، تحویل سریع تر داده ها به گره سینک، کاهش سربار عملیاتی و در نهایت افزایش توان تولید (بازده). آنچه که در بخش بعدی نشان می دهیم، جزئیات عملیاتی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی است.

3. ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی

توسعه یک ستون فقرات مسیریابی کارآمد برای شبکه حسگر بی سیم، نه تنها به منظور کاهش تاخیر تحویل داده های پایانه به پایانه بلکه همچنین برای گسترش طول عمر شبکه تا حد زیادی مهم است. فلسفه کلیدی طراحی ستون فقرات مسیریابی پیشنهادی، گسترش گره های ستون فقرات بر روی مناطق مختلف شبکه است به شیوه ای که یک گره منبع می تواند به طور مستقیم به حداقل یکی از گره های ستون فقرات دسترسی پیدا کند. در این

بخش، جزئیات ساخت و ساز و عملیاتی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی به دنبال مدل شبکه فرض شده ارائه می شوند.

3.1 مدل شبکه

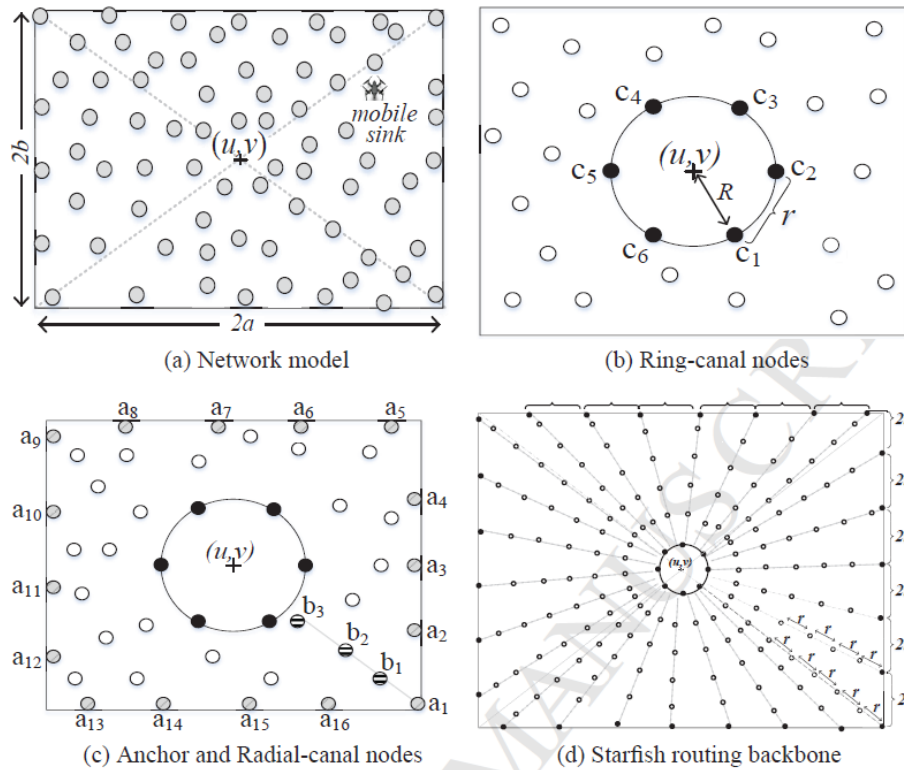
ما یک شبکه حسگر بی سیم را فرض می کنیم که در آن گره های حسگر همگن به صورت تصادفی در یک شبکه مستطیلی با اندازه $2a \times 2b$ توزیع شده اند، همان طور که در شکل 2(a) نشان داده شده است، جایی که a و b ($a \geq b$) به ترتیب نیمی از طول و عرض مستطیل، و (u,v) ، مرکز شبکه است. تمام گره های حسگر بعد از استقرار به صورت ساکن در نظر گرفته می شوند، در حالی که سینک، متحرک است، یعنی، سینک به طور مداوم در شبکه حرکت می کند و جمع آوری داده ها از گره های حسگر را انجام می دهد. هر گره حسگر i یک انرژی اولیه E_0 دارد و یک محدوده انتقال r را دارد. ما همچنین فرض می کنیم که هر گره حسگر، نقطه مختصات خاص خود (y_i, x_i) را با استفاده از GPS یا هر روش موضع یابی می شناسد [35, 36]. گره های حسگر منبع، بسته های داده های حس شده را به سینک سیار روی گره های ستون فقرات در حالت چندهاپ می فرستد. ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی یک کانال-حلقه مرکزی و تعداد کانال های-شعاعی طویل شده در سراسر شبکه می باشد. گره ها روی ستون فقرات به سه رده تقسیم می شوند: مجموعه ای از گره های لنگر در لبه شبکه،

مجموعه ای از گره های کانال-شعاعی، $Z_a = \{a_1, a_2, \dots, a_{16}\}$ ؛

مجموعه ای از گره ها روی کانال-حلقه، $Z_b = \{b_1, b_2, b_3, \dots\}$ ؛

نشاندنده مجموعه تمام گره ها $Z_c = \{c_1, c_2, \dots, c_6\}$ ؛ و $Z = \{Z_a \cup Z_b \cup Z_c\}$

روی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی است که در شکل 2(b),(c). نشان داده شده است.



شکل 2: مدل شبکه و ساخت ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی

در ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، کانال-حلقه بر اساس طیف انتقال r گره های حسگر ساخته می شود و چندین کانال های-شعاعی وابسته به اندازه شبکه و طیف انتقال r شکل می گیرند. در طول ساخت ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، گره های ستون فقرات بر اساس انرژی اولیه گره E_0 ، انرژی باقیمانده E_{res} و آستانه گره E_{th} برای انتقال موفقیت آمیز گره ها انتخاب می شوند. مسئولیت اصلی گره های ستون فقرات روی کانال-حلقه و کانال های-شعاعی این است که جمع آوری داده ها از دستگاه های حسگر منبع درون 1-هاپ را انجام می دهد و آنها را به جلو به سمت گره سینک سیار ارسال می کند. رویه ساخت مفصل کانال-حلقه و کانال های-شعاعی در زیربخش های زیر ارائه شده است. نمادهای مورد استفاده در این مقاله در جدول 1 خلاصه شده است.

جدول 1: فهرست نمادها

TABLE 1. LIST OF SYMBOLS

Symbols	Description
$2a \times 2b$	Area of the network
r	Transmission range of a sensor node
Z	Set of all backbone sensor nodes
Z_a	Set of anchor nodes on network edge
Z_b	Set of radial-canal nodes
Z_c	Set of ring-canal nodes
R	Radius of the ring-canal
ϕ	Control variable for ring-canal radius
θ_1, θ_2	Incident angles of radial-canals on principal-axes
E_0	Initial energy of a sensor node
E_{res}	Residual energy of a sensor node
E_{th}	Energy threshold for backbone nodes

3.2 ساخت کانال-حلقه ای

یک کانال-حلقه مرکزی، یک حلقه بسته از گره‌هایی است که به طور دایروی حول مرکز شبکه حسگر بی سیم قرار گرفته‌اند، همان‌طور که در شکل 2(b) نشان داده شده است. هدف اولیه کانال-حلقه، سبک کردن مسئله نقطه داغ، به خصوص در مرکز شبکه، ناشی از همگرایی گره‌های ستون فقرات در مرکز است. اگر اندازه کانال-حلقه با توجه به اندازه شبکه به شدت بزرگ باشد، گره‌های منبع داخل کانال-حلقه نمی‌توانند به طور مستقیم به گره‌های ستون فقرات خود دسترسی داشته باشند. در ضمن، اگر اندازه کانال-حلقه با توجه به طیف انتقال بسیار کوچک باشد، باعث افزایش تداخل و برخورد بیشتر در هنگام انتقال‌ها از بسیاری از گره‌ها نزدیک به مرکز شبکه می‌شود. این امر به دلیل وجود و همگرایی کانال‌های شعاعی بیشتر بر روی کانال-حلقه ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی رخ می‌دهد. شعاع یک کانال-حلقه را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$R = \phi \times r, \quad (1)$$

که در آن، $0 < \phi \leq 1$ یک متغیر کنترل است که مقدار گسترش شعاع کانال-حلقه از طیف انتقال یک حسگر را تعیین می‌کند. ما رفتار این متغیر کنترل را در بخش 5 مطالعه کرده‌ایم. مرکز کانال-حلقه در مرکز شبکه (u, v)

تثبیت می شود و بنابراین مجموعه ای از گره ها $Z_c = \{c_1, c_2, \dots, c_6\}$ واقع در هر موقعیت (x, y) (و یا در نزدیکی بسیار)، مرکز شبکه را در بر می گیرند، همان طور که در شکل 2(b) نشان داده شده است، تا ویژگی دایروی آن به شرح زیر حفظ شود.

$$(x-u)^2 + (y-v)^2 = R^2. \quad (2)$$

در حال حاضر، به منظور ساخت کانال-حلقه ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی پیشنهاد شده، در ابتدا، کنترل کننده مرکزی، مرکز شبکه (u, v) ، شعاع R کانال-حلقه را با استفاده از معادله 1 تعیین می کند و یک دایره مرجع را با استفاده از معادله 2 ترسیم می کند. سپس کنترل کننده، یک گره حسگر را به صورت تصادفی در داخل یا حدوداً درون دایره-مرجع به عنوان گره آغازین (یعنی، c_1) کانال-حلقه بر می دارد، همان طور که در شکل 2(b) نشان داده شده است. بعداً، گره های بعدی انتخاب می شوند (به عنوان مثال، c_2 تا c_6)، هر یک پس از فاصله برابر با طیف انتقال r (یا تا حدودی کمتر از r) قرار گرفته در یا داخل دایره-مرجع دارای ویژگی بیان شده در معادله 2 و حداقل انرژی آستانه (E_{th}) انتخاب می شوند، یعنی $E_{res} \geq E_{th}$ ، جایی که E_{res} ، انرژی باقی مانده یک گره حسگر است. این فرایند انتخاب گره های ستون فقرات کانال-حلقه تا زمانی ادامه می یابد که گره آغازین کانال-حلقه به دست آید. این گره های ستون فقرات در کانال-حلقه در Z_c (یعنی، c_1 تا c_6)، یک حلقه کامل از گره های متصل را تشکیل می دهند، همان طور که در شکل 2(b) نشان داده شده است. شکل کانال-حلقه نباید یک دایره دقیق باشد، بلکه باید یک حلقه بسته متصل از گره ها باشد.

3.3. ساخت کانال های شعاعی

در ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، کانال های شعاعی به سمت لبه شبکه از کانال-حلقه طویل می شوند. هدف اولیه ساخت کانال های-شعاعی، گسترش گره های ستون فقرات در سراسر شبکه است، به طوری که گره های منبع از تمام نواحی شبکه می توانند حداقل به یکی از گره های ستون فقرات در کانال های شعاعی دسترسی داشته باشند. اگر گره های ستون فقرات دور از یک گره منبع خاص قرار داشته باشند، زمان بیشتری برای موضع یابی سینک سیار

طول می کشد و بسته ها باید هاپ های بیشتری را برای رسیدن به سینک رد کنند. در چنین موردی، احتمالات تلفات بسته ها، سربارهای برخورد و انتقال نیز به طور قابل توجهی افزایش می یابد.

برای ساخت کانال-شعاعی، ابتدا مجموعه گره های لنگر، $Z_a = \{a_1, a_2, \dots, a_{16}\}$ ، با شروع از نیمه سمت راست-پایین قطر اصلی با حفظ فاصله $2r$ (یا تا حدودی کمتر) در امتداد محیط شبکه انتخاب می شود، همان

طور که در شکل $2(c), (d)$ نشان داده شده است. هنگامی که طول یک لبه دقیقاً چندین برابر $2r$ نباشد، ما فاصله مجموع در طول محیط برابر با $2r$ برای انتخاب گره لنگر بعدی را اندازه گیری می کنیم. سپس، ما خطوط مرجع را از هر یک از گره های لنگر Z واقع در (x_j, y_j) ، به مرکز شبکه به شرح زیر ترسیم می کنیم:

$$y = \frac{y_j - v}{x_j - u} x, \quad 1 \leq j \leq |Z_a|. \quad (3)$$

در حال حاضر، برای هر یک از خطوط مرجع، با انتخاب گره ها (یعنی، b_1, b_2, \dots)، هر بعد از $2r$ (یا تا حدودی کمتر)، به صورت شکل $2(c), (d)$ ، یک ستون فقرات کانال-شعاعی ایجاد می کنیم. کنترل کننده مرکزی، گره های ستون فقرات را بر روی یک کانال-شعاعی را با حفظ ویژگی مندرج در معادله 3 و حداقل آستانه انرژی (Eth) ، یعنی $Eres \geq Eth$ انتخاب می کند. فرایند انتخاب گره های ستون فقرات Z_b (یعنی b_1, b_2, b_3, \dots) روی کانال های-شعاعی از یک گره لنگر شروع می شود و تا زمانی ادامه می یابد که یکی از گره های کانال-حلقه Z_c (یعنی c_1 تا c_6) به دست می آیند، همان طور که در شکل $2(c)$ نشان داده شده است. بنابراین کانال-حلقه، لنگر و گره های کانال-شعاعی، همراه با هم یک ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی متصل شده برای شبکه تشکیل می دهند، همان طور که در شکل $2(d)$ نشان داده شده است. تمام گره های حسگر منبع، با استفاده از این ستون فقرات، داده های حس شده خود را به سمت گره سینک ارسال می کنند. علاوه بر این، این توسعه، دسترس بودن 1-هاپ حداقل یک گره ستون فقرات از هر گره منبع در داخل شبکه را تسهیل می کند. در ادامه به بررسی ساختار یک ستون

فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته می پردازیم که می تواند طول عمر شبکه را ارتقا دهد و تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه را به حداقل برساند.

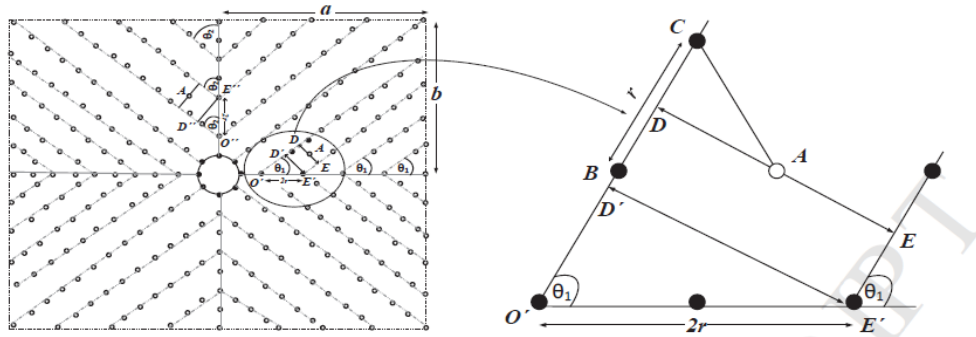
3.4. ستون فقرات بهبود یافته مسیریابی ستاره دریایی

فلسفه اصلی ساختار ستون فقرات بهبود یافته، اجتناب از همگرایی تمامی کانال های-شعاعی به کانال-حلقه مرکزی است. بنابراین، رویه ساخت کانال-حلقه برای ستون فقرات بهبودیافته به همان صورتی است که در زیربخش 3.2 توصیف شده است. کانال های شعاعی در این ساختار بهبودیافته، موازی با قطرهای-اصلی شبکه می باشند. برای ساخت کانال های شعاعی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته، در ابتدا، محورهای اصلی و قطرهای اصلی شبکه عبوری از طریق مرکز شبکه را رسم می کنیم. در حال حاضر، برای هر یک از محورها و قطرهای مرجع، با انتخاب گره ها، هر یک بعد از (یا تا حدی کمتر) فاصله از لبه شبکه به یکی از گره ها روی کانال-حلقه مرکزی، یک کانال شعاعی ایجاد می کنیم. اکنون، برای اولین گره لنگر روی محورهای اصلی درست در خارج از کانال-حلقه، کانال های شعاعی را به صورت موازی با هر دو قطر اصلی به سمت لبه شبکه می سازیم، همان طور که در شکل 3(a) نشان داده شده است. به طور مشابه، برای گره لنگر بعدی واقع روی محورهای اصلی در فاصله نزدیک 2r از گره لنگر قبلی، ما کانال های-شعاعی باقیمانده را می سازیم. این رویه برای تمام محورهای اصلی برای تشکیل ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته در شبکه تکرار می شود.

لم 1. "ستون فقرات مسیریاب ستاره دریایی تضمین می کند که هر گره منبع حسگر در شبکه، دسترسی تک-هاپ به حداقل یک گره در ستون فقرات را ارائه می دهد، با توجه به اینکه قطرهای اصلی شبکه، باعث ایجاد زاویه عمودی بیشتر از 120 درجه در مرکز شبکه نمی شود."

اثبات. به دنبال اصل ساخت ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی که در بخش های 3.2 و 3.3 توضیح داده شده است، تمام گره ها در شبکه، دسترسی تک-هاپ تضمین شده به حداقل یکی از گره های ستون فقرات را ارائه می

کنند، زیرا دورترین فاصله دور بین دو گره لنگر در لبه شبکه برابر با $2r$ نگه داشته می شود، و در نتیجه آن به طور مقدماتی درست است.



شکل 3: ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته و یک مورد ویژه

در مورد ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته، کانال های شعاعی از گره های ستون فقرات روی محورهای اصلی واقع در هر یک پس از بازه های $2r$ نشات می گیرند. فاصله بین دو کانال-شعاعی موازی متوالی به زوایای برخوردی آنها روی محورهای اصلی بستگی دارد. در اینجا ثابت می کنیم که اگر قطرهای-اصلی یک شبکه، زوایای عمودی بیش از 120 درجه در مرکز شبکه تولید نکند، بدون توجه به موقعیت آنها، تمام گره ها دارای دسترسی حداقل به یک گره ستون فقرات خواهند بود.

فرض کنید یک منبع الف، بر روی خط عمودی-دوبخشی ترسیم شده از نقطه میانی دو گره ستون فقرات متوالی B و C بر روی یک کانال-شعاعی واقع شده اند، همان طور که در شکل (ب) 3 نشان داده شده است. گره A، در دورترین موقعیت از هر گره ستون فقرات خواهد بود، زمانی که در وسط خط عمود-دوبخشی در بین دو کانال-شعاعی موازی قرار دارد. بنابراین، اثبات اینکه تضمین می شود که گره A، به حداقل یک گره ستون فقرات دسترسی دارد، شرط کافی برای لم بالا است. در چنین سناریویی، همان طور که در شکل (b) 3 نشان داده شده است، مثلث قائم الزاویه ΔADC ، شرط زیر را برآورده می سازد،

$$AC^2 = AD^2 + CD^2. \quad (4)$$

از آنجا که فاصله بین دو گره B و C متوالی ستون فقرات روی یک کانال شعاعی، r است، و گره منبع A، دسترسی تضمین شده به گره ستون فقرات کانال شعاعی C ارائه می دهد؛ با قرار دادن $CD = r/2$ و $AC = r$ در معادله 4،

$$AD = \frac{\sqrt{3}}{2} \times r, \quad \text{یعنی} \quad DE = \sqrt{3} \times r. \quad \text{را به دست خواهیم آورد.}$$

حالا، بیاید مقدار DE را محاسبه کنیم و تعیین کنیم که آیا شرط بالا برآورده می شود یا نه. توجه داشته باشید که کانال های شعاعی موازی، همان زاویه برخورد در مرکز شبکه و نقاط بعدی روی محورهای اصلی را تولید می کنند.

ما یک خط DE' موازی با DE فرض می کنیم، سپس، مثلث های قائم الزاویه $\triangle O'DE'$ و $\triangle O'D'E''$ حمایت می کنند از،

$$D'E' = DE = 2r \times \sin\theta_1 \quad \text{and} \quad D'E'' = 2r \times \sin\theta_2, \quad (5)$$

که در آن برای تمام مقادیر $\theta_1, \theta_2 \leq 60^\circ$ ، مقدار DE (یا $D'E''$) شرط مورد نیاز را برقرار می کند،

یعنی، $DE \leq \sqrt{3} \times r$. ماکزیمم زاویه عمودی مجاز تولیدشده توسط قطرهای اصلی در مرکز شبکه

$$60^\circ \times 2 = 120^\circ \quad \text{است.}$$

3.5 به روز رسانی محل سینک سیار

گره ها روی ساختار ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی پیشنهاد شده، یک موقعیت مکانی به روز شده از سینک سیار را حفظ می کند. از آنجایی که ستون فقرات با دسترسی از هر مکان با فاصله 1-هاپ در داخل شبکه ساخته می شود، سینک سیار می تواند موقعیت خود را به طور لحظه ای به ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی به روز رسانی کند. سینک به صورت دوره ای، محل خود را پخش می کند و به محض اینکه یکی از گره های ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، از تغییر موقعیت سینک آگاه می شود، آن را به اشتراک می گذارد تا مکان سینک به روز شده را با دیگر گره های ستون فقرات بر روی کانال های حلقه و شعاعی اطلاع دهد. از آنجایی که گره های ستون

فقرات به صورت دوره ای با موقعیت فعلی سینک به روزرسانی می شوند، سربار ایجاد مسیر مسیریابی کاهش می یابد و می تواند داده های حس شده را بلافاصله بر روی گره های ستون فقرات ارسال کند.

4. تجزیه و تحلیل برای تاخیر پایانه به پایانه در مسیریابی ستاره دریایی

در این بخش، ما یک تحلیل احتمالاتی برای اندازه گیری تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه از گره های منبع به سینک سیار از گره های کانال های حلقه و شعاعی را روی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی انجام می دهیم. در کارهای پیشرفته، مدل های نظری برای تحلیل میانگین تاخیر پایانه به پایانه توسعه یافته اند که در آن فقط فاصله هاپ بین منبع تا سینک سیار در نظر گرفته می شود. اما با توجه به مشخصه ذاتی شبکه حسگر بی سیم، تاخیر پایانه به پایانه یک بسته عمدتاً نه تنها روی فاصله هاپ بلکه روی تعداد انتقال (ها) مجدد اقدام شده در هر هاپ تغییر می کند. در این بخش، یک مدل نظری مبتنی بر زنجیره مارکوف برای تاخیر پایانه به پایانه بسته، با توجه به هر دو پارامتر فوق، توسعه یافته است.

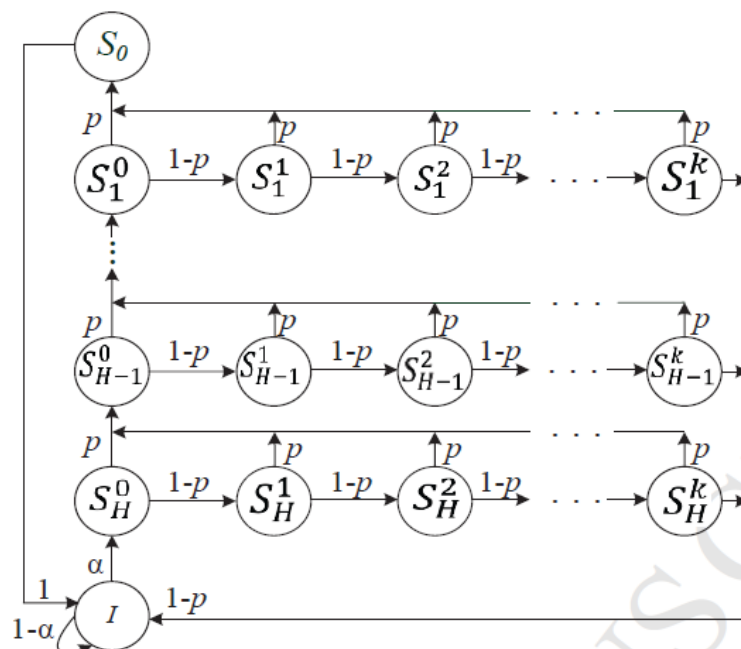
در مدل Markov، که در شکل 4 نشان داده شده است، حالت h به عنوان حالت بیکار (آماده به کار) تعریف می

شود، که در آن گره هیچ داده ای برای انتقال ندارد. در نظر بگیرید که S_h^z نشان دهنده حالت بسته واقع در هاپ

از سینک و انتقال z^{th} یا تلاش انتقال دوباره است که در آن $h \in \{1, 2, \dots, H\}$ و

. یعنی، یک بسته در یک هاپ معین، در صورتی حذف می شود که تمام تعداد $z \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$.

تلاش های انتقال مجدد شکست خورده باشند. هنگامی که بسته توسط سینک به طور موفقیت آمیز دریافت شده باشد، در حالت SO در مدل قرار می گیرد.



شکل 4: مدل زنجیره مارکوف برای تحویل داده های چنددهاپ با انتقال های مجدد

با توجه به اینکه نرخ تولید بسته، σ در هر گره منبع، از توزیع پواسون پیروی می کند، احتمال اینکه یک بسته در طول مدت زمان t برسد، به صورت زیر بیان می شود:

$$\alpha = (\sigma t) e^{-\sigma t} \quad (6)$$

احتمال موفقیت (p) یک تلاش انتقال به صورت دوجمله ای توزیع می شود و به صورت زیر محاسبه می شود،

$$p = m\alpha (1 - \alpha)^{m-1} (1 - e), \quad (7)$$

که در آن، m تعداد گره های مایل به انتقال در همسایگی هستند، و e احتمال اینست که یک بسته حاوی یک یا چند خط بیت است [37، 38].

ρ

هر حالت در مدل زنجیره مارکوف، همان طور که در شکل 4 نشان داده شده است، به احتمالات وقوع تعلق دارد و در مجموع، بردار (ها) توزیع حالت را تولید می کند، همان طور که در معادله 8-10 بیان شده است.

$$s = [\rho_I \overbrace{\rho_H^0 \rho_H^1 \rho_H^2 \dots \rho_H^k} \dots \overbrace{\rho_1^0 \rho_1^1 \rho_1^2 \dots \rho_1^k} \rho_0], \quad (8)$$

$$Ps = s, \quad (9)$$

$$\sum s = 1. \quad (10)$$

مقدار بردار توزیع را می توان توسط حل معادله 9-10 و برای $H = 3$ و $Z = 2$ یافت، بردار توزیع حالت

$$\gamma = [1 + (1 - p) + (1 - p)^2].$$

در تعادل به صورت معادله 11 نشان داده می شود که در آن

$$s = \frac{1}{1 + \alpha\gamma + \alpha p\gamma^2 + \alpha p^2\gamma^3 + \alpha(p\gamma)^3} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \\ \alpha(1-p) \\ \alpha(1-p)^2 \\ \alpha p\gamma \\ \alpha p\gamma(1-p) \\ \alpha p\gamma(1-p)^2 \\ \alpha(p\gamma)^2 \\ \alpha(p\gamma)^2(1-p) \\ \alpha(p\gamma)^2(1-p)^2 \\ \alpha(p\gamma)^3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

بنابراین، می توانیم تعداد مورد انتظار تلاش های انتقال و انتقال مجدد برای یک بسته در هر هاپ را به صورت زیر محاسبه کنیم.

$$\bar{z} = \sum_{z=0}^k z \rho_H^z. \quad (12)$$

با فرض این که τ نشاندهنده تاخیر در هر بسته ناشی از دسترسی محیطی، تاخیر انتقال، انتشار، پردازش و صف

بندی است، می توانیم مقدار مورد انتظار تاخیر برای یک بسته در هر هاپ را به صورت زیر محاسبه کنیم.

$$\underline{L} = \underline{L} \underline{S}$$

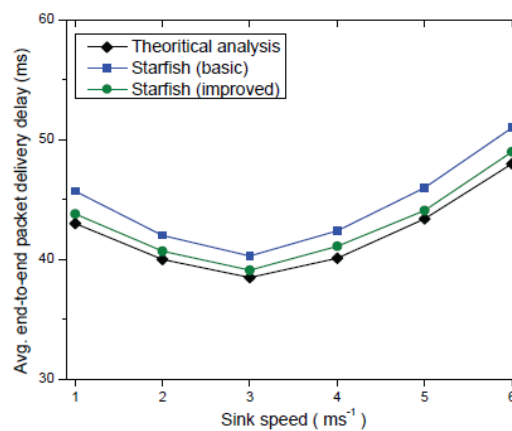
(13)

به طور مشابه، تاخیر پایانه به پایانه برای یک بسته در حال سیر H هاپ را به صورت زیر می یابیم،

$$T = H \times \bar{T}$$

(14)

شکل 5 نتایج مقایسه ای تحلیل نظری و آزمایش های شبیه سازی را ارائه می دهد. آزمایش های شبیه سازی در NS-2 برای سرعت های مختلف سینک سیار انجام می شود. با افزایش سرعت سینک سیار در شبکه، میانگین تأخیر پایانه به پایانه بسته برای هر دو نتایج نظری و شبیه سازی بر روی ستون های فقرات مسیریابی به دلیل کاهش میانگین فاصله هاپ تا $3ms^{-1}$ کاهش می یابد. هرچند، با این حال، تاخیر طولانی تر زمانی لازم است که سرعت سینک بالا باشد، که ناشی از زمان ردیابی گسترش یافته برای موضع یابی سینک سیار توسط گره های ستون فقرات است. نتایج شبیه سازی با آزمایش های نظری مطابقت دارد



شکل 5: مقایسه عملکرد تحلیل های نظری و نتایج شبیه سازی

5. ارزیابی عملکرد

در این بخش، رویکردهای ستاره دریایی پایه، ستاره دریایی بهبودیافته، توسعه ستون فقرات-مسیریابی Starfish، Ring و HexDD بهبود یافته در [25] NS-2، یک شبیه ساز شبکه رویداد گسسته را پیاده سازی نموده ایم و عملکرد آنها را مقایسه نمودیم.

5.1 محیط شبیه سازی

ما یک WSN با مساحت 300×400 متر مربع را در نظر گرفتیم، که در آن 500 گره به طور تصادفی با توزیع یکنواخت مستقر می شوند. طیف انتقال (r) هر حسگر در 90 متر تنظیم می شود. مدل ترافیک نرخ بیت ثابت تحت UDP برای انتقال داده ها با اندازه بسته 512 بایت با توجه به 512 Kb ps پهنای باند کانال و مدل تلفات انتشار سایه زنی استفاده می شود. برای سینک سیار در شبکه، ما از مدل تحرک نقطه راه استفاده کرده ایم و تمام گره های حسگر دیگر در حالت ساکن نگه داشته می شوند. پارامترهای شبیه سازی در جدول 2 خلاصه شده است.

جدول 2.

پارامترها	مقدار
مساحت شبکه	$400 \times 300 \text{ m}^2$
نوع استقرار گره	به طور یکنواخت تصادفی
تعداد گره ها	500
طیف انتقال	90m
کانال بیسیم	WirelessPhy/802.15.4
اندازه بسته داده ها	512 Bytes
پهنای باند	512 Kb ps
مدل انتشار	مدل تلفات سایه زنی
نوع کاربرد	رویداد-محور
مدل تحرک سینک	نقطه مسیر تصادفی
انرژی اولیه یک گره حسگر	6J

توان Tx	0.023W
توان Rx	0.018W
توان بیکار	0.037mW
توان خوابیدن	0.003mW
زمان شبیه سازی	1 ساعت

5.2 معیارهای عملکرد

کارایی پروتکل پیشنهاد شده با استفاده از معیارهای عملکرد استاندارد که به شرح زیر توصیف می شود، نشان داده شده است.

- متوسط بازده به عنوان تعداد بایت های داده که به طور موفقیت آمیز توسط سینک در هر واحد زمانی دریافت شده اند، اندازه گیری می شود. مقدار بالاتر نشان دهنده بهتر بودن در عملکرد است.
- متوسط تاخیر تحویل بسته انتها-به-انتها، میانگین تفاوت زمان بین زمان پذیرش بسته در سینک و زمان تولید بسته در منبع است. مقدار کمتر، نشان دهنده عملکرد بهبود یافته است.
- نسبت تحویل بسته، نسبت تعداد بسته های دریافت شده در سینک به بسته های تولید شده توسط گره های منبع است. مقدار بالاتر نشان دهنده عملکرد بهتر است.

- انحراف استاندارد (η) انرژی باقی مانده، پراکندگی متوسط در میان سطوح انرژی باقی مانده روی گره های ستون فقرات (Z) است و می تواند به شرح زیر محاسبه شود.

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{|Z|} \sum_{z=1}^{|Z|} (E_{res}(z) - \mu)^2}, \quad (15)$$

که در آن $E_{res}(z)$ ، انرژی باقیمانده گره z ، و میانگین انرژی باقیمانده تمام گره های ستون فقرات، توسط μ نشان داده می شود. این مشخص کننده توزیع مصرف انرژی در میان حسگرهای ستون فقرات است. کوچک بودن مقدار η ، انتظار می رود، زیرا قابلیت بهتر ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی را برای متعادل نمودن مصرف انرژی نشان می دهد.

• طول عمر شبکه از زمان استقرار شبکه تا زمانی که در آن، نشت از یک بخش از شبکه، غیرقابل دسترس می شود، محاسبه می شود.

• سربار عملیاتی به عنوان نسبت کل بایت های کنترل مبادله شده در طول کل دوره ی شبیه سازی به میزان کلی بایت های داده تحویل داده شده به سینک اندازه گیری می شود. یک مقدار کوچکتر، عملکرد بهتر را نشان می دهد.

5.3 نتایج شبیه سازی

آزمایشات شبیه سازی، 30 بار با مقادیر بذر تصادفی مختلف برای یک برنامه روشن-خاموش اجرا می شوند و میانگین برای هر نقطه داده در گراف گرفته می شود. حوادث در شبکه به طور تصادفی در مکان های مختلف اتفاق می افتد و منابع تصادفی، جریان ها را ایجاد می کنند که در طول دوره ی شبیه سازی بی تغییر باقی می ماند. توصیف رخداد چهار حوادث که در شبیه سازی مورد توجه قرار گرفته اند، در جدول 3 جدول بندی شده است.

جدول 3. توصیفات رویداد و شیوع

	Event A	Event B	Event C	Event D
Burst 1	30s - 40s	90s - 100s	130s - 140s	375s - 385s
Burst 2	125s - 135s	200s - 210s	380s - 390s	565s - 575s
Burst 3	425s - 435s	660s - 670s	740s - 750s	760s - 770s

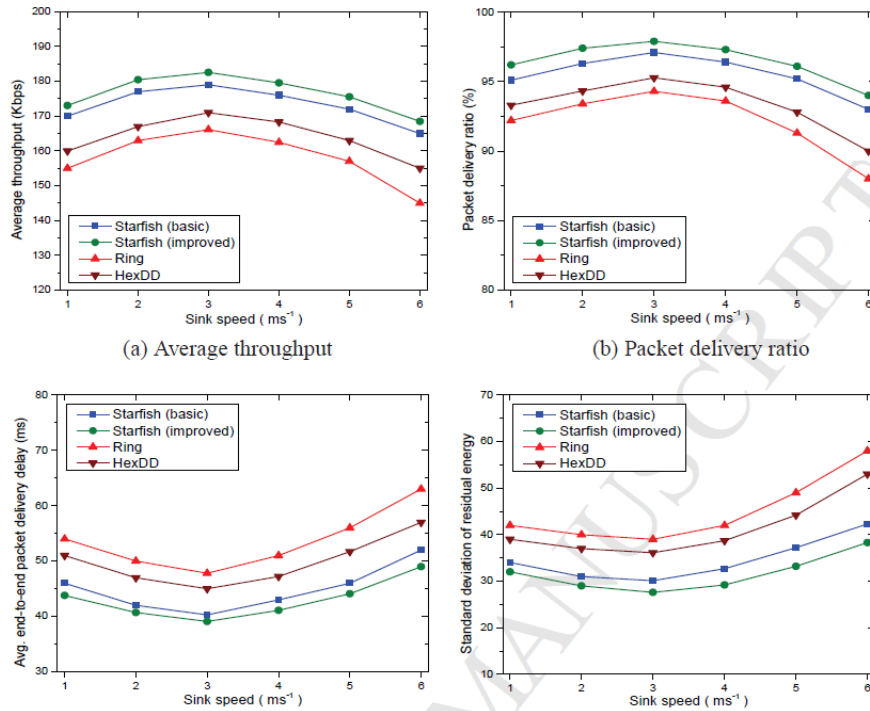
5.3.1 اثرات سرعت های مختلف سینک سیار

ما عملکرد های پروتکل های مورد مطالعه برای تغییر سرعت های مختلف سینک از $1ms^{-1} \sim 6ms^{-1}$.

را ارزیابی کرده ایم. در این آزمایش، اندازه شبکه در 300×400 متر مربع تثبیت می شود، طیف انتقال گره های

حسگر در 90m و متغیر کنترل کانال-حلقه در $\phi = 1.0$. تنظیم می شود.

نتایج نشان می دهند که میانگین بازده به طور ثابت با سرعت سینک تا $3ms^{-1}$ در تمام پروتکل های مورد مطالعه افزایش می یابد، همان طور که در شکل 6(a) نشان داده شده است. اما برای سرعت های بالای سینک، به دلیل تغییرات سریع تر مسیر مسیریابی ناشی از تحرک سینک، متوسط بازده کاهش می یابد. متوسط بازده برای ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهتر از متوسط بازده در استراتژی های Ring و HexDD که دلیل آن، ارتباط سریع تر داده ها است که توسط گسترش گره های ستون فقرات روی کانال های شعاعی پیشنهاد شده است. علاوه بر این، ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهبودیافته، بازده بالاتر از ستون فقرات پایه ارائه می دهد که ناشی از کاهش برخوردها و تداخلات در نزدیکی کانال-حلقه شبکه است. به طور مشابه، ستون فقرات مسیریابی پیشنهاد شده، نرخ تحویل بسته بیشتر (PDR) با افزایش سرعت سینک را نشان می دهد، همان طور که در شکل 6(b) نشان داده شده است، و بعد از آن، PDR با سرعت های سریع سینک به شدت کاهش می یابد. این عملکرد، مزایای استفاده از سینک سیار با سرعت متوسط در یک شبکه حسگر بی سیم را ثابت می کند.



شکل 6. تاثیرات سرعت های متغیر سینک سیار

برعکس، تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه برای تمام استراتژی های ستون فقرات مورد مطالعه کاهش می یابد در حالی که سرعت سینک حدود 3 متر بر ثانیه است، همان طور که در شکل 6(c) نشان داده شده است. این اتفاق به دلیل این واقعیت است که تحرک سینک، متوسط فاصله هاپ بسته های داده منتقل شده را کاهش دهد. با این حال، تاخیر پایانه به پایانه دوباره با افزایش سرعت سینک افزایش می یابد زیرا برای رسیدن به سینک شدن به سینک، بسته های داده شده باید هاپ های بیشتری را مسیریابی کنند. همچنین، تحرک بالای سینک، اطلاعات کهنه موقعیت سینک را ارائه می دهد، که زمان ردیابی دوباره برای موضع یابی را افزایش می دهد. متوجه می شویم که ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، کمترین زمان تحویل داده ها را نشان می دهد، زیرا هیچ گونه پرس و جو برای مکان تازه سینک را در مقایسه با مسیریابی حلقه در [18] نیازی ندارد. علاوه بر این، به جای سه قطر اصلی در [17 HexDD]، کانال های شعاعی بیشتری می توانند به طور مستقیم داده ها را به سینک انتقال دهند، که به ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی کمک می کند تا تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه را به حداقل برساند.

در نهایت، برای تغییر سرعت سینک، انحراف استاندارد انرژی باقیمانده گره های ستون فقرات برای ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی، در مقایسه با سایر پروتکل های مورد مطالعه، کمترین است، همان طور که در شکل 6(d) نشان داده شده است. این ناشی از توزیع بارهای مسیریابی به بسیاری از گره های ستون فقرات است. انحراف در تمام پروتکل های مورد مطالعه کاهش می یابد زیرا تحرک سینک باعث کاهش مصرف انرژی سراسری می شود و در نتیجه طول عمر شبکه برای سرعت متوسط سینک افزایش می یابد. اما انحرافات شروع به افزایش می کنند وقتی که سرعت تخلیه بیش از 3 متر بر ثانیه باشد - که این به دلیل مصرف بیش از حد انرژی برای انتشار پیام های اضافی برای ردیابی دوباره سینک سیار و انتقال بسته های داده ها روی مسیرهای هاپ طولانی تر است. از بحث فوق، مشاهده شده است که نه تحرک سرعت چندان آهسته و نه بسیار زیاد سینک، سودمند است. با این وجود، ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی نسبت به HexDD و Ring Backbones بهتر عمل می کند که به دلیل توزیع منصفانه ترافیک داده ها و مصرف انرژی روی گره های ستون فقرات درون شبکه است.

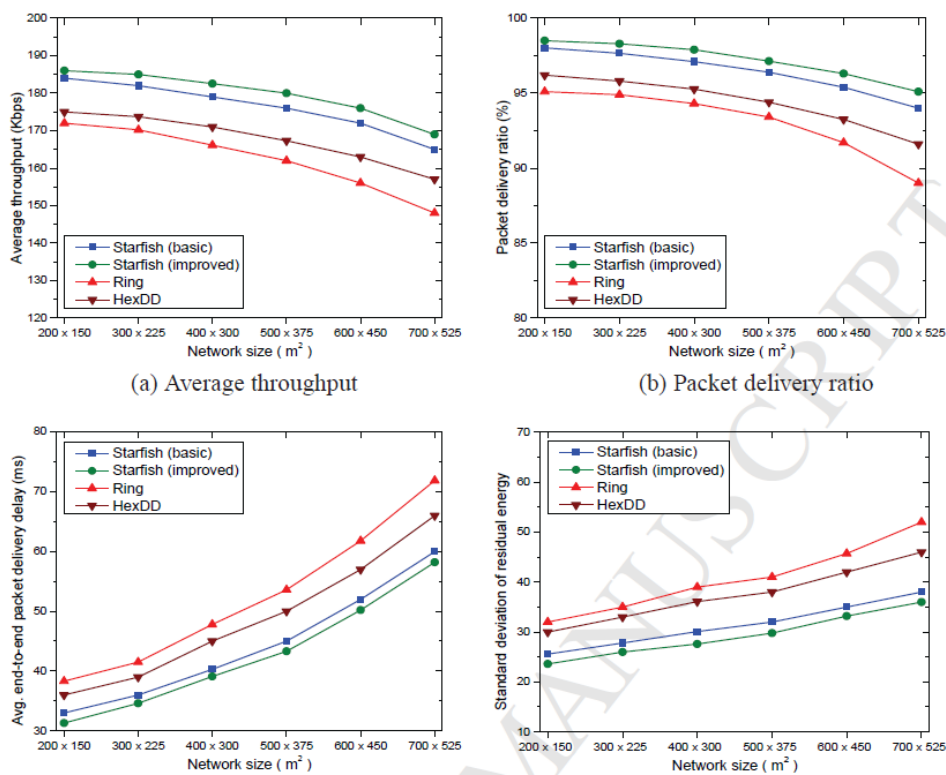
5.3.2 اثرات اندازه مختلف شبکه ها

سرعت سینک تنها پارامتر موثر بر عملکردهای ستون فقرات های مسیریابی WSN نیست. اندازه شبکه، از لحاظ طول و عرض شبکه نیز بر مقیاس پذیری و کارایی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می دهد. این اتفاق به دلیل این واقعیت است که تراکم شبکه یا بار ترافیک به اندازه شبکه بستگی دارد. ما عملکردهای پروتکل های مورد مطالعه را برای اندازه های مختلف شبکه ها اعم از $200 \times 150m^2 \sim 700 \times 525m^2$ ارزیابی کرده ایم، در حالی که تعداد ثابت 500 گره های حسگر به طور تصادفی مستقر شده اند. در این آزمایش، سرعت سینک در 3 متر بر ثانیه ثابت شده است، طیف انتقال گره های

حسگر در 90 متر تنظیم می شود و متغیر کنترل کانال-حلقه، $\phi = 1.0$ تنظیم شده است. نمودارهای

شکل 7(a) نشان می دهند که متوسط توان عملیاتی (بازده) در تمام پروتکل های مورد مطالعه به طور ثابت کاهش می یابد. این اتفاق به این دلیل می افتد که تعداد ثابت گره های حسگر در اندازه در حال افزایش شبکه مستقر می

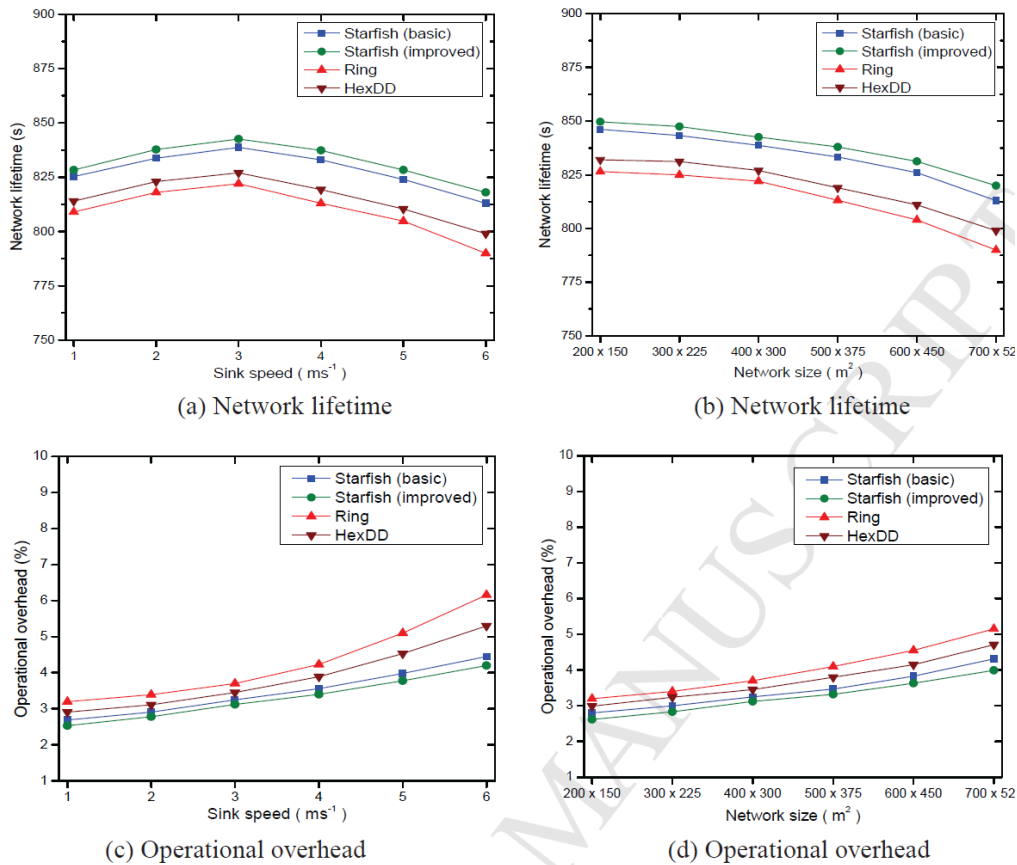
شوند، که ابتدائاً احتمال اطلاع رسانی رویداد از طریق گره های منبع در شبکه را کاهش می دهد. در مورد ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، میانگین بازده در مقایسه با راهبردهای ستون فقرات Ring و HexDD بیشتر است، زیرا دسترسی تک-هاپ به گره های ستون فقرات را تضمین می کند. به طور مشابه، ستون فقرات مسیریاب ستاره دریایی پیشنهاد شده، نسبت در حال کاهش تحویل بسته (PDR) را با افزایش اندازه شبکه نشان می دهد، همان طور که در شکل (b) نشان داده شده است. کارایی بالاتر PDR، مناسب بودن ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی برای شبکه های بزرگ را اثبات می کند.



شکل 7: تاثیرات اندازه متغیر شبکه ها

از طرف دیگر، تاخیر تحویل بسته پایانه به پایانه، برای تمام استراتژی های ستون فقرات مورد مطالعه با افزایش اندازه شبکه ها به طور خطی افزایش می یابد، همان طور که در شکل (c) نشان داده شده است. این به دلیل افزایش میانگین فاصله هاپ بین منبع تا سینک اتفاق می افتد. علاوه بر این، مشخصه شده است که ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی، کمترین تأخیر تحویل بسته پایانه به پایانه را در مقایسه با دیگر ستون های مطالعه شده نیاز دارد که این به دلیل دسترسی تضمین شده تک-هاپ به گره های ستون فقرات و جلوگیری از ردیابی دوباره سینک سیار در

شبکه است. این، مناسب بودن ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی برای برنامه های WSN در زمان واقعی را اثبات می کند. به طور مشابه، انحراف معیار انرژی باقی مانده برای تمام ستون فقرات های مطالعه شده به شکل یکنواخت با رشد اندازه شبکه ها افزایش می یابد، همان طور که در شکل (d) نشان داده شده است. این به دلیل گسترش گره های ستون فقرات روی کانال های شعاعی در داخل شبکه اتفاق می افتد.

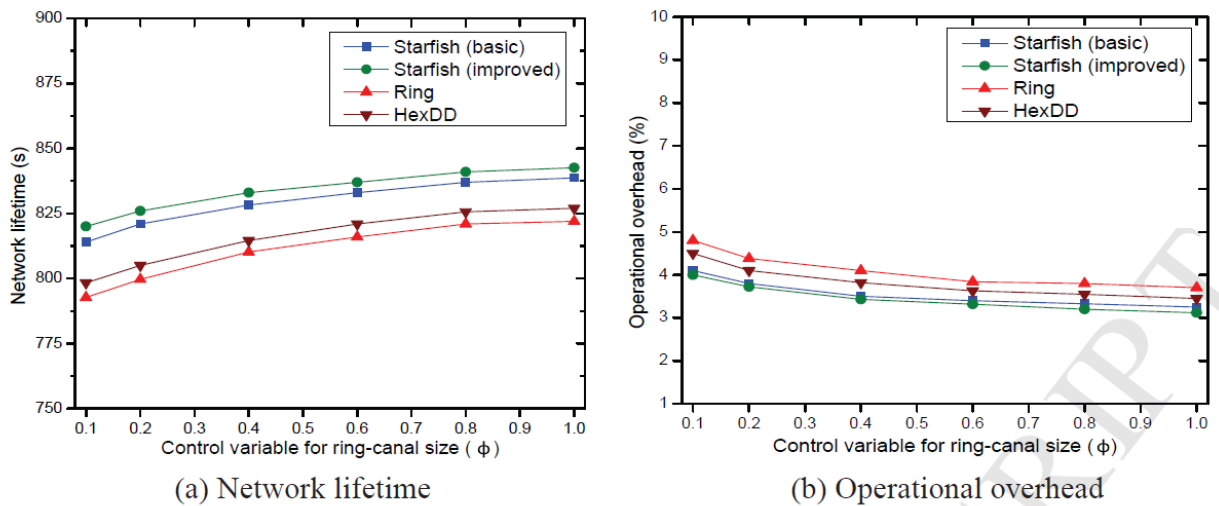


شکل 8: اثرات روی زمان عمر شبکه و سربار عملیاتی

می توانیم از نتایج و بحث های بالا را نتیجه گیری کنیم که خط مشی ما در گسترش بارهای مسیریابی بر گره ها از نقاط مختلف شبکه به ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی به مقیاس پذیری بیشتر نسبت به روش های مورد مطالعه کمک می کند.

5.3.3 تأثیرات روی طول عمر شبکه و سربار عملیاتی

بازده مسیریابی ستون فقرات در برنامه های WSN بر اساس مدت زمان طول عمر شبکه باقی مانده برای تحویل داده ها و میزان نیاز سربار عملیاتی برای تحویل موفقیت آمیز داده ها به سینک تعیین می شود. در این آزمایشات، پارامترهای شبیه سازی برای سرعت های متغیر سینک و اندازه های مختلف شبکه ها را به ترتیب مشابه با آنچه در زیربخش های 5.3.1 و 5.3.2 توصیف شده است، به منظور بررسی اثرات بر طول عمر شبکه و سربار عملیاتی ستون فقرات مسیریابی مورد مطالعه تنظیم نموده ایم.



شکل 9: تأثیرات مقادیر در حال تغییر متغیر کنترل حلقه-کانال، ϕ

نتایج نشان می دهد که طول عمر شبکه به طور ثابت با سرعت سینک حدود 3 متر بر ثانیه در تمام پروتکل های مورد مطالعه افزایش می یابد، همان طور که در شکل 8(a) نشان داده شده است. اما برای سرعت های بالاتر سینک، طول عمر شبکه به طور سریع کاهش می یابد، که این به دلیل اطلاع رسانی غالب تر موقعیت سینک-سیار به تمام گره های دیگر ستون فقرات است و در نتیجه مصرف انرژی نسبت به سرعت های متوسط سینک افزایش می یابد. طول عمر شبکه برای ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی بهتر از طول عمر استراتژی های Ring و HexDD است

زیرا از پخش غیرضروری برای به روز رسانی مکان سینک از طریق گره های حسگر جلوگیری می شود. نمودارهای شکل (b) 8 نشان می دهد که طول عمر شبکه به طور مداوم در تمام پروتکل های مورد مطالعه با افزایش اندازه شبکه ها کاهش می یابد. این به این دلیل است که برای تحویل بسته های داده برای شبکه های بزرگتر، به هاپ های بیشتری احتیاج است و بنابراین گره های ستون فقرات روی کانال های حلقه و کانال های-شعاعی انرژی بیشتری نسبت به شبکه های کوچکتر مصرف می کنند.

سربار عملیاتی دیگر، معیاری دیگر برای سنجش اثربخشی استراتژی ستون فقرات مسیریابی است. برای سرعت های متغیر سینک، سربار عملیاتی ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی، نسبت به سایر پروتکل های مورد مطالعه، پایین ترین است، همان طور که در شکل (c) 6 نشان داده شده است. این ناشی از ستون فقرات مسیریابی انجام شده با کانال های حلقه ای و شعاعی و دسترسی تضمین شده تک-هاپ به ستون فقرات است. با افزایش اندازه شبکه ها، سربار عملیاتی به طور پیوسته در تمام پروتکل های مورد مطالعه افزایش می یابد. این اتفاق به این دلیل می افتد که بسته های کنترل بیشتری برای تحویل داده ها در یک شبکه بزرگ انتقال داده می شوند. نتایج تجربی اثربخشی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی نسبت به ستون فقرات های HexDD و Ring را برای دستیابی به طول عمر گسترده شبکه برای سربار عملیاتی نامی اثبات نموده اند.

5.3.4 تأثیرات اندازه های متغیر کانال-حلقه

کارایی ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی عمدتاً به اندازه کانال-حلقه بستگی دارد که توسط متغیر کنترل، ϕ حفظ می شود. برای بررسی تأثیر اندازه متغیر کانال-حلقه، مقدار متغیر کنترل، ϕ را بین 0.1 و 1.0 تغییر می دهیم. شکل 9 عملکرد برای تغییر اندازه کانال-حلقه را نشان می دهد در حالی که اندازه شبکه، سرعت سینک، طیف انتقال به ترتیب در 300×400 مترمربع، 3 متر بر ثانیه و 1 متر و 90 متر تنظیم می شوند. نمودارها در شکل (a) 9 نشان می دهند که طول عمر شبکه به طور مداوم با رشد مقادیر متغیر کنترل افزایش می یابد زیرا به جای یک

گره واحد، کانال های شعاعی به تعدادی از گره های ستون فقرات کانال-حلقه همگرا می شوند. این کار موجب کاهش تداخل، برخوردها در میان انتقال از گره های حسگر و بنابراین کاهش هدررفت انرژی در مرکز شبکه می شود. به همین دلیل، سربار عملیاتی ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی به طور یکنواخت با رشد مقادیر ϕ کاهش می یابد، همان طور که در شکل (b) 9 نشان داده شده است.

نتایج فوق نشان می دهند که عملکرد تحویل داده ها و بهبودهای طول عمر شبکه تحت تاثیر اندازه کانال-حلقه قرار دارند. مقدار بزرگتر اندازه کانال-حلقه، عملکردهای ستون فقرات مسیریابی ستاره دریایی در شبکه را بهبود می بخشد.

6. نتیجه گیری

این کار، مسئله توسعه یک ستون فقرات مسیریابی برای WSN ها را مورد بررسی قرار داد به طوری که تاخیر تحویل پایانه به پایانه، شبکه کاهش یابد و بتوان توان عملیاتی و طول عمر شبکه را گسترش داد. گره های ستون فقرات توزیع شده روی کانال های حلقه ای و شعاعی ستون فقرات مسیریابی پیشنهادی ستاره دریایی ما به طور قابل توجهی به افزایش کارایی شبکه و همچنین طول عمر شبکه کمک نمودند. مقیاس پذیری پویای اندازه کانال-حلقه و تعداد کانال های شعاعی بر اساس طیف انتقال گره های حسگر و اندازه مساحت شبکه نیز بیشتر به ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی کمک کرد تا نسبت به کارهای برجسته موجود در نوشته ها، بهتر عمل کند. نتایج تجربی که در NS-2 انجام شده است، نشان داد که ستون فقرات پیشنهاد شده مسیریابی ستاره دریایی به ترتیب به میزان 13.1٪ و 7.4٪ بهبود از لحاظ تاخیر پایانه به پایانه و بازده نسبت به ستون فقرات مسیریابی HexDD در بر داشت.

تعیین شعاع بهینه کانال-حلقه از طریق تحلیل ریاضی، یک مسئله پژوهشی جالب برای مطالعه آینده می باشد. علاوه بر این، یک الگوریتم مناسب توزیع شده برای افزایش مقیاس پذیری ستون فقرات پیشنهادی مسیریابی ستاره دریایی در شبکه قابل توسعه است.

References

- [1] Abu Zafar Abbasi, Noman Islam, Zubair Ahmed Shaikh, et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2):263–270, 2014.
- [2] Bushra Rashid and Mubashir Husain Rehmani. Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 60:192–219, 2016.
- [3] Ishfaq Ahmad, Khalil Shah, and Saif Ullah. Military applications using wireless sensor networks: A survey. *Int. J. Eng. Sci.*, 6:7039–7043, 2016.
- [4] Sajeeb Saha, Md Ahsan Habib, and Md Abdur Razzaque. Compute intensive code offloading in mobile device cloud. In *Region 10 Conference (TENCON), 2016 IEEE*, pages 436–440. IEEE, 2016.
- [5] Sajeeb Saha, Md Ahsan Habib, Tamal Adhikary, Md Abdur Razzaque, and Md Mustafizur Rahman. Tradeoff between execution speedup and reliability for compute-intensive code offloading in mobile device cloud. *Multimedia Systems*.
- [6] Tamal Adhikary, Amit Kumar Das, Md Abdur Razzaque, Muhammad Enamul Hoque Chowdhury, and Shohana Parvin. Test implementation of a sensor device for measuring soil macronutrients. In *Networking Systems and Security (NSysS), 2015 International Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2015.
- [7] Md Abdur Razzaque, Choong Seon Hong, Cho Jin Woong, and Lee Jang Yeon. On enhancing event-to-sink data delivery throughput in sensor networks. In *Applications and the Internet, 2009. SAINT'09. Ninth Annual International Symposium on*, pages 85–91. IEEE, 2009.
- [8] Md Mamun-Or-Rashid, Muhammad Mahbub Alam, Md Abdur Razzaque, and Choong Seon Hong. Reliable event detection and congestion avoidance in wireless sensor networks. In *International Conference on High Performance Computing and Communications*, pages 521–532. Springer, 2007.
- [9] Abhimanyu Das and Debojyoti Dutta. Data acquisition in multiple-sink sensor networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 9(3):82–85, 2005.
- [10] Euisin Lee, Soochang Park, Fucai Yu, and S-H Kim. Exploiting mobility for efficient data dissemination in wireless sensor networks. *Journal of communications and networks*, 11(4):337–349, 2009.
- [11] Euisin Lee, Soochang Park, Fucai Yu, and Sang-Ha Kim. Communication model and protocol based on multiple static sinks for supporting mobile users in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 2010.
- [12] MA Habib and Mohammad HASAN. A performance analysis of backbone structures for static sink based starfish routing in wsn. the 4th International Conference on Networking, Systems and Security (NSysS), 2017.
- [13] Majid I Khan, Wilfried N Gansterer, and Guenter Haring. Static vs. mobile sink: The influence of basic parameters on energy efficiency in wireless sensor networks. *Computer communications*, 36(9):965–978, 2013.
- [14] Özgür B. Akan and Ian F. Akyildiz. Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 13(5):1003–1016, October 2005.
- [15] Jeong-Hun Shin, Jaesub Kim, Keuntae Park, and Daeyeon Park. Railroad: virtual infrastructure for data dissemination in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks*, pages 168–174. ACM, 2005.
- [16] Elyes Ben Hamida and Guillaume Chelius. A line-based data dissemination protocol for wireless sensor networks with mobile sink. In *2008 IEEE International Conference on Communications*, pages 2201–2205. IEEE, 2008.

- [17] Ayşegül Tüysüz Erman, Arta Dilo, and Paul Havinga. A virtual infrastructure based on honeycomb tessellation for data dissemination in multi-sink mobile wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1):1–27, 2012.
- [18] Can Tunca, Sinan Isik, Mehmet Yunus Donmez, and Cem Ersoy. Ring routing: An energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks with a mobile sink. volume 14, pages 1947–1960. IEEE, 2015.
- [19] Ashok V Sutagundar and Sunilkumar S Manvi. Fish bone structure based data aggregation and routing in wireless sensor network: multi-agent based approach. *Telecommunication Systems*, 56(4):493–508, 2014.
- [20] Ramin Yarinezhad and Amir Sarabi. Reducing delay and energy consumption in wireless sensor networks by making virtual grid infrastructure and using mobile sink. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 84:144–152, 2018.
- [21] Halil Yetgin, Kent Tsz Kan Cheung, Mohammed El-Hajjar, and Lajos Hanzo Hanzo. A survey of network lifetime maximization techniques in wireless sensor networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2):828–854, 2017.
- [22] Chuan Zhu, Guangjie Han, and Hui Zhang. A honeycomb structure based data gathering scheme with a mobile sink for wireless sensor networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, pages 1–16, 2016.
- [23] John M Lawrence. *Starfish: biology and ecology of the Asteroidea*. JHU Press, 2013.
- [24] Md Ahsan Habib, Sajeeb Saha, Fernaz Narin Nur, and Md Abdur Razzaque. Starfish routing for wireless sensor networks with a mobile sink. In *Region 10 Conference (TENCON), 2016 IEEE*, pages 1093–1096. IEEE, 2016.
- [25] Steven M. and Floyd S. Ucb/lbnl/vint network simulator-ns (version 2). 1999.
- [26] Suraj Sharma, Deepak Puthal, Sanjay Kumar Jena, Albert Y Zomaya, and Rajiv Ranjan. Rendezvous based routing protocol for wireless sensor networks with mobile sink. *The Journal of Supercomputing*, pages 1–21, 2016.
- [27] Jian Zhang, Jian Tang, Tianbao Wang, and Fei Chen. Energy-efficient data-gathering rendezvous algorithms with mobile sinks for wireless sensor networks. *International Journal of Sensor Networks*, 23(4):248–257, 2017.
- [28] Ahmadreza Vajdi, Gongxuan Zhang, Junlong Zhou, Tongquan Wei, Yongli Wang, and Tianshu Wang. A new path-constrained rendezvous planning approach for large-scale event-driven wireless sensor networks. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5), 2018.
- [29] Dezhong Shang, Xiulian Liu, Yan Yan, Cheng Li, and Baoxian Zhang. A ring-based bidirectional routing protocol for wireless sensor network with mobile sinks. In *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [30] Sharm Suraj and Duppada Suresh. Vgbst: A virtual grid-based backbone structure type scheme for mobile sink based wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Advanced Research in Computer Science Engineering & Technology (ICARCSET 2015)*, page 21. ACM, 2015.
- [31] Liu, Kai Zhang, Jian Shen, Zhangjie Fu, and Nigel Linge. Glrm: An improved grid-based load-balanced routing method for wsn with single controlled mobile sink. In *2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pages 34–38. IEEE, 2016.

- [32] Anfeng Liu, Mingfeng Huang, Ming Zhao, and Tian Wang. A smart high-speed backbone path construction approach for energy and delay optimization in wsns. *IEEE Access*, 6:13836–13854, 2018.
- [33] Shima Pakdaman Tirani and Avid Avokh. On the performance of sink placement in wsns considering energy-balanced compressive sensing-based data aggregation. *Journal of Network and Computer Applications*, 107:38–55, 2018.
- [34] Seung-Wan Han, In-Seon Jeong, and Seung-Ho Kang. Low latency and energy efficient routing tree for wireless sensor networks with multiple mobile sinks. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(1):156–166, 2013.
- [35] Guoqiang Mao, Barış Fidan, and Brian DO Anderson. Wireless sensor network localization techniques. *Computer networks*, 51(10):2529–2553, 2007.
- [36] Fernaz Narin Nur, Selina Sharmin, Md. Ahsan Habib, Md. Abdur Razzaque, Md. Shariful Islam, Ahmad Almogren, Mohammad Mehedi Hassan, and Atif Alamri. Collaborative neighbor discovery in directional wireless sensor networks: algorithm and analysis. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2017, 2017.
- [37] Shu Lin, Daniel J Costello, and Michael J Miller. Automatic-repeat-request error-control schemes. *IEEE Communications magazine*, 22(12):5–17, 1984.
- [38] Fernaz Narin Nur, Selina Sharmin, Md Abdur Razzaque, Md Shariful Islam, and Mohammad Mehedi Hassan. A low duty cycle mac protocol for directional wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, 96(4):5035–5059, 2017.
- [39] Jean Walrand and Pravin Pratap Varaiya. *High-performance communication networks*. Morgan Kaufmann, 2000.