افزایش کارایی شبکه حسگر با ترکیبی مبتنی بر تجمیع داده و تحمل پذیری خطا

مولود عابدینی نجف آبادی[۱]، سعید آیت[۲]

Molood_ab@yahoo.com[۱]دانشجوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان(اصفهان)،ایران،
dr.ayat@pnu.ac.ir[۲]دانشیار گروه علمی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه پیام نور،

چکیده

از مهمترین ویژگی‌های این شبکه ها، مقیاس‌پذیری است که با افزایش گره‌های شبکه ، داده‌های تولید شده توسط شبکه نیز به نسبت افزایش می‌یابد و باعث می شود این شبکه ها، به صورت بالقوه آسیب‌پذیر و داده‌ها با تأخیر بسیار بالا و قابلیت اطمینان پایین به چاهک برسند. در سوی دیگر به دلیل نبود زیرساخت ثابت و قدرت کنترل کننده مرکزی، ارتباطات و تعاملات شبکه، میان گره‌ها با یکدیگر از طریق امر مسیریابی صورت می‌پذیرد.

در این پژوهش با ارائه یک روش تلفیقی مبتنی بر تجمیع داده و تحمل‌پذیری خطا، نرخ کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم افزایش می یابد. به منظور مدیریت داده‌ها در روش پیشنهادی، برای فائق آمدن به حجم بالای داده و کنترل منابع شبکه، بخش زیادی از داده‌ها با روش‌هایی مانند حذف و یا تجمیع کاهش می یابند، سپس داده ها از طریق مسیرهایی با قابلیت اطمینان بالا ارسال می گردند.

روش پیشنهادی با دو روش دیگر، که هدف آنها صرفه جویی در مصرف انرژی با استفاده از کاهش داده ها است، در نرم افزار OPNET شبیه سازی و مقایسه می گردد .در این روش بدلیل استفاده از تجمیع داده و مسیریابی با قابلیت اطمینان بالا، سبب کاهش افزونگی داده و ارسال مجدد آنها و همچنین کاهش نرخ خطای مسیریابی شده، لذا باعث افزایش کارایی نسبت به دو روش دیگر شده است.

واژه‌های کلیدی

شبکه حسگر، تجمیع داده‌های شبکه حسگر، تحمل پذیری خطا در شبکه حسگر، الگوریتم مسیریابی شبکه حسگر.

۱. مقدمه

شبکه‌های حسگر نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که استفاده از آنها در دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. این نوع از شبکه ها به‌دلیل هزینه کم و ارتباطات آسان، امروزه در بسیاری از کاربردها برای فعالیت‌های نظارتی در محیط‌های مختلف استفاده می شوند.

مقیاس‌پذیری شبکه حسگر بی‌سیم یکی از مهم‌ترین ویژگی این نوع از شبکه‌ها می‌باشد، با افزایش گره‌های شبکه حسگر، داده‌های تولید شده توسط شبکه نیز به نسبت افزایش می‌یابد. حجم زیاد داده، محدودیت پهنای باند، محدود بودن گره‌های چاهک و وجود اغتشاشات بالای واحد رادیویی باعث می‌گردد که شبکه حسگر بی‌سیم به صورت بالقوه آسیب پذیری بالایی در اشباع شبکه، پر شدن بافر گره‌ها و وجود ازدحام داشته باشد و داده‌ها با تأخیر بسیار بالا و قابلیت اطمینان پایین به چاهک برسند، یا اینکه اصلاً نرسند. افزایش داده‌ها همچنین باعث می‌گردد انتقال تمامی آنها به چاهک انرژی زیادی را در شبکه مصرف نماید. حجم بالای داده تولیدی توسط حسگرها، علاوه بر اینکه منابع شبکه را تا حد بسیار زیادی تحت شعاع خود قرار می‌دهد، برای نگهداری در جایگاه مرکزی نیز نیاز به حجم زیادی از فضای ذخیره‌سازی دارد و پردازشات را در جایگاه مرکزی پیچیده می‌نماید. ازاین‌رو نیاز به مدیریت داده‌ها برای فائق آمدن به حجم بالای داده و کنترل منابع شبکه احساس می‌شود. اگر الگوریتمی مبتنی بر این امر ارائه شود که خود شبکه بی‌سیم قابلیت حذف و یا تجمیع داده را داشته باشد به مراتب از منابع شبکه و قدرت پردازش درون شبکه به نحو مطلوب‌تری استفاده می‌گردد. بر اساس همین مسائل می‌باشد که الگوریتم‌ها و پروتکل‌های کاهش داده، افزایش قابلیت اطمینان داده و انتقال اطلاعات از مباحث مهم در زمینه شبکه حسگر می باشد.

در سوی دیگر به دلیل نبود زیرساخت ثابت و قدرت کنترل کننده مرکزی ارتباطات و تعاملات شبکه، میان گره‌ها با یکدیگر و میان گره‌ها و چاهک از طریق امر مسیریابی انجام می‌گیرد. لذا همواره نیاز به مکانیزمی می‌باشد تا

اطلاعات شبکه را با قابلیت اطمینان بالا در این بستر نامناسب و آسیب‌پذیر بین گره‌ها و چاهک و گره‌ها با یکدیگر پشتیبانی نماید. جهت برآورده کردن این نیاز، ضرورت روش‌هایی سازگار و مناسب با ماهیت شبکه‌های حسگر و نحوه عملکرد پروتکل‌های مسیریابی در این شبکه‌ها به وضوح احساس می-گردد تا شبکه قابلیت آن را داشته باشد تا در صورت بروز خطا و خرابی آن را پوشش داده و با مکانیزم ارائه دهنده افزایش تحمل‌پذیری خطای خود، عملکرد صحیح شبکه را پشتیبانی و همراهی نماید و داده‌ها با قابلیت اطمینان بالا به مقصد ارسال گردند.

با استفاده از ترکیب دو روش تجمیع و مسیریابی با قابلیت اطمینان، روش جدیدی برای کاهش مصرف حافظه و انرژی و افزایش کارایی این نوع از شبکه ها ارائه می‌شود و سپس با دو روش مطرح شده در [2]و [14] در نرم افزار OPNET شبیه سازی، مقایسه و ارزیابی می‌شود.

۲. مروری بر کارهای گذشته

در شبکه‌های حسگر دو محدودیت عمده وجود دارد مصرف انرژی و حافظه، که نیاز است راه‌حل‌هایی برای کاهش این دو مقوله ارایه شود تا هزینه و سربار اضافی شبکه کاهش یابد. در روشهای پیشین برای کاهش و ارسال داده ها به ایستگاه پایه و صرفه جویی در مصرف انرژی و حافظه، یا بر مبنای تجمیع داده و کاهش داده های ارسالی و یا بر مبنای مسیر یابی الگوریتم هایی ارایه شده است.

در[8]، الگوریتم دو سویه ارائه شده و مبتنی بر این فرض است که داده‌های قابل پیش‌بینی و یا قابل محاسبه نیاز به ارسال ندارند. برای این منظور یک الگوریتم یکسان در چاهک و تمامی گره‌ها قرار دارد که این الگوریتم پیش-بینی می‌نماید که گره‌ها در زمان آماده بودن، داده‌هایشان ارسال نمایند یا خیر. برای این منظور گره داده‌ای را که از محیط حس کرده، با داده‌ای که پیش‌بینی نموده مورد مقایسه قرار می‌دهد. در صورتی‌که داده دارای شباهت زیاد با مقدار پیش‌بینی شده دارد، نیاز به ارسال نیست.

در روش[6] دو هدف دنبال می‌شود، اغتشاشات داده با فیلتر حذف گردد و فیلتر پیش‌بینی مناسبی جهت تجمیع داده انجام دهد. در این الگوریتم به جای استفاده یکسان از یک تابع در گره‌ها و چاهک، هر گره خود یک تابع چندجمله‌ای تولید می‌نماید و بستگی به محیطی دارد که حسگر در آن فعالیت دارد. در ادامه سردسته خوشه به‌جای آن‌که منتظر دریافت داده‌های خوشه خود باشد یا درخواستی برای آن‌ها ارسال نماید، از تابع پیش‌بینی خود استفاده می‌نماید. در طرف مقابل گره‌های حسگر زمانی که داده‌ها را به درستی دریافت و محاسبه نمودند، در صورت یکسان بودن، آن‌را برای گره تجمیع کننده داده ارسال نمی نمایند.

روش‌های دیگری بر مبنای تخمین داده‌ها ارائه شده‌اند که بر کاهش استفاده از انرژی و پهنای باند استوار می‌باشند. روش‌های تخمین برای حالاتی که داده‌های خاصی قرار است به صورت پی‌درپی ذخیره شده و برای کاربردهای خاصی به‌کار رود، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در[15] روشی با هدف افزایش تحمل‌پذیری خطا مبتنی بر پروتکل‌های واکنشی[1] ارائه گردیده است. در این کار، هنگام انجام فرایند مسیریابی پس از آن‌که مبدأ بر اساس عملکرد پروتکل‌های مسیریابی درخواست‌های مسیر را در سطح شبکه برای یافتن مقصد منتشر می‌نماید. گره مقصد با دریافت اولین بسته درخواست فرآیند پاسخ مسیر را شروع نمی‌نماید و منتظر می‌ماند تا بسته، درخواست مسیر بعدی را نیز دریافت نماید. سپس دو مسیر از کوتاه-ترین مسیرها را از طریق بسته پاسخ مسیر، به مبدأ گزارش می‌دهد. در ادامه گره مقصد هر دو مسیر را به نام گره مقصد در جدول مسیریابی خود ذخیره می‌نماید و فرایند مسیریابی به اتمام می‌رسد. در [11] [13]سعی بر استفاده از روش‌های بازیابی بسته در مقصد شده است. فرآیند مسیریابی بین مبدأ و مقصد به صورت چندمسیری صورت می‌گیرد. انجام این امر به این صورت است که مقصد چندین مسیر را با توجه به نیاز روش پیشنهادی به گره مبدأ پاسخ می‌دهد و گره مبدأ تمامی مسیرهای یافته‌شده در جدول خود را برای استفاده در کاربردهای بعدی ذخیره می‌نماید. سپس مبدأ بسته ارسالی را با به چندین سهم شکسته و این سهم‌ها را از مسیرهای یافته شده برای گره مقصد ارسال می‌نماید.

در [16]روشی با استفاده از بهره‌گیری مزایای نحوه عملکرد پروتکل‌های سیل‌آسای[2] مسیریابی جهت افزایش تحمل‌پذیری خطای شبکه ارائه گردیده است. در این پروتکل‌ها عمدتاً یک مسیر مستقل[3] از مبدأ تا به مقصد معین و کشف می‌گردد و این مسیر به عنوان مسیر ارسال اطلاعات برای ادامه تبادلات شبکه استفاده می شود. در این کار دو هدف برای رسیدن به هدف نهایی دنبال می‌گردد: اول این‌که بسته‌ها باید با کمترین تأخیر به دست مقصد برسند. دوم این‌که ارسال بسته‌ها باید با صرف کمترین انرژی و با کیفیت بالا انجام شود. در همین راستا یک روش کلی برای بالا بردن کیفیت و ارسال مجدد بسته‌ها می باشد.

در [17]به جهت افزایش تحمل‌پذیری خطای سیستم و ارسال توانمند اطلاعات سعی بر استفاده از ویژگی‌های ژنتیک و خصوصیات توابع بازگشتی شده است. در روش ارائه شده به جهت رسیدن به هدف افزایش تحمل‌پذیری خطا، مسیرهای بهینه بر پایه کارایی مسیر و ازدحام مسیرها با استفاده از روش‌های ژنتیکی بین مبدأ و مقصد مشخص می‌گردند.

در مقاله[2]، هدف کاهش داده‌ها و مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، با استفاده از چند جمله‌ای برای داده‌های زیست محیطی است. عملکرد روش این گونه است که هر گره حسگر، یک تابع چند جمله‌ای با توجه به شرایط محیطی خود ایجاد می کند که مختص به خودشان است و تقریبی از اطلاعات را با آن می‌توان بدست آورد. گره سطح پایینی تابع پیش بینی را به سطح بالاتر می‌دهد و گره داده‌ای را که از محیط حس کرده، با مقدار پیش‌بینی شده توسط تابع مقایسه می‌کند در صورتی که یکسان بود آن را ارسال نمی‌کند در غیر اینصورت داده و چند جمله‌ای را با هم می‌فرستد. در این الگوریتم به جای ارسال داده‌ها به طور مستقیم، سرخوشه‌ها، داده‌های

[1] Reactive

[2] Flooding

[3] Fully Disjoint

چند گره را جمع آوری و ارسال می‌کنند. هر چه عمل پیش‌بینی بیشتر باشد داده‌های واقعی ایجاد شده کمتر هستند.

در الگوریتم [14]، نظارت بر کاهش هزینه‌ها، در شبکه‌های حسگر را با استفاده از پرس و جوی محلی انجام می‌دهد. هدف این مقاله کاهش انرژی مصرفی با استفاده از گره‌های جمع‌آوری کننده و همچنین تجمع غیر ضروری داده‌ها با استفاده از زمان قابل تنظیم آستانه نزدیکی است که درنهایت طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. در راه‌کار ارائه شده، هدف ایجاد ساختار درختی با سربار کمتر و کاهش هزینه انتشار از طریق نظارت بر جستجوی محلی است که STP نامیده می شود. STP، انرژی مصرفی را با کاهش استفاده از گره‌های جمع‌آوری‌کننده و همچنین تجمع غیر ضروری داده‌ها کاهش می‌دهد که درنهایت طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. در ابتدا گره چاهک یک پرس‌وجوی ثبت را برای گره‌ها می‌فرستد. وقتی یک گره داده را دریافت کرد، منتظر یک بازه زمانی تصادفی می‌ماند اگر بسته‌ای را دریافت کرد، آن را می‌گیرد و به گره‌های دیگر می‌فرستد. اگر داده‌ای را بیش از یک‌بار دریافت کرد آن را دور می‌اندازد و به این صورت درخت مسیریابی تشکیل می‌شود. درخت مسیریابی در این روش انعطاف‌پذیری پوشش خطا را دارد. اگر یک شکست رخ دهد به راحتی می‌توان، شکست لینک را از طریق همسایه‌ها توسط این پروتکل کشف کرد و مسیری را انتخاب کرد که کمترین گام را تا گره چاهک داشته باشد.

در جمع‌بندی انجام شده از مطالعه روش‌های مطرح شده، روشی مبتنی بر [2]و [14] در راستای افزایش کارایی شبکه حسگر ارائه شده‌است.

۳.روش پیشنهادی

نتایج ارزیابی به شرایط محیط بستگی دارد. در هر قسمت از روش پیشنهادی از مقادیر آستانه استفاده شده است که این مقادیر با یکدیگر متفاوت و بستگی به محیط تحت نظارت دارد.

گروه‌بندی گره‌ها در خوشه‌ها به‌طور وسیعی توسط جوامع تحقیقاتی پذیرفته شده‌است تا هدف مقیاس‌پذیری و به طور کلی دستیابی به کارایی، انرژی بالاتر و طول عمر بیشتر در محیط شبکه‌های حسگر بی‌سیم تحقق یابد. پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی و جمع‌آوری داده‌ها، به یک سازماندهی مبتنی بر خوشه حسگرها دلالت می کنند به‌طوری که ترکیب و تجمیع داده‌ها ممکن گردیده و منجر به ذخیره قابل توجه انرژی می‌شود. در ساختار سلسله مراتبی شبکه، هر خوشه یک رهبر دارد که به آن سرخوشه گفته می‌شود و به طور معمول کارهای ویژه‌ای مثل ترکیب و تجمیع داده‌ها را انجام می‌دهد. همچنین تعدادی گره معمولی در هر خوشه به عنوان اعضای آن خوشه وجود دارند.

در هنگام راه‌اندازی شبکه و شروع تبادلات شبکه، هر گره با توجه به داده‌های ارسالی به یکی از گره‌های شبکه به عنوان سرخوشه پیوسته و تشکیل خوشه را می‌دهند. پیوستن به گره سرخوشه و انتخاب سرخوشه با توجه به داده‌های دریافتی از گره مورد نظر انجام می‌گیرد. در حالت طبیعی این‌که داده های دریافتی از گره‌های شبکه با داده حس شده گره یکسان باشد امری دور از انتظار است و به طور معمول اختلافات داده‌ها هرچند ناچیز ملاحظه می‌گردد. بنابراین در ابتدا نیاز است تا آستانه‌ای به نام آستانه عضویت که در این مقاله با TMنشان داده می‌شود جهت به عضویت پیوستن به گره سرخوشه محاسبه و مشخص شود به طوری‌که با میزان خطای ناچیزی نیز می‌تواند همراه باشد. TMاز رابطه زیر حاصل می‌شود:

TM مقدار آستانه عضویت

E: اختلاف داده

1. E = داده حس شده از محیط– داده دریافتی از سرخوشه

```
2.IF TM < E Then send Join packet to
    neighbor node
    Else Search for suitable node;
```

در ادامه گره سرخوشه تنها زمانی داده‌هایش را ارسال می نماید که مقدار داده اندازه‌گیری شده با مقدار داده پیش‌بینی شده توسط بخش مربوطه متفاوت باشد. می‌توان با در نظر گرفتن یک بازه خطای داده (تغییرات داده فعلی و مقادیر قبلی) از ارسال بخش عظیمی از داده‌ها جلوگیری نمود. بنابراین در روش پیشنهادی مقدار آستانه دیگری با نام آستانه خطای داده که آن را با TE نشان می‌دهیم، در نظر گرفته‌شده‌است حال اگر میزان اختلاف داده‌ها بیش از مقدارTE باشد آنگاه داده‌ها به ایستگاه پایه ارسال می‌شوند. بنابراین در روش پیشنهادی به جهت ارسال داده‌های حس شده از محیط و ارسال داده‌های گره‌های عضو و مقایسه TE استفاده می شود. لازم بذکر است، مقدار TE وابسته به کاربرد شبکه است. به عنوان مثال در کاربردهای اندازه‌گیری دما و رطوبت این مقدار با کاربردهای اندازه‌گیری آلودگی محیط تحت نظارت متفاوت می‌باشد.

به منظور محاسبه و مقایسه با مقدار آستانه از رابطه زیر استفاده می‌گردد، این محاسبات یک بار در گره‌های عضو به منظور ارسال داده به سرخوشه و همچنین در سرخوشه به منظور ارسال داده از سرخوشه به ایستگاه پایه انجام می‌گیرد.

گره عضو

TE: مقدار آستانه وابسته به کاربرد شبکه

S: داده حس شده توسط حسگرها از محیط

1.SE: (مقدار ذخیره قبلی – داده حس شده جدید)

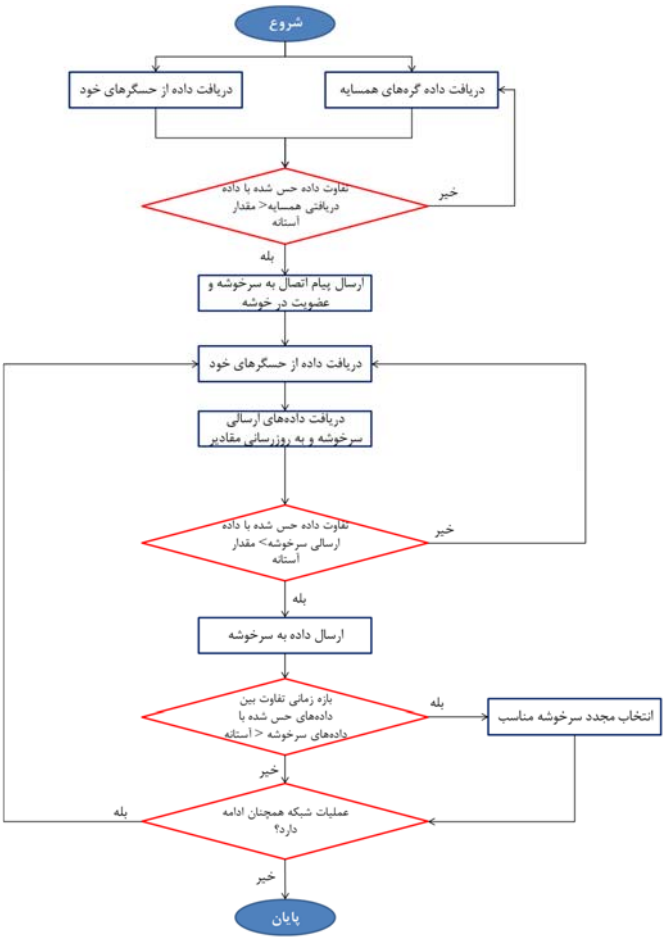
```
2.IF SE > TE Then send data packet to
    Cluster head node
  Else No send data packet;
```

گره سرخوشه

1.ST: (مقدار ذخیره شده قبلی در سرخوشه-داده فشرده‌سازی شده جدید دریافتی از گره‌های عضو)

```
2.IF ST > TE Then send data packet to
    Base station node
  Else No send data packet;
```

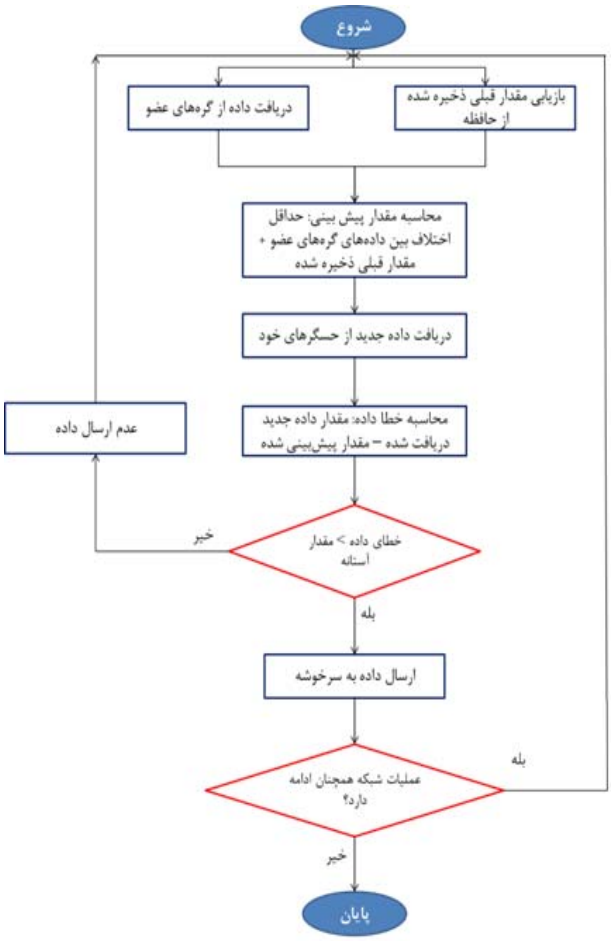
شکل ۱ بلوک دیاگرام پیشنهادی جهت تجمیع را نشان می‌دهد.



شکل(۱) بلوک دیاگرام پیشنهادی جهت تجمیع

به منظور انجام بهینه فرآیند تجمیع، عملکرد الگوریتم پیشنهادی به صورت فرآیند دو مرحله‌ای در نظر گرفته شده‌است بدین صورت که تجمیع ابتدا در گره‌های عضو و سپس در گره‌های سرخوشه انجام می گیرد. در ابتدا گره‌های عضو داده‌های خود را با مقدار،TE مقایسه کرده و در صورت وجود اختلاف بیش از مقدارTE آن را برای گره سرخوشه ارسال نموده و در مرحله بعد گره سرخوشه عملیات فشرده‌سازی را بر روی داده‌ها انجام داده و با مقدار TE خطا مقایسه و در صورت وجود اختلاف بیش از مقدارTE خطا آن را برای ایستگاه پایه ارسال می‌نماید. از طرفی به منظور افزایش کارایی روش پیشنهادی از آن‌جایی‌که گره سرخوشه در خوشه خود به صورت فعال است در بازه‌های زمانی، محیط پیرامون خود را حس کرده و در صورت بروز تفاوت بیش از میزان TE آن را برای ایستگاه پایه ارسال می‌نماید. گره‌های عضو نیز داده ارسالی جدید سرخوشه را دریافت و مقادیر خود را با مقدار جدید جهت محاسبه و مقایسه با مقدارTE خطا بروزرسانی می‌نمایند و مقایسات خود را با مقدار به روز شده انجام می‌دهند.

در ادامه به منظور بهبود عملکرد الگوریتم تجمیع از معیار پیش‌بینی نیز استفاده می‌گردد. بلوک دیاگرام شکل ۲ ، عمل پیش‌بینی در روش پیشنهادی را به شرح ذیل نشان می‌دهد.



شکل(۲) بلوک دیاگرام پیش بینی در روش پیشنهادی جهت عمل تجمع

چندین نکته برای مشخص کردن مقدار پیش‌بینی و مقدار آستانه حائز اهمیت است که در ادامه بیان می‌گردد.

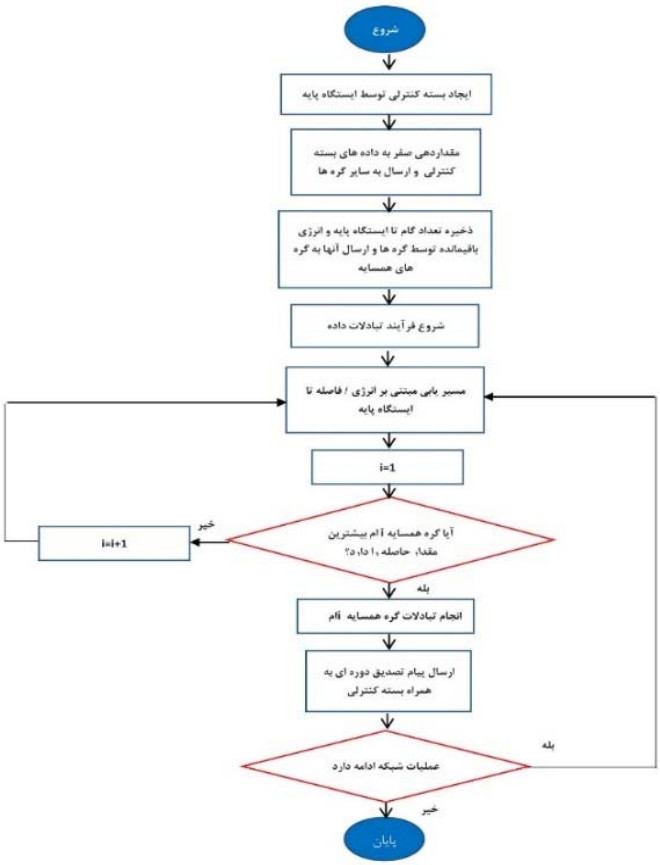
نرخ خطای موجود در داده محیط به سادگی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد. گره-ای که تغییرات در داده‌های آن زیاد است، تعداد ارسال‌هایش نیز بالا خواهد بود. بنابراین با افزایش مقدار آستانه (خطای قابل تحمل)، باعث شده تا خطاهای احتمالی حذف شده و تغییرات حاصله مرتبط با داده واقعی خواهد بود و گره سرخوشه ارسال‌های مربوط به داده را انجام می‌دهد. برای نمونه فرض شود، داده‌های فعلی گره سرخوشه با داده قبلی که ارسال نموده است دارای انحراف کمی باشد، با توجه به وجود اغتشاشات و تغییرات در نمونه مورد اندازه‌گیری واضح است که در اکثر موارد گره سرخوشه باید داده‌های خود را ارسال ننماید. به همین منظور بهتر است تا گره سرخوشه جهت محاسبه مقدار قابل پیش‌بینی تا زمان دریافت داده از گره‌های عضو خودش صبر نماید و در ادامه مقدار قابل پیش‌بینی را مطابق رابطه زیر محاسبه نماید.

مقدار پیش‌بینی داده= حداقل اختلاف داده‌های دریافتی از گره‌های عضو+مقدار قبلی داده ذخیره شده از محیط در ادامه گره سرخوشه از مقدار پیش‌بینی و خطای داده جهت انجام ارسال‌های خود استفاده می‌نماید.

خطای داده= مقدار جدید ذخیره شده – مقدار پیش‌بینی شده

تا این مرحله از روش پیشنهادی فرآیند فشرده‌سازی و تجمیع به صورت مطلوب وابسته به عملکرد سرخوشه‌ها و ایستگاه پایه انجام گردید. عملیات

انجام شده منجر به بهینه نمودن بار و انرژی شبکه شد و از ارسال داده‌های افزونه و زائد در شبکه پیشگیری گردید. حال با توجه به انجام فرآیند تجمیع، داده‌های ارسالی دارای اهمیت بالایی در عملکرد شبکه هستند. در واقع تا به این مرحله سعی بر بهینه نمودن و کاهش داده‌ها و حذف داده‌های تکرار و زائد بود، بنابراین داده‌های حاصله، داده‌های با ارزش بالا بوده و نیاز است تا با بیشترین میزان قابلیت اطمینان برای ایستگاه پایه ارسال گردند. بلوک دیاگرام شکل ۳ ارسال داده‌ها با تحمل‌پذیری خطا در روش پیشنهادی را به شرح ذیل نشان می‌دهد.



شکل(۳) بلوک دیاگرام ارسال داده با تحمل پذیری خطا

در زمان راه‌اندازی شبکه ایستگاه پایه یک بسته کنترلی ایجاد و در شبکه منتشر می‌نماید. بسته کنترلی ارسالی شامل سه فیلد، تأخیر، شناسه گره و میزان انرژی باقیمانده می‌باشد. ایستگاه پایه این سه فلید را با مقدار صفر مقداردهی کرده و در سطح شبکه منتشر می‌نماید. گره‌های سرخوشه با دریافت بسته کنترلی مذکور، تعداد گام تا ایستگاه پایه و انرژی باقیمانده در جدول مسیریابی خود ذخیره نموده و در ادامه تعداد گام بسته را افزایش و به همراه شناسه و انرژی باقیمانده را به بسته اضافه نموده و در سطح شبکه برای همسایگان مجدد منتشر می‌نمایند. برای ثبت مسیر تنها ثبت اطلاعات گام بعدی جدول مسیریابی کفایت می‌کند. این فرایند توسط تمامی گره‌های سرخوشه انجام شده و سرخوشه ها اطلاعات سایر سرخوشه‌های مجاور را در جداول مسیریابی خود به روزرسانی می‌نمایند.

در ادامه به نسبت انرژی باقیمانده و تأخیر تا ایستگاه پایه گره قابل اطمینان بعدی در مسیر مقصد به عنوان گره ارسال کننده داده‌های تجمیع شده انتخاب می‌گردد. در پروتکل‌ها جهت اطلاع از وضعیت شبکه، هر گره با دریافت داده‌های ارسالی یک پیام تصدیق ارسال می‌نماید، به‌طوری‌که این پیام شامل اطلاعاتی از انرژی باقیمانده گره‌های مسیر و وضعیت شبکه است. با استفاده از پیام‌های تصدیق ارسالی گره‌های شبکه از وضعیت و میزان انرژی باقیمانده گره‌های شبکه آگاهی می‌یابند و از این معیار برای انتخاب‌های بعدی استفاده می‌نمایند. ارسال پیام‌های تصدیق در شبکه با ایجاد هزینه و سربار همراه است، ازاین‌رو به منظور بهینه‌سازی از ارسال پیام‌های تصدیق دوره‌ای استفاده گردیده به طوری‌که برای هر چند پیام دریافتی یک پیام تصدیق ارسال می‌گردد. در دفعات بعدی در صورتیکه گره ها ثابت باشند، نیازاست فقط انرژی باقیمانده گره‌ها ارسال گردد. در پروتکل پیشنهادی به منظور بهینه شدن ارسال ها و دریافت‌های بسته کنترلی این فرآیند به صورت محلی و بین همسایگان انجام شده و اطلاعات منتشر شده تنها در ارتباط با میزان انرژی باقیمانده گره‌های همسایه می‌باشد. در این صورت سربار کاهش یافته و معیار انتخاب گره‌های همسایه به‌روزرسانی می‌شود.

۴. ارزیابی

در این بخش از روش پیشنهادی با استفاده از ابزار شبیه‌سازی OPNET با پروتکل‌های ذکر شده در [2] و [14] مقایسه و ارزیابی می‌شود. جهت ارزیابی پروتکل پیشنهادی با دو پروتکل دیگر از پارامترهای کارایی، بارشبکه، میزان بسته‌های ارسالی، نرخ از دست رفتن بسته ها و تعداد خطاهای مسیر ارسال استفاده شده است.

برای انجام عمل شبیه سازی پارامترهای ذیل که در جدول(۱) ذکر گردیده، استفاده شده است

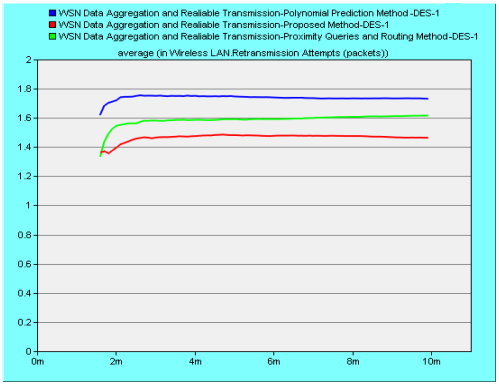
جدول(۱) پارامترهای مربوط به شبیه‌سازی

پارامتر	معیار
شبیه‌ساز	ورژن ۱۴,۵
ابعاد محیط	m۲۵۰۰ *m۲۵۰۰
پروتکل لایه انتقال	UDP
توزیع گره‌ها	Random
نوع ترافیک	Constant Bit Rate (CBR)
تعداد حسگرها	۲۰۰ گره
نوع MAC	Mac/802.11
زمان شروع شبیه سازی	۱۰۰ ثانیه
نوع کانال	Channel/Wireless Channel
نرخ انتقال	۱۱Mbps
مدل انتشار	Propagation/ Two Ray

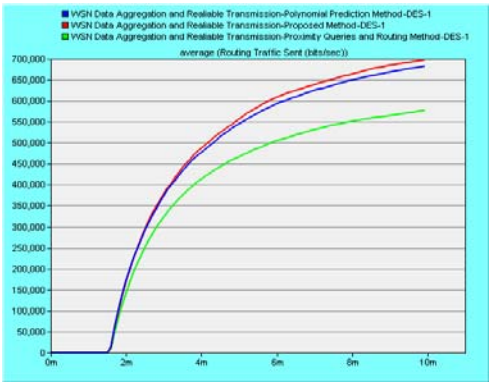
۴,۱ نتایج شبیه‌سازی

برای ارزیابی عملکرد و کارایی، پروتکل پیشنهادی در شرایط یکسان با توجه به پارامترهای بیان شده در جدول(۱)، با دو پروتکل که پروتکل اول [2]، مبتنی بر تجمیع داده و پروتکل دوم [14]، مبتنی بر مسیر یابی بوده، مورد

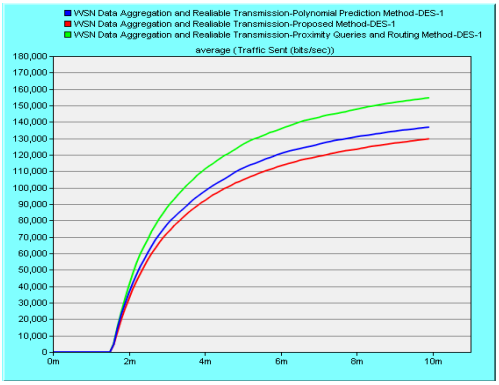
مقایسه قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی نتایج شبیه سازی در شکل‌های از تا به تفکیک پارامترهای ارزیابی آمده‌است.



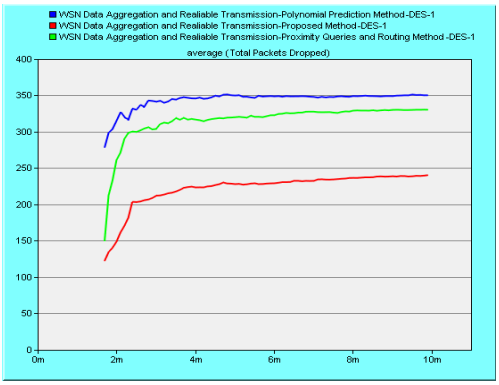
شکل(۴)میانگین ارسال مجدد بسته‌ها



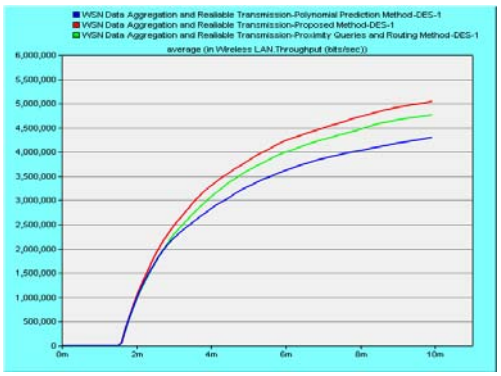
شکل(۵) میانگین ارسال و دریافت داده‌های مسیریابی



شکل(۶) میانگین ترافیک ارسال داده ها



شکل(۷) میانگین از دست رفتن بسته‌ها



شکل(۸) مقایسه میانگین بازدهی(کارایی)

۵. نتیجه‌گیری

محیط روش پیشنهادی کمترین میزان پارامترهای ارسال مجدد (شکل ۴) ، از دست رفتن بسته‌ها (شکل ۷) و و کمترین میزان ترافیک (شکل ۶) را به دلیل استفاده از تجمیع و ارسال با تحمل‌پذیری خطا را داشته، را به دلیل استفاده از مسیرهایی با قابلیت اطمینان بالا و بیشترین کارایی (شکل ۸) را داشته است و از دو روش دیگر بهتر عمل کرده است. پس از آن روش [14] بهتر بوده‌است. میزان ارسال و دریافت داده‌های مسیریابی در [14] کمترین مقدار را داشته است پس از آن روش پیشنهادی به دلیل اینکه در روش پیشنهادی هر بار به دنبال یک مسیر جدید با قابلیت اطمینان بالاتر می‌گردد. زمانی که تعداد گره‌های شبکه افزایش یافت و اندازه محیط ثابت ماند، تمامی عملکردهای شبکه نیز نسبت به شبکه با ۲۰۰ گره بدتر شد. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده روش پیشنهادی بهترین کارایی را نسبت به دو روش دیگر داشته و هرچه تعداد گره بالاتر می رود کارایی نسبت به گره‌ها با تعداد کمتر نیز کاهش می‌یابد به دلیل اینکه حجم داده‌های ارسالی افزایش می‌یابد. می توان نتیجه گرفت که در پروتکل پیشنهادی به دلیل استفاده از تجمیع، پیش بینی، کاهش داده ها و همچنین بهره گیری از مزایای خوشه بندی و سپس ارسال داده ها از مسیرهایی با قابلیت اطمینان بالا، بارشبکه، میزان بسته‌های ارسالی، نرخ از دست رفتن بسته ها، ترافیک شبکه و تعداد خطاهای مسیر کاهش یافته و در نهایت کارایی این روش نسبت به دو روش دیگر بهبود یافته است.

. مراجع

[1] A. Deligiannakis, and Y. Kotidis, "Data Reduction Techiques in Sensor Networks," Bulletin of the IEEE Computer Soiety Technical Committee on Data Engineering, pp. 879- 884, 2009.

[2] A.Knox, S.Chakraborty and D.Agrawal. (2014). Evaluating Polynomial Regression Based Data Aggregation in Body Area Networks.IEEE ANTS.

[3] C. Karakus, A. C. Gurbuz, and B. Tavli, " Analysis of Energy Efficiency of Compressive Sensing in Wireless Sensor Networks," *IEEE SENSORS JOURNAL*, Vol. 13, pp. 1999-2008, MAY 2013.

[4] C. Olston, J. Jiang, and J. Widom, "Adaptive Filters for Continuous Queries over Disterbuted Data Stream," In SIGMOD, pp. 1-9, 2006.

[5] D. Incebacak, R. Zilan, B. Tavli, and J. B. Ordinas, "Optimal data compression for lifetime maximization in wireless sensor networks operating in stealth mode, *Elsivier Ad Hoc Networks*, Vol. 24, pp. 134-147, 2015.

[6] E. O. Blass, L. Tiede, and M. Zitterbart, "An Energy-Efficinet and Reliable Mechanism for Data Transport in Wireless Sensor Network," Proc. Third International Conference on Networked Sensing Systems (INSS). P. 211-216, 2008.

[7] G. Omprakash, M. Yarvis, J. Heidemann, and R. Govindan. "Interaction of retransmission, blacklisting, and routing metrics for reliability in sensor network routing." *In Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, First Annual IEEE Communications Society Conference, pp. 34-43, 2004.

[8] G. Wang, etal., "Energy-Efficent Dual Prediction-Based Dta Gathering for Enviroment Manitoring Apllications," In proceeding of IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the WCNC, pp. 16-29, 2007.

[9] H.Krl, and A. Awillig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks," John Wiley & Sons, pp. 46-57, 2005.

[10] J. Wang, S. Tang, B. Yin, X. Y. Li, "Data Gathering in Wireless Sensor Network Through Intelligent Compressive Sensing," *Proceedings IEEE INFOCOM*, Vol. 11, pp. 603-611, 2012.

[11] J. Wu, S. Dulman, P. Havinga, and T. Nieberg, "Multipath routing with erasure coding for wireless sensor networks," 2004.

[12] M. A. Razzaque,C. Bleakley, and S. Dobson, "Compression in Wireless Sensor Networks: A Survey and Comparative Evaluation," *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 10, pp. 1-44, November 2013.

[13] M. Lu and J. Wu, "Erasure-coding based utility routing in multi-hop wireless networks," in *Mobile Adhoc and Sensor Systems. MASS'09. IEEE 6th International Conference on*, IEEE, 2009, pp. 168-177.

[14] MR.Haque,M.Naznin, M. (2011). Monitoring Cost Reduction in Sensor Networks using Proximity Queries. JOURNAL OF NETWORKS, VOL. 6, NO. 1.

[15] R.E. Ahmed, "A Fault-Tolerant Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Journal of Advances in Information Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 128-132, 2011.

[16] S. Muhammad, I. Ullah, A. Khayam, and M. Farooq, "On the reliability of ad hoc routing protocols for loss-and-delay sensitive applications," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, pp.285-299, 2011.

[17] V. Bhaskar, and D.S. R. Murthy, "A Reliable Routing Approach in Mobile AdHoc Network based on Genetic Algorithms," *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, Vol. 2, pp. 971-975, October- 2013.

[18] Y. Kotidis, "Snapshot Queries: Toward Data-centric Sensor Networks," In Proceeding of ICDE, pp. 113-118, 2010.

[19] Z. Ye, S.V. Krishnamurthy, and S.K. Tripathi, "A framework for reliable routing in mobile ad hoc networks," in *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies*, IEEE, 2003, pp. 270-