Archive of SID

پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تحلیل سلسله مراتبی

معصومه واعظی[۱]، کارشناس ارشد؛ محمدعلی جبرئیل جمالی[۲]، استادیار

۱- گروه مهندسی کامپیوتر - واحد شبستر - دانشگاه آزاد اسلامی - شبستر - ایران - mvaezi2005@gmail.com
۲- گروه مهندسی کامپیوتر - واحد شبستر - دانشگاه آزاد اسلامی - شبستر - ایران - m_jamali@itrc.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر کیفیت خدمات[۱] (QoS) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، سرخوشه‌ها توسط گره چاهک تعیین می‌شوند و عمل مسیریابی بر اساس معیارهای مبتنی بر کیفیت خدمات و کارآمدی انرژی انجام می‌شود. الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با جدول ترجیحات برای توزیع یکنواخت بار و ترافیک شبکه استفاده می‌شود. این روش، اولویت معیارهای کیفیت خدمات ازجمله قابلیت اطمینان، انرژی و تأخیر را برای تعیین برازندگی مسیر با روش سلسله مراتبی در نظر می‌گیرد. پروتکل پیشنهادی در محیط شبیه‌سازی Matlab پیاده‌سازی شده و اثر آن مورد ارزیابی قرار گرفته و با پروتکل BERR[۲] مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی حدود ۵۰٪ در مصرف انرژی و ۱۵۰٪ در طول عمر شبکه نسبت به پروتکل BERR در شبکه‌های با مقیاس بزرگ بهتر عمل می‌کند. ازآنجایی‌که روش پیشنهادی سعی در انتخاب کوتاه‌ترین مسیرها و به‌کارگیری ارسال مجدد بسته‌های گم‌شده دارد، آن می‌تواند میانگین تأخیر را حدود ۳۰٪ در شبکه‌های با مقیاس بزرگ بهبود داده و قابلیت اطمینان بالایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پروتکل مسیریابی، کیفیت خدمات، الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره، جدول ترجیحات، تحلیل سلسله مراتبی.

A Novel Routing Protocol based on the Quality of Service in Wireless Sensor Networks with Hierarchical Analysis

M. Vaezi[1], MSc; M. A. Jabraeil Jamali[2], Assistant Professor

1- Department of Computer Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran, Email: mvaezi2005@gmail.com
2- Department of Computer Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran, Email: m_jamali@itrc.ac.ir

Abstract: In this paper, a novel routing protocol based on the quality of service (QoS) in wireless sensor networks is proposed. In the proposed method, cluster heads are determined by the sink node and routing operation is done according to the QoS and energy efficiency criteria. Multi-criteria decision making algorithm along with the preferences table is used to uniformly distribute load and traffic the network. The method involves priority of QoS measures such as reliability, energy and delay to determine fitness of each route in a hierarchical manner. The proposed protocol is implemented in MATLAB simulation environment and its effectiveness is evaluated and compared with BERR protocol. Simulation results show that the proposed algorithm outperforms the BERR protocol by about 50% in energy consumption and 150% in the network life time in large scale networks. Since the proposed method tries to selects the shortest routes and uses the retransmission of lost packets, it can improve average of delay for about 30% in large scale networks and shows high reliability.

Keywords: Wireless sensor networks, routing protocol, quality of service, multi-criteria decision making algorithm, preferences table, hierarchical analysis.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷ و ۱۳۹۴/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۰۳
نام نویسنده مسئول: محمدعلی جبرئیل جمالی
نشانی نویسنده مسئول: ایران - شبستر - جنب پارک آزادگان - دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - گروه مهندسی کامپیوتر.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مهم‌ترین دلیل پیدایش و توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پایش مداوم محیط‌هایی بوده است که دست‌یابی و حضور دائمی انسان در آن‌ها، سخت یا ناممکن است. ازآنجایی‌که ارتباطات رادیویی در بین گره‌های حسگر اصلی‌ترین شکاف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است، کارایی انرژی به‌صورت یک مسئله حیاتی برای این شبکه‌ها مطرح است [۱]. دو نکته‌ای که در کارایی شبکه‌های حسگر از اهمیت خاصی برخوردار است عبارت‌اند از۱- کیفیت خدمات در این نوع شبکه‌ها ۲- طول عمر. کیفیت خدمات یک اصطلاح با معانی و دیدگاه‌های مختلف است. در انجمن‌های کاربردی، کیفیت خدمات عموماً به کیفیت مشاهده‌شده توسط کاربر ارجاع می‌شود درحالی‌که در انجمن‌های شبکه‌ای کیفیت خدمات به‌عنوان کیفیتی که شبکه به کاربران و برنامه‌های کاربردی می‌دهد، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم ضمن حمایت از کیفیت خدمات با چالش‌های فراوانی روبرو هستند ازجمله [۲، ۳]: ۱- ترافیک نامتعادل ۲- افزونگی در داده‌های جمع‌آوری‌شده ۳-پویا بودن شبکه ۴- خطاهای مربوط به کانال‌های بی‌سیم ۵- وجود انواع مختلف ترافیک ۶- توسعه‌پذیری ۷- محدودیت منابع ۸- پیوندهای نامطمئن.

با توجه به محدودیت‌های انرژی گره‌های حسگر، میزان انرژی مصرفی الگوریتم‌های ارائه‌شده برای شبکه‌های حسگر یک موضوع مهم است. ازآنجاکه عمل ارسال بسته‌ها نسبت به عمل پردازش بسته‌ها و دریافت بسته‌ها انرژی خیلی بیش‌تری مصرف می‌کند، محاسبه تعداد بسته‌های ارسالی که به دلیل استفاده از یک الگوریتم خاص به شبکه تحمیل می‌شود، یک معیار مهم جهت ارزیابی کارایی الگوریتم مطرح برای شبکه‌های حسگر است [۴]. کاهش مصرف انرژی و تأخیر و افزایش قابلیت اطمینان ازجمله معیارهای مطرح در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. تاکنون روش‌ها و پروتکل‌های زیادی در جهت بهبود کیفیت خدمات مطرح شده است. ولی هنوز نیاز به پژوهش در این زمینه کاملاً احساس می‌شود. در این مقاله الگوریتمی جهت بهبود کیفیت خدمات و افزایش طول عمر شبکه با استفاده از روش سلسله مراتبی پیشنهاد شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است. زمانی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و چند معیار تصمیم‌گیری روبرو است، فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند استفاده شود. اساس این روش تصمیم‌گیری، در مقایسات زوجی نهفته است. به‌منظور انجام مقایسات زوجی، برای هر یک از معیارها جدول جداگانه تشکیل داده و گزینه‌ها یک‌به‌یک مقایسه می‌شوند. برای انتخاب بهترین گزینه با استفاده از مقایسات زوجی چهار فاز به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

۱- تشکیل درخت سلسله مراتبی
۲- انجام مقایسات زوجی
۳- محاسبه وزن‌ها
۴- محاسبه برازندگی

قابل ذکر است که در این الگوریتم از روش سلسله مراتبی برای خوشه‌بندی و انتخاب مسیر مناسب از لحاظ دارا بودن کیفیت خدمات بهتر نسبت به سایر مسیرها استفاده می‌شود. در ضمن جهت اطمینان از ارسال تمامی بسته‌ها به گره چاهک از ارسال مجدد بسته‌های گم‌شده استفاده می‌شود.

۲- کارهای گذشته

در [۵] پروتکل مسیریابی ساده با کوتاه‌ترین زمان و بازده انرژی و تراکم داده‌ای تک‌سطحی ارائه شده است. در این پروتکل از زمان مطلق و انرژی متوسط به‌عنوان دو شاخص مسیریابی استفاده شده است. پروتکل LEO[۳] به جای استفاده از تعداد گام از زمان مطلق استفاده می‌کند ولی آنچه به‌نظر می‌رسد این است که محاسبه زمان مطلق و استفاده از آن امکان کمی داشته و امکان گم شدن بسته‌ها در مسیر موردتوجه قرار نگرفته است. در [۶] یک پروتکل مسیریابی QoS چندمسیره برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با مقیاس بزرگ مطرح شده است که مبتنی بر جداسازی گره‌ها به دو شبکه فرعی است: بخش اول شامل گره‌های ویژه (کنترل‌کننده‌های سلول) است که گاهگاهی در تصمیم‌گیری‌های مسیریابی درگیر هستند، درحالی‌که گره‌های باقی‌مانده در شبکه فرعی دوم همیشه در مسیریابی شرکت می‌کنند. طرح مسیریابی این پروتکل، علاوه بر تأخیر سرهم‌پیوسته و قابلیت اطمینان مسیر، انرژی باقی‌مانده گره‌های ارسال‌کننده را هم مدنظر قرار می‌دهد.

در [۷] یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات ارائه شده است. پروتکل LOCALMOR[۴] از روش چندچاهک و تک‌مسیره برای افزایش قابلیت اطمینان استفاده می‌کند. این روش ابتدا انواع داده را از نظر قابلیت اطمینان، مقدار انرژی باقی‌مانده و تأخیر در گره‌های حسگر مشخص می‌نماید و همچنین از روش پروتکل MAC[۵] و پیغام تصدیق[۶] (ACK) استفاده می‌کند. در این طرح از دو نوع چاهک استفاده می‌شود: چاهک اصلی و چاهک ثانویه. چاهک ثانویه به این جهت استفاده می‌شود که کپی پیغامی که نیاز به قابلیت اطمینان بالایی دارد به آن ارسال شود و همین مورد باعث افزایش تردد و درنتیجه افزایش مصرف انرژی می‌شود.

در [۸] الگوریتمی بنام REER[۷] ارائه شده که به بررسی ارتباطات قابل اعتماد و با انرژی کارآمد در وضعیت غیرقابل‌اعتماد می‌پردازد. این پروتکل تلاش می‌کند یک مسیر با مصرف انرژی مینیمم از گره منبع به گره چاهک پیدا کند. در این الگوریتم به دلیل نادیده گرفتن انرژی باقی‌مانده هر گره، برخی از گره‌ها به‌زودی انرژی خود را از دست می‌دهند که موجب بدتر شدن وضعیت طول عمر شبکه می‌شود. در [۹] الگوریتم SPEED، زمان بلادرنگ نرم را فراهم کرده و سرعت آن گره‌هایی که بالاترین سرعت را در بین گره‌های رله دارند محاسبه می‌کند و سرعت آن گره‌هایی که بزرگ‌تر از یک سرعت معین است، متعادل می‌کند. این طرح‌های مسیریابی انتقال بلادرنگ را با در نظر گرفتن تعداد گام روی مسیر داده انجام می‌دهند. درنتیجه کاهش تعداد

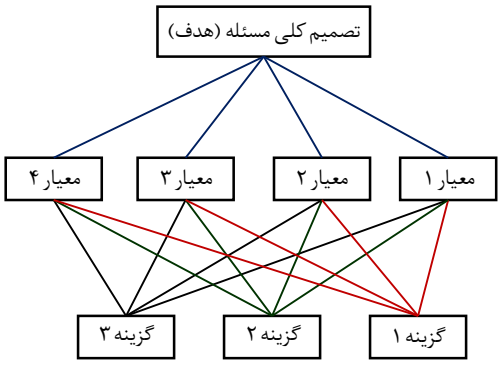
www.SID.ir

Archive of SID

گام از گره منبع به مقصد، یک روش مؤثر برای به دست آوردن یک زمان بلادرنگ در انتقال داده است. بااین‌حال معمولاً نیاز به انتقال قابل‌اطمینان، زمانی‌که انتقال داده بلادرنگ به‌عنوان فاکتور اصلی در طراحی مسیریابی موردتوجه باشد، نادیده گرفته می‌شود.

در [۱۰] یک پروتکل بنام DETR[۸] ارائه شده که موازنه‌ای بین تأخیر و انرژی با ارتباطات قابل‌اعتماد برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که شاخص‌های عملکرد مشترک زمان بلادرنگ، کارآمدی انرژی و قابلیت اطمینان را در نظر می‌گیرد. در پروتکل DETR یک گره که آماده تحویل بسته‌های داده به گره چاهک است، هزینه انرژی، تأخیر و قابلیت اطمینان را با استفاده از اطلاعات محلی به‌دست‌آمده از گره‌های همسایه برآورد می‌کند. کاندید گره گام بعدی از مجموعه گره‌های اولیه‌ای انتخاب می‌شود که سطح انرژی باقی‌مانده بالاتری دارد. این پروتکل به‌منظور بهبود تحویل بسته در زمان بلادرنگ، گرهی با سرعت بالاتر را به‌عنوان گره گام بعدی ممکن انتخاب خواهد کرد. این پروتکل برای وصول به قابلیت اطمینان، مسیری با بهترین قابلیت اطمینان را بدون توجه به حذف بسته‌ها انتخاب می‌کند. در [۱۱] یک پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی بنام HERO[۹] ارائه شده که از جدول مسیریابی و ارتباطات قابل‌اعتماد، کارآمد و چندگام دوطرفه برای مسیریابی استفاده می‌کند. در این پروتکل گره‌های حسگر در دو فاز خوشه‌بندی می‌شوند. در فاز اول گره‌های حسگر، نزدیک‌ترین گره‌های سرخوشه را کشف کرده و در فاز دوم با ارسال پیام به گره سرخوشه و دریافت اجازه از گره سرخوشه، به آن خوشه می‌پیوندند و در فاز سوم با استفاده از نزدیک‌ترین گره همسایه و مواردی که در بالا آمد، مسیریابی انجام می‌دهند. در [۱۲] یک پروتکل مسیریابی آگاه از QoS و بهره‌وری انرژی بنام EEQR[۱۰] برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده که در آن، شبکه خوشه‌بندی شده و برای اطمینان از کیفیت خدمات انواع مختلف ترافیک در شبکه، داده‌ها بر اساس پیام و محتوای آن اولویت‌بندی می‌شوند. برای تأمین بهره‌وری انرژی و نیز حل مشکل تأخیر، ترکیبی از گره‌های چاهک ثابت و سیار برای جمع‌آوری داده استفاده شده است. پیام‌های حساس به تأخیر از گره چاهک ثابت و پیام‌های متحمل به تأخیر از طریق گره چاهک سیار ارسال می‌شوند. در [۱۳] یک پروتکل مسیریابی به نام BERR به‌منظور تعادل انرژی کارآمد و زمان بلادرنگ با ارتباطات قابل‌اعتماد برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است که به عملکرد اشتراکی زمان بلادرنگ، کارآمدی انرژی و قابلیت اطمینان توجه دارد. در پروتکل BERR [۱۳] وقتی یک گره برای انتقال بسته‌های داده به گره مقصد آماده می‌شود، هزینه انرژی، تعداد گام تا گره مقصد و قابلیت اطمینان را با استفاده از اطلاعات محلی به‌دست‌آمده از گره‌های همسایه، برآورد می‌کند. در این پروتکل به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان، روش ارسال مجدد بسته گم‌شده بین دو گره همسایه در نظر گرفته شده است ولی راهکار تشخیص عدم دریافت بسته توسط گره دریافت‌کننده به‌صورت دقیق در این پروتکل ارائه نشده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده و اساسی است که امکان دارد به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود و سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایش سلسله مراتب یک مسئله تصمیم

۳- الگوریتم پیشنهادی

این پروتکل به گره منبع این امکان را می‌دهد که بسته‌های داده را بر اساس میزان انرژی موجود در هر مسیر و طول هر مسیر توزیع نماید. این پروتکل جهت شناسایی مسیرهای مجزا از دو فاز تشکیل شده است. در فاز اول گره چاهک پیام کنترلی در شبکه منتشر کرده و هر گره، موقعیت خود را به گره چاهک اعلام می‌کند. گره چاهک بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده خوشه‌بندی انجام داده و به هر گره سرخوشه، موقعیت گره‌های خوشه را اعلام کرده و از سوی دیگر به هر گره، موقعیت گره سرخوشه مربوطه را اعلام می‌کند. فاز دوم مسیرهای مجزایی بین هر جفت گره سرخوشه و چاهک شناسایی می‌کند. پس از شناسایی مسیرهای موجود، گره منبع نرخ داده‌ای مناسبی را به هر مسیر، بر اساس وزن آن مسیر، انتساب می‌کند. به‌طورکلی می‌توان الگوریتم پیشنهادی را به مراحل زیر تقسیم‌بندی کرد. در شکل ۲ فلوچارت مربوط به الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است.

شبکه موردبررسی در این مقاله دارای خصوصیات و مدل‌های مختلفی بوده و متأثر از عوامل مختلف ازجمله محیط است. مدل شبکه موردمطالعه در این طرح دارای خصوصیات زیر است:

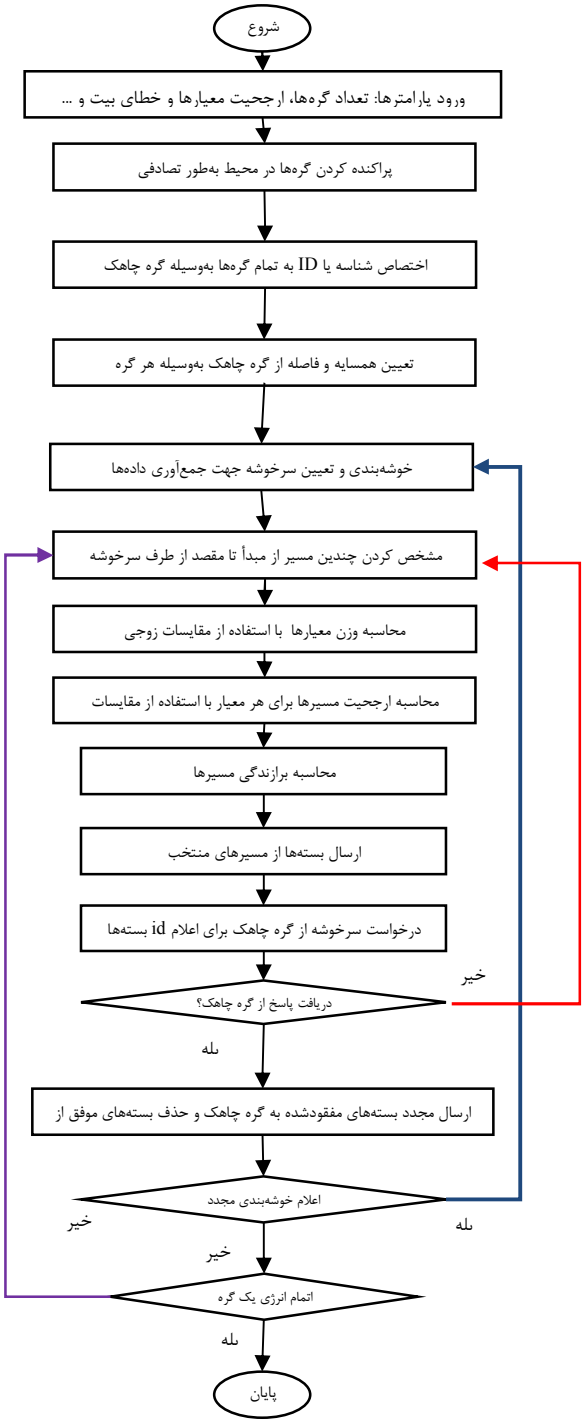
- شبکه با دو مقیاس ۱۰۰×۱۰۰ و ۴۰۰×۴۰۰ و تعداد ۵۰ تا ۱۰۰ و ۴۰۰ تا ۵۰۰ گره در نظر گرفته می‌شود.
- پس از توزیع تصادفی گره‌ها در محیط، تمامی گره‌ها ثابت هستند.
- تمامی گره‌ها از نظر انرژی باتری، حافظه اولیه، برد انتقال، توانمندی پردازشی و ... یکسان هستند.
- گره چاهک با انرژی نامحدود در نظر گرفته شده و در موقعیت (۱۰۰،۱۰۰) و (۴۰۰،۴۰۰) قرار دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

- تمامی گره‌ها از موقعیت خود در شبکه آگاه هستند.

طول عمر شبکه به‌عنوان زمانی تعریف شده که اولین گره در شبکه، توان باتری آن تمام شود.



شکل ۲: فلوچارت مربوط به الگوریتم پیشنهادی

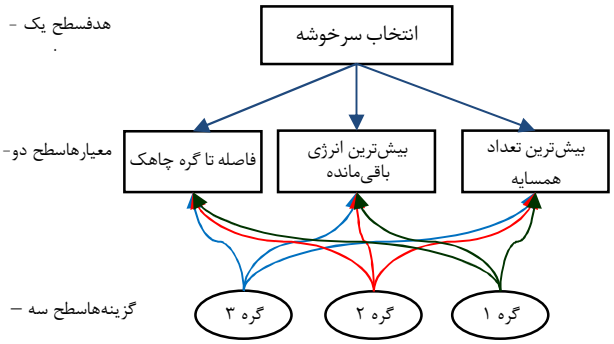
۳-۱- تشریح گام به گام الگوریتم پیشنهادی

۳-۱-۱- تعیین همسایه

هر گره برای تعیین همسایه خود، فاصله خود از گره‌های دیگر را محاسبه کرده و با توجه به برد موردنظر، گره‌های همسایه و تعداد آن‌ها را مشخص می‌کند.

۳-۱-۲- خوشه‌بندی و تعیین سرخوشه

فاز اول: هر گره اطلاعات مربوط به خود ازجمله موقعیت و میزان انرژی باقی‌مانده خود را به گره چاهک ارسال می‌کند. گره چاهک بر روی اطلاعات رسیده از گره‌ها محاسبات لازم را انجام داده و بر اساس بیش‌ترین تعداد همسایه (Nb)، بیش‌ترین انرژی باقی‌مانده (Er) و نیز فاصله تا گره چاهک، سرخوشه و اعضای آن خوشه را تعیین می‌کند. البته در این روش جهت تأثیر مثبت فاصله گره در رابطه (۱)، فاصله هر گره از گره مقصد را از بیش‌ترین فاصله که برابر قطر محیط است، کم کرده و این پارامتر با Ds نشان داده می‌شود. با توجه به مراحل روش سلسله مراتبی، شکل ۳ برای نشان دادن سلسله مراتب انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۳: سلسله مراتب انتخاب سرخوشه

برای تعیین سرخوشه، گره چاهک از مقایسات زوجی استفاده می‌کند به‌طوری‌که از جدول ۱ برای تعیین ارجحیت پارامترها عددی بین ۱ تا ۹ انتخاب کرده و سپس با تشکیل ماتریس با استفاده از جدول ۲ و انجام مراحل روش سلسله مراتبی، ضرایب (m_3 ،m_2 ،m_1) را به دست آورده و در رابطه (۱) وارد می‌کند.

جدول ۱: مبنای مقایسات زوجی

ترجیحات	مقدار عددی
کاملا مطلوب	۹
مطلوبیت خیلی قوی	۷
مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب	۳
یکسان	۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مقایسات زوجی جهت نرمالیزه کردن وزن معیارها برای تعیین سرخوشه

هدف	مقدار ارجحیت تعداد همسایه (f_1)	مقدار ارجحیت انرژی باقی‌مانده (f_2)	مقدار ارجحیت فاصله (f_3)
مقدار ارجحیت تعداد همسایه (f_1)	f_1/f_1	f_1/f_2	f_1/f_3
مقدار ارجحیت انرژی باقی‌مانده (f_2)	f_2/f_1	f_2/f_2	f_2/f_3
مقدار ارجحیت فاصله تا گره چاهک (f_3)	f_3/f_1	f_3/f_2	f_3/f_3

جدول ۳: مقایسات زوجی جهت نرمالیزه کردن بیش‌ترین تعداد همسایه گره‌ها

بیش‌ترین تعداد همسایه	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴
گره ۱	$nod1/nod1$	$nod1/nod2$	$nod1/nod3$	$nod1/nod4$
گره ۲	$nod2/nod1$	$nod2/nod2$	$nod2/nod3$	$nod2/nod4$
گره ۳	$nod3/nod1$	$nod3/nod2$	$nod3/nod3$	$nod3/nod4$
گره ۴	$nod4/nod1$	$nod4/nod2$	$nod4/nod3$	$nod4/nod4$

برای دو معیار دیگر یعنی بیش‌ترین انرژی باقی‌مانده و فاصله تا گره چاهک نیز جدولی مانند جدول ۳ ایجاد کرده و با تشکیل ماتریس برای هر کدام از جدول‌ها و به دست آوردن نتیجه نهایی با استفاده از روش سلسله‌مراتبی برای هر گره، از رابطه (۱) مقدار $W_{clus\text{-}h}$ محاسبه می‌شود.

$$W_{clus\text{-}h} = m_1 * W_{Nb} + m_2 * W_{Er} + m_3 * W_{Ds} \quad (۱)$$

گره چاهک بر اساس بهترین مقادیر به‌دست‌آمده $W_{clus\text{-}h}$، سرخوشه‌ها را تعیین و به تمامی گره‌ها پیام ارسال کرده و به هر گره سرخوشه پیامی مبنی بر سرخوشه بودن و نیز میانگین انرژی گره‌های خوشه و نیز موقعیت گره‌های خوشه را اعلام می‌کند و به هر گره معمولی پیامی مبنی بر اینکه عضو عادی خوشه بوده و نیز موقعیت گره سرخوشه مربوطه را ارسال می‌کند. در اینجا باید این نکته مدنظر باشد که یک سقف برای انرژی باقی‌مانده گره‌های سرخوشه در نظر گرفته شود که این مقدار برابر با ۲۰٪ مقدار اولیه انرژی گره است. بر اساس این شرایط گره سرخوشه اطلاعات را از گره‌های خوشه جمع‌آوری کرده و با حذف افزونگی داده‌ها، بسته‌ها را بر اساس نحوه مسیریابی که ذکر خواهد شد ارسال می‌کند.

فاز دوم: زمانی این فاز شروع می‌شود که گره سرخوشه یکی از شرایط لازم یعنی میانگین انرژی خوشه‌ها و یا سقف انرژی موردنظر را از دست بدهد. در این صورت گره سرخوشه به گره چاهک و تمامی گره‌های خوشه خود توقف ارسال داده را اعلام کرده و از گره چاهک درخواست تعیین سرخوشه جدید می‌کند. در این شرایط گره‌های خوشه این بار مقدار انرژی باقی‌مانده خود را به گره چاهک ارسال می‌کنند. گره چاهک با استفاده از اطلاعات دریافتی و اطلاعات قبلی که در مورد گره‌های خوشه دارد، در مورد تعداد خوشه و سرخوشه یا سرخوشه‌های جدید برای خوشه منحل‌شده تصمیم‌گیری می‌کند. گره چاهک، خوشه منحل‌شده را حداقل به ۱ خوشه و حداکثر به ۳ خوشه جدید تقسیم کرده و بار دیگر به گره‌ها اعلام می‌کند. درصورتی‌که انرژی تمامی گره‌ها کم‌تر از سقف باشد، اولویت با گره‌هایی خواهد بود که بیش‌ترین انرژی باقی‌مانده را دارند.

۳-۱-۳- نحوه تأمین قابلیت اطمینان در صورت عدم ارسال موفق بسته به گره چاهک

جهت اطمینان از ارسال تمامی بسته‌ها به گره چاهک، هر گره سرخوشه ۱۶ بیت از هر بسته داده را به مشخصات ارسال اختصاص می‌دهد به‌طوری‌که ۶ بیت اول مربوط به ID یا شناسه گره سرخوشه فرستنده و ۱۰ بیت دوم مربوط به شماره بسته ارسالی می‌باشد که هر سرخوشه این شماره‌ها را از طریق شمارنده ایجاد کرده و به هر بسته اختصاص می‌دهد. در این شرایط هر گره سرخوشه با ارسال هر ۱۰ بسته، یک پیام به گره چاهک ارسال کرده و شماره بسته‌های دریافتی از این سرخوشه به‌وسیله گره چاهک را از آن درخواست می‌کند.

سرخوشه با دریافت پاسخ از گره چاهک، بسته‌های دریافت‌شده توسط گره چاهک را از بافر خود حذف کرده و بسته‌هایی را که ارسال نشده، دوباره با تعیین چند مسیر از مسیرهای قبلی که بیش‌ترین قابلیت اطمینان را دارند، ارسال می‌کند. در صورت عدم پاسخ گره چاهک، سرخوشه دوباره درخواست خود را تکرار می‌کند این بار در صورت عدم پاسخ گره چاهک، سرخوشه با استفاده از مقایسات زوجی بار دیگر اقدام به تعیین مسیر می‌کند. هر گره سرخوشه تا زمانی‌که از ارسال تمام بسته‌های ارسالی‌اش به گره چاهک اطمینان حاصل نکند، روند بالا را ادامه می‌دهد به‌طوری‌که پیام مربوط به دریافت تمام بسته‌ها را از گره چاهک دریافت کند.

۴-۱-۳- تعیین مسیر

فاز اول: در این فاز مسیرها بر اساس فاصله انتخاب می‌شوند. برای انتخاب مسیرهای اولیه از هر گره سرخوشه به گره چاهک دو معیار در نظر گرفته می‌شود: ۱- همسایه بودن گره بعدی در مسیر ۲- فاصله گره بعدی تا گره چاهک که هر قدر کم‌تر باشد مورد مناسبی برای گره بعدی در مسیر خواهد بود. در این الگوریتم در انتخاب مسیرهای متفاوت اولیه، در هر مسیر *flag* گره‌های مربوطه تغییر می‌یابد تا امکان انتخاب مجدد گره‌ها و ایجاد حلقه در مسیر امکان‌پذیر نباشد.

فاز دوم: این فاز مربوط به مقایسات زوجی مسیرها از لحاظ معیارهای مطرح است. به‌طوری‌که برازندگی تمامی مسیرها محاسبه شده و سپس بر اساس وزن هر مسیر، دو تا از مسیرها که بیش‌ترین وزن

www.SID.ir

Archive of SID

را دارند، انتخاب شده و تعداد ۱۰ بسته داده از این دو مسیر ارسال می‌شود. در هر لحظه از هر مسیر منتخب، یک بسته داده ارسال می‌شود. البته قابل ذکر است که می‌توان برای ارسال هر بسته داده، برازندگی تمامی مسیرها را محاسبه و از مسیر منتخب، بسته داده را ارسال کرد که در آن صورت تعداد محاسبات ده برابر افزایش یافته و موجب افزایش میزان انرژی مصرفی در گره‌ها و تأخیر در شبکه می‌شود.

فاز سوم: این فاز مربوط به تعیین دوباره مسیر با ارجحیت قابلیت اطمینان و ارسال بسته‌های داده‌ای است که به احتمال زیاد به گره چاهک نرسیده‌اند. با توجه به مواردی که در بالا جهت ارسال بسته‌های داده مطرح شد، گره سرخوشه جهت اطلاع از وضعیت بسته‌های ارسالی یک پیام به گره چاهک فرستاده و شماره بسته‌های ارسالی‌اش را درخواست می‌کند. درصورتی‌که گره سرخوشه بعد از ارسال پیام درخواست به گره چاهک، اگر از لحظه ارسال این پیام به گره چاهک ۴ برابر زمان لازم جهت طی یک ضلع محیط گذشته باشد (لازم به‌ذکر است که سرخوشه کوتاه‌ترین مسیر را برای ارسال پیام درخواست استفاده می‌کند) و سرخوشه پیامی از گره چاهک دریافت نکند در این صورت برای بار دوم اقدام به ارسال پیام می‌کند و درصورتی‌که باز بعد از زمان یادشده جوابی از گره چاهک دریافت نکرد، گره سرخوشه دوباره تعیین مسیر می‌کند. در این فاز جهت تعیین دوباره مسیر همانند فاز اول و دوم عمل شده و سپس گره سرخوشه اقدام به ارسال بسته‌های داده‌ای می‌کند که به دلیل عدم دریافت گزارش تحویل، احتمال گم شدن آن‌ها را می‌دهد.

۳-۱-۵- نحوه تأمین کیفیت خدمات الگوریتم پیشنهادی

ازآن‌جاکه توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌طور مداوم در حال تغییر بوده و تداخلات امواج رادیویی نیز باعث گم شدن تعداد زیادی از بسته‌ها می‌شوند، تضمین قابلیت اطمینان در این شبکه‌ها بسیار مشکل است. در شبکه‌های بی‌سیم به دلیل نوع رسانه به‌کاررفته، خطاهای انتقال بسیار بیش‌تر از شبکه‌های سیمی رخ می‌دهند که این می‌تواند ناشی از افت یا نوسان کانال ارتباطی و یا مسائلی دیگر باشد [۱۴]. گروهی از پروتکل‌های مسیریابی، قابلیت اطمینان و تحمل‌پذیری در مقابل خرابی‌ها را با ارسال چندین کپی از داده‌ها بر روی چندین مسیر مجزا بهبود می‌بخشند. اگرچه این روش میزان توان مصرفی را افزایش می‌دهد، اما در هنگام خرابی پیوندها احتمال گم شدن داده‌ها کاهش خواهد یافت. برای حل این مشکل روش‌های مختلفی در جهت کاهش سربار حاصل از ارسال داده‌ها ارائه شده است.

در این پروتکل در هر لحظه تنها از یک مسیر برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود و در صورت خرابی مسیر اصلی، داده‌ها از طریق مسیر پشتیبان ارسال می‌شود. به این ترتیب احتمال گم شدن داده‌ها در اثر خرابی مسیر کاهش می‌یابد.

این پروتکل به گره منبع این امکان را می‌دهد که بسته‌های داده را بر اساس میزان انرژی موجود در هر مسیر و طول هر مسیر توزیع نماید. این پروتکل جهت شناسایی مسیرهای مجزا از دو فاز تشکیل شده است. در فاز اول نوعی پیام کنترلی در شبکه منتشر می‌شود. با انتشار این پیام در شبکه، هر گره از وضعیت گره‌های موجود در همسایگی خود مطلع شده و فاصله خود از گره مقصد و هرکدام از گره‌ها را نیز شناسایی می‌کند. فاز دوم مسیرهای مجزایی بین هر جفت گره منبع و مقصد شناسایی می‌کند. پس از شناسایی مسیرهای موجود، گره منبع نرخ داده مناسبی را به هر مسیر، بر اساس وزن آن مسیر، انتساب می‌کند.

با توجه به کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انتظار می‌رود یک شبکه در درازمدت به عملیات خود ادامه دهد. بنابراین با توجه به منابع انرژی محدود در هر گره، تمرکز اصلی پروتکل‌های مسیریابی بر روی جنبه‌های توزیع متعادل بار است. طرح‌های مسیریابی متعارف، همواره از مجموعه گره‌های خاصی برای ارسال بسته‌ها به سمت گره مقصد استفاده می‌کنند. مشاهده می‌شود که در اینگونه موارد، انرژی گره‌هایی که پیوسته در حال ارسال داده‌ها به سمت گره مقصد هستند، سریع‌تر از سایر گره‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین گره‌های موجود در همسایگی گره‌های مسیر بهینه، پس از گذشت مدت کوتاهی قابل دسترسی نخواهند بود. اگر میزان انرژی مصرفی در تمامی گره‌های موجود در شبکه یکسان باشد میانگین زمان خرابی هر گره افزایش یافته و به این ترتیب طول عمر شبکه افزایش خواهد یافت. بنابراین با توجه به این‌که پروتکل‌های مسیریابی ترافیک شبکه را بر اساس میزان انرژی باقی‌مانده در هر گره بین گره‌های موجود در شبکه تقسیم می‌کنند، می‌توان از این روش برای استفاده یکسان از انرژی موجود در تمامی گره‌های شبکه استفاده کرد.

روش‌های مختلفی جهت تخصیص ترافیک به مسیرها در پروتکل‌های مسیریابی وجود دارد. هنگامی که هدف اصلی در طراحی پروتکل مسیریابی کیفیت خدمات باشد، مسیرهایی انتخاب می‌شوند که در آن‌ها، ترکیب معیارهای موجود، نیازمندی‌های کیفی مور نظر را برآورده می‌سازد.

۳-۱-۶- مسیریابی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

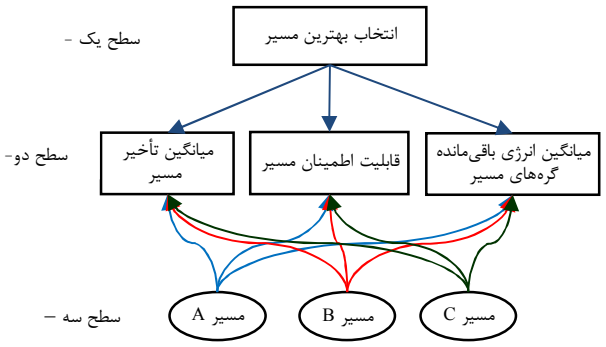
پروتکل پیشنهادی بر اساس ارائه بهترین کیفیت خدمات بوده و یک روش سلسله‌مراتبی است. مسیریابی در این پروتکل دارای چهار فاز به ترتیب زیر می‌باشد:

۱- تشکیل درخت سلسله‌مراتبی
۲- انجام مقایسات زوجی
۳- محاسبه وزن‌ها
۴- محاسبه برازندگی

فاز اول: تشکیل درخت تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP[11]) بر اساس معیارهای کیفیت خدمات بوده و هدف از آن، انتخاب بهترین مسیر بر اساس معیارهای موردنظر است. در فاز اول عواملی که در تصمیم‌گیری مهم هستند در قالب یک درخت تصمیم‌گیری به‌صورت سلسله مراتبی بیان می‌شود و در شکل ۴ نشان داده شده است. هر یک از معیارهای کیفیت خدمات می‌توانند دارای زیرشاخه باشند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: سلسله مراتب انتخاب بهترین مسیر از میان چندین مسیر با کیفیت خدمات متفاوت

فاز دوم: در گام دوم، ماتریس مقایسات زوجی برای هر معیار به‌طور جداگانه تشکیل می‌شود. در روش تحلیل سلسله‌مراتبی گزینه‌ها دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه شده و برای هر معیار با توجه به اولویت آن معیار که می‌تواند کاملاً مطلوب، مطلوبیت خیلی قوی، مطلوبیت قوی، کمی مطلوب یا یکسان باشد، با استفاده از جدول ۱ مقدار عددی مناسب اختصاص داده می‌شود.

به این ترتیب برای هر معیار عددی با توجه به ارجحیت آن عددی بین ۱ تا ۹ انتساب داده می‌شود و نحوه مقایسه به این شکل است که بعد از اختصاص وزن به هریک از آن‌ها دوبه‌دو بر هم تقسیم می‌شوند.

در نظرات شفاهی که برای شاخص‌های کیفی به کار می‌روند، این نکته باید در نظر گرفته شود که اگر n برابر با i بر j باشد، اهمیت j بر i برابر با $\frac{1}{n}$ است. بنابراین در جدول ۴ فقط اگر مقادیر بالای قطر اصلی پر شود، مقادیر زیر قطر اصلی معکوس مقادیر بالای قطر خواهد بود به عبارت دیگر $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$.

در مورد محاسبه وزن معیارها، بر اساس جدول ۱ ارجحیت معیارها تعیین و مقایسات زوجی به‌صورت جدول ۴ ارائه می‌شود.

جدول ۴: مقایسات زوجی جهت نرمالیزه کردن وزن معیارهای کیفیت خدمات

هدف	مقدار ارجحیت انرژی (E)	مقدار ارجحیت قابلیت اطمینان (R)	مقدار ارجحیت تأخیر (D)
مقدار ارجحیت میانگین انرژی (E)	E/E	E/R	E/D
مقدار ارجحیت قابلیت اطمینان (R)	R/E	R/R	R/D
مقدار ارجحیت میانگین تأخیر (D)	D/E	D/R	D/D

حال اگر قابلیت اطمینان مدنظر باشد، جدول ۵ مربوط به مقایسات زوجی مسیرهای تعیین شده است که در مورد انرژی مصرفی و تأخیر نیز به همین صورت عمل می‌شود.

جدول ۵: مقایسات زوجی جهت نرمالیزه کردن قابلیت اطمینان مسیرها

قابلیت اطمینان مسیر	مسیر A	مسیر B	مسیر C	مسیر D
مسیر A	R_A/R_A	R_A/R_B	R_A/R_C	R_A/R_D
مسیر B	R_B/R_A	R_B/R_B	R_B/R_C	R_B/R_D
مسیر C	R_C/R_A	R_C/R_B	R_C/R_C	R_C/R_D
مسیر D	R_D/R_A	R_D/R_B	R_D/R_C	R_D/R_D

برای هر یک از معیارهای کیفیت خدمات به‌طور جداگانه جدول ۵ تشکیل شده و برای هر کدام، وزن‌ها محاسبه می‌شود. برای تأثیر مثبت میانگین تأخیر در محاسبات به جای استفاده از فاصله بین هر دو گره همسایه، فاصله هر دو گره همسایه و متوالی در طول مسیر را از حداکثر برد هر گره کم کرده و بدین ترتیب در محاسبات فاصله‌های کم‌تر، مقدار بیش‌تری داشته و این رابطه عکس، موجب تبدیل تأثیر منفی به تأثیر مثبت می‌شود.

فاز سوم: محاسبه وزن‌ها

- ابتدا حاصل‌جمع هر ستون محاسبه می‌شود.
- هر عنصر در ماتریس زوجی به جمع ستون خودش تقسیم می‌شود تا ماتریس زوجی نرمالیزه شود.
- سپس حاصل‌جمع هر سطر حساب می‌شود.

ماتریس‌ها را برای هریک از معیارهای کیفیت خدمات (انرژی، قابلیت اطمینان و تأخیر) تشکیل داده و وزن مسیر نسبت به آن معیار محاسبه می‌شود که این همان وزن نهایی هر یک از کیفیت خدمات است.

فاز چهارم: برازندگی مسیرها محاسبه می‌شود و هرکدام که بهتر بود از همان مسیر بسته ارسال می‌شود.

برازندگی هر مسیر = $\sum$ (وزن آن معیار × وزن مسیر نسبت به آن معیار)

به ازای هر معیار

بنابراین اگر یک ماتریس بنام K بر اساس جدول ۴ تعریف کرده و همان‌طور که در بالا آمده نرمالیزه شده و جواب‌ها محاسبه شود در این صورت وزن هر معیار به دست می‌آید که درنهایت رابطه (۲) برازندگی هر مسیر را بر اساس معیارهای کیفیت خدمات نشان می‌دهد.

$$W_{QoS}(i) = WE(i) * K_E + WR(i) * K_R + WD(i) * K_D \quad (۲)$$

در این الگوریتم فرض شده که تمامی گره‌ها ثابت و دارای شناسه منحصربه‌فرد هستند. در طول مسیر هرگاه گرهی بسته‌ای را ارسال یا دریافت نماید گره ارسال‌کننده و دریافت‌کننده انرژی از دست خواهند داد که از رابطه‌های (۳)، (۴)، (۵) [۱۵] و (۶) استفاده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$E(resive) = _size \times Eel \quad (۳)$$

$$E(sen _size \quad 1,k)^2 \quad (۴)$$

$$E(transmit) = _size \times Eelect + * \; Paket_{size} \times Dis \quad 1,k)^2 \quad (۵)$$

$$Distance(k+1,k) = \|(x_{k+1} \; y_{k+1}) + (x_k \; y_{k+1})\| \quad (۶)$$

مقادیر E_{amp} و E_{elect} در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: انرژی ارسالی و دریافتی

E_{amp}	۰٫۰۰۱۳×۱۰^(-۱۲)
E_{elect}	۵۰×۱۰^(-۹)
k+1	گره k+۱ ام

۴- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت معیارهای بهره‌وری انرژی، قابلیت اطمینان یا نرخ تحویل بسته و میانگین تأخیر، جهت مقایسه و ارزیابی عملکرد پروتکل مطرح‌شده با الگوریتم BERR [۱۳] در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه داده‌های موجود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم گاهی حساس به قابلیت اطمینان، انرژی و یا تأخیر هستند، بنابراین جهت ارزیابی مسیرها و انتخاب بهترین مسیر مبتنی بر معیارهای کیفیت خدمات از رابطه (۲) استفاده می‌شود. جهت شبیه‌سازی ابتدا اولویت‌های موردنظر را با توجه به اهمیت معیار وارد کرده و سپس ضریب یا برازندگی مربوط به وزن مسیرها همان‌طور که ذکر شد بر اساس مقایسات زوجی، از لحاظ انرژی، قابلیت اطمینان و تأخیر محاسبه می‌شود.

جهت به دست آوردن وزن نرمالیزه مسیرها، ابتدا بر اساس مدل‌های ارائه‌شده انرژی مصرفی، قابلیت اطمینان و تأخیر هر مسیر را محاسبه کرده و سپس از طریق مقایسات زوجی موجود در روش AHP وزن مسیرها از لحاظ هر معیار نرمالیزه و در ضرایب مدل مطرح‌شده ضرب و با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از رابطه (۲)، بهترین مسیر مبتنی بر معیارها انتخاب می‌شود.

برای محاسبه قابلیت اطمینان مسیر و به دست آوردن نرخ تحویل بسته که گویای قابلیت اطمینان بالا و یا پایین در مسیر است ابتدا با استفاده از رابطه (۱۰) از [۱۳] نرخ خطای بسته در هر پیوند را به دست آورده و سپس از رابطه (۹) احتمال موفقیت ارسال هر بسته در هر پیوند محاسبه می‌شود.

برای محاسبه احتمال موفقیت ارسال بسته در یک مسیر منتهی به گره چاهک از رابطه (۸) استفاده می‌شود و دلیل آن هم این است که احتمال موفقیت در هر پیوند مستقل از سایر پیوندها است، بنابراین جهت به‌دست آوردن احتمال موفقیت ارسال یک بسته، احتمال موفقیت در هر پیوند در یکدیگر ضرب می‌شوند. در رابطه (۷) [۱۱] نشان داده شده که برای ارسال موفقیت‌آمیز بسته‌ها از ارسال مجدد استفاده می‌شود که از همان مسیر و یا سایر مسیرها نیز می‌تواند استفاده شود. اگر P_{send}-۱ عدم موفقیت در ارسال یک بسته در یک مسیر را نشان دهد رابطه (۷) با تعداد R تلاش مجدد تا زمانی‌که گره چاهک دریافت بسته را اعلام نکرده است، به ارسال ادامه می‌دهد.

در این روش سرخوشه با ارسال هر ۱۰ بسته به گره چاهک، یک پیام به گره چاهک فرستاده و درخواست ارسال شماره بسته‌های دریافت کرده از این سرخوشه را می‌کند و از این طریق بسته‌های موردنظر جهت ارسال مجدد را شناسایی کرده و بسته‌هایی را که با موفقیت ارسال شده‌اند را از بافر خود حذف می‌کند.

$$P_{succ} = 1 - (1 - P_{send})^R \quad (۷)$$

$$P_{send} = \prod_{i=node_source}^{j=node_nb} P_{ij} \quad (۸)$$

P_{ij}: احتمال ارسال موفق بسته از گره i به گره همسایه‌اش j

PR_{ij}: نرخ خطای بسته از گره i به گره همسایه‌اش j

P_{send}: احتمال ارسال موفق از گره منبع به گره مقصد بدون ارسال مجدد

P_{succ}: احتمال ارسال موفق از گره منبع به گره مقصد با ارسال مجدد

R: تعداد تلاش‌ها برای ارسال مجدد بسته

$$P_{ij} = 1 - PR_{ij} \quad (۹)$$

$$PR_{ij} = 1 - (1 - e_{ij})^l \quad (۱۰)$$

l: طول بسته و $e_{i,j}$: نرخ خطای بیت

اگر مسیری با قابلیت اطمینان بالا یافت نشد در این صورت بسته از چند مسیر (با شرایط قابلیت اطمینان بهتر نسبت به سایر مسیرها) به طرف گره چاهک ارسال می‌شود که در این صورت احتمال ارسال موفق بسیار بالا خواهد بود. میانگین نرخ تحویل بسته، به‌صورت نسبت تحویل تعداد بسته‌های دریافت شده توسط گره چاهک به گره‌هایی که توسط گره منبع تولید شده است، محاسبه می‌شود.

بهره‌وری انرژی به‌صورت نسبت کل انرژی مصرف‌شده به‌وسیله همه گره‌ها به تعداد بسته‌های دریافت شده توسط گره چاهک اندازه‌گیری می‌شود [۱۶] که در رابطه (۱۲) نشان داده شده است. در [۱۳] برای محاسبه بهره‌وری انرژی در هر پیوند از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود بدین صورت که هر چه انرژی باقی‌مانده گره زیاد بوده و انرژی موردنیاز پیوند برای ارسال کم‌تر باشد بهره‌وری انرژی در گره بیش‌تر می‌شود. بهره‌وری انرژی در هر پروتکل به‌صورت نسبت کل انرژی مصرف‌شده در گره‌ها بر تعداد بسته‌های دریافت‌شده توسط گره چاهک است که بر این اساس هر قدر مقدار به‌دست‌آمده از این نسبت کم‌تر باشد الگوریتم مدنظر نسبت به تعداد بسته‌ها، انرژی کم‌تری مصرف کرده و بهره‌وری انرژی بهتری دارد.

$$E_{cons(i)} = E_{(i)} - E_{res(i)} \quad (۱۱)$$

$$E_{eff} = \frac{E_{cons}}{N_{Pack}} \quad (۱۲)$$

$$E_e(i) = \frac{E_{res(i)}}{E_{link(i,j)}} = \frac{E_{res(i)}(1 - p_{i,j})}{E_{i,j}} \quad (۱۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$E_{(i)}$: انرژی اولیه گره i

$E_{cons(i)}$: انرژی مصرف‌شده گره i

$E_{res(i)}$: انرژی باقی‌مانده گره i

E_{eff}: بهره‌وری انرژی کل شبکه

E_{cons}: کل انرژی مصرف‌شده در گره‌ها

N_{Pack}: کل تعداد بسته‌های دریافت‌شده توسط گره چاهک

$E_{e(i)}$: بهره‌وری انرژی گره i

$E_{link(i,j)}$: انرژی موردنیاز برای انتقال مطمئن یک بسته از طریق پیوند (i,j)

$E_{i,j}$: انرژی لازم برای ارسال یک بسته از گره i به گره j بر روی پیوند (i,j)

میانگین تأخیر، میانگین زمان موردنیاز برای انتقال یک بسته داده از گره منبع به گره چاهک است [۱۷]. برای محاسبه تأخیر با مطالعاتی که در این زمینه و بر روی پروتکل‌های معتبر صورت گرفته، نتیجه گرفته می‌شود که تأخیر بسته در مسیر را می‌توان به‌صورت مجموع تأخیر بسته در هر پیوند و توقف و محاسبات در هر گره محاسبه کرد که با محاسبه تأخیر مسیرها و سپس به دست آوردن مجموع و میانگین آن می‌توان میانگین تأخیر در شبکه را با استفاده از رابطه (۱۴) [۱۸] به دست آورد.

$$\mathrm{Delay}(p(v_s,v_d)) = \sum_{v\epsilon P(v_s,v_d)} \mathrm{Delay}(v) + \sum_{e\epsilon P(v_s,v_d)} \mathrm{Delay}(e) \quad (۱۴)$$

طول عمر شبکه کم‌ترین زمان ممکن برای از دست دادن انرژی توسط حداقل یک گره در شبکه است [۱۹]. بنابراین انتخاب مسیرهای متفاوت برحسب انرژی باقی‌مانده گره‌ها در طی مسیریابی، موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود.

در این مقاله از پارامترهای ارائه‌شده در جدول ۷ برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

جدول ۷: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترها	مقدار
تعداد گره	۵۰-۱۰۰ و ۴۰۰-۵۰۰
اندازه بسته	۱۲۸B
اندازه محیط شبیه‌سازی‌شده	۱۰۰×۱۰۰ m^2 و ۴۰۰×۴۰۰m^2
برد هر گره	۳۰ m و ۵۵ m
مدل و نرخ ترافیک مسیر	CBR (4Kbyte/sec)
انرژی اولیه هر گره	۱J و 5J
موقعیت گره چاهک	(۱۰۰,۱۰۰) و (۴۰۰,۴۰۰)
پهنای باند	۲۰۰Kbps
تعداد شبیه‌سازی	۳۰ مرتبه برای هر آزمایش

در این قسمت جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی نمودارهایی ارائه می‌شود که رفتار این الگوریتم نسبت به رفتار الگوریتم BERR [۱۳] و با در نظر گرفتن چهار سناریوی ارائه‌شده در جدول ۸ موردبررسی قرار می‌گیرد. جهت شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از Matlab استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی بهره‌وری انرژی بهتری دارد چون مصرف انرژی نسبت به الگوریتم‌های قبلی بهینه است و موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود. این الگوریتم مسیرهای کوتاه را با توجه به معیارهای مطرح‌شده انتخاب کرده و از ارسال مجدد بسته‌های گم‌شده استفاده می‌کند بنابراین میانگین تأخیر کم‌تری داشته و قابلیت اطمینان بالایی دارد.

جدول ۸: چهار سناریو برای شبیه‌سازی الگوریتم

سناریوی اول		سناریوی دوم	
مقدار	پارامترها	مقدار	پارامترها
۵۰-۱۰۰	تعداد گره	۵۰-۱۰۰	تعداد گره
۱۰۰×۱۰۰m^2	اندازه محیط شبیه‌سازی‌شده	۱۰۰×۱۰۰m^2	اندازه محیط شبیه‌سازی‌شده
(۱۰۰,۱۰۰)	موقعیت چاهک	(۱۰۰,۱۰۰)	موقعیت چاهک
ارجحیت انرژی بالا ارجحیت تأخیر پایین		ارجحیت انرژی پایین ارجحیت تأخیر بالا	
سناریوی سوم		**سناریوی چهارم**	
۴۰۰-۵۰۰	تعداد گره	۴۰۰-۵۰۰	تعداد گره
۴۰۰×۴۰۰m^2	اندازه محیط شبیه‌سازی‌شده	۴۰۰×۴۰۰m^2	اندازه محیط شبیه‌سازی‌شده
(۴۰۰,۴۰۰)	موقعیت چاهک	(۴۰۰,۴۰۰)	موقعیت چاهک
ارجحیت انرژی بالا ارجحیت تأخیر پایین		ارجحیت انرژی پایین ارجحیت تأخیر بالا	

برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی و BERR [۱۳] از رایانه با مشخصات Intel® Core™ i7-2630QM 2.00 GHz CPU و رم با مشخصات RAM 6GB استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی نسبت به BERR [۱۳] نیاز به محاسبات بیش‌تری داشته و می‌توان گفت در حدود ۸٪ پیچیدگی زمانی بیش‌تری دارد.

۴-۱- بهره‌وری انرژی

این الگوریتم به دلیل استفاده از خوشه‌بندی جهت جمع‌آوری اطلاعات و نیز استفاده از یک روش کنترل انرژی در گره‌ها و تعیین مسیر بر اساس اولویت‌ها، کم‌ترین تخلیه باتری داشته و تخلیه انرژی آن به‌آرامی انجام می‌گیرد که درنتیجه موجب بهبود بهره‌وری انرژی می‌شود. این پروتکل اطلاعات انرژی گره‌ها را موردتوجه قرار داده و انرژی مسیرها را از طریق محاسبه مصرف انرژی تمامی گره‌های موجود در مسیر به دست آورده و بر اساس روشی که در این الگوریتم ارائه شده، بهترین مسیر را انتخاب می‌کند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی و نمودارهای به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود پروتکل پیشنهادی تقریباً ۵۵٪ در محیط ۱۰۰×۱۰۰ و تقریباً ۴۵٪ در محیط ۴۰۰×۴۰۰ بهتر از پروتکل BERR [۱۳] عمل می‌کند که در شکل ۵ نشان داده شده است. در پروتکل BERR [۱۳] نیز بهبود بهره‌وری انرژی به وسیله تعادل مصرف انرژی میان گره‌ها صورت می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

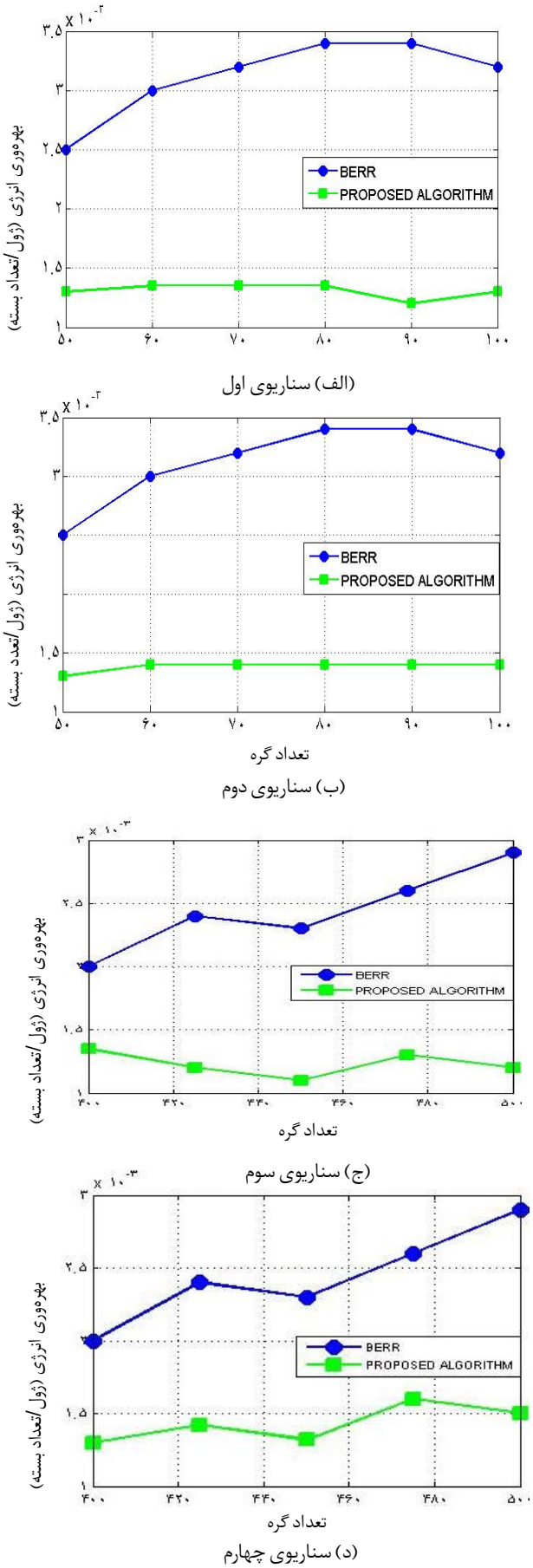
۴-۲- نرخ تحویل بسته

در این الگوریتم هر گره سرخوشه با ارسال هر ۱۰ بسته یک پیام به گره چاهک ارسال می‌کند و گزارش مربوط به دریافت بسته‌ها را درخواست می‌کند. درصورتی‌که گره چاهک جواب پیام را بدهد گره سرخوشه با استفاده از آن بسته‌هایی را که تحویل گره چاهک شده از بافر خود حذف می‌کند و بسته‌های گم‌شده را دوباره ارسال می‌کند. ولی درصورتی‌که گره چاهک جواب ندهد دوباره یک پیام به گره چاهک ارسال کرده و درخواست گزارش می‌کند و اگر باز بعد از مدتی که برابر زمان لازم برای طی یک بسته به اندازه دو برابر ضلع محیط است، از گره چاهک پیامی دریافت نکند دوباره تمامی بسته‌ها را به گره چاهک ارسال می‌کند. ازاین‌جهت گره‌های سرخوشه نسبت به ارسال بسته‌های گم‌شده همان‌گونه که قبلاً بیان شد اقدام می‌کنند و به همین دلیل نرخ دریافت گره‌ها تقریباً برابر ۱ می‌شود.

الگوریتم پیشنهادی به دلیل اینکه ارسال مجدد بسته‌های گم‌شده را از مسیرهای پشتیبان به کار می‌گیرد بنابراین قابلیت اطمینان الگوریتم پیشنهادی و نرخ تحویل بسته برابر یک خواهد بود. میانگین نرخ تحویل بسته به‌صورت نسبت دریافت تعداد بسته‌های دریافت‌شده توسط گره چاهک به بسته‌های تولیدشده توسط گره منبع است. پروتکل BERR [۱۳] نیز از معیار ارسال مجدد بین هر دو گره همسایه استفاده می‌کند. ازآنجایی‌که نمودار مربوط به نرخ تحویل بسته برای هر دو یکسان و تقریباً برابر یک است به همین جهت در این قسمت آورده نشده است.

۴-۳- میانگین تأخیر

الگوریتم ارائه‌شده جهت مسیریابی، فاصله گره‌ها تا گره چاهک را موردتوجه دارد. به‌طوری‌که هر گره برای انتخاب گره بعدی در مسیر، فاصله گره همسایه تا گره چاهک را مدنظر قرار می‌دهد؛ و چون این شرایط را موردتوجه دارد از مسیر کوتاه استفاده می‌کند. در این الگوریتم چون تعداد گره‌ها در یک محیط ثابت ۴۰۰×۴۰۰ رفته‌رفته افزایش می‌یابد بنابراین امکان انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر بیش‌تر شده و با توجه به این مورد میانگین تأخیر با افزایش نسبی تعداد گره‌ها کم‌تر شده است. این الگوریتم تعداد گام‌های کم‌تری داشته و تقریباً ۵۰٪ در محیط ۱۰۰×۱۰۰ و تقریباً ۳۰٪ در محیط ۴۰۰×۴۰۰ میانگین تأخیر بهتری نسبت به پروتکل BERR [۱۳] دارد. پروتکل BERR از اطلاعات تعداد گام هر گره تا گره چاهک استفاده می‌کند. عملکرد الگوریتم پیشنهادی با توجه به سناریوهای مطرح‌شده در شکل ۶ نشان داده می‌شود.



(الف) سناریوی اول

(ب) سناریوی دوم

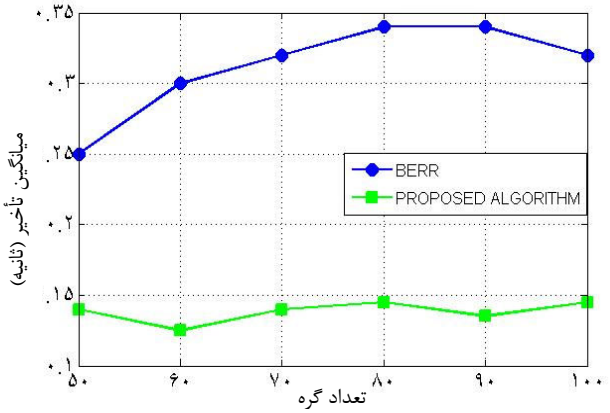
(ج) سناریوی سوم

(د) سناریوی چهارم

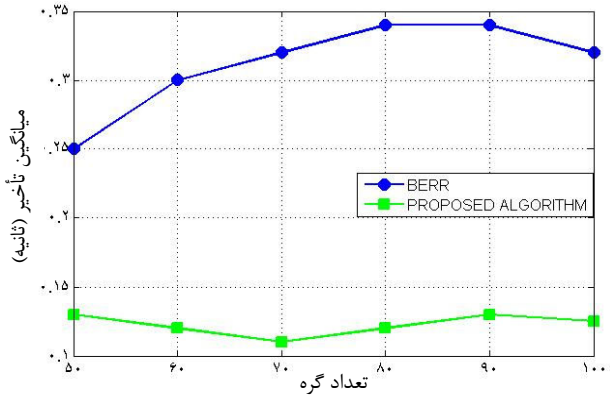
شکل ۵: مقایسه بهره‌وری انرژی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم **BERR** در چهار سناریو

www.SID.ir

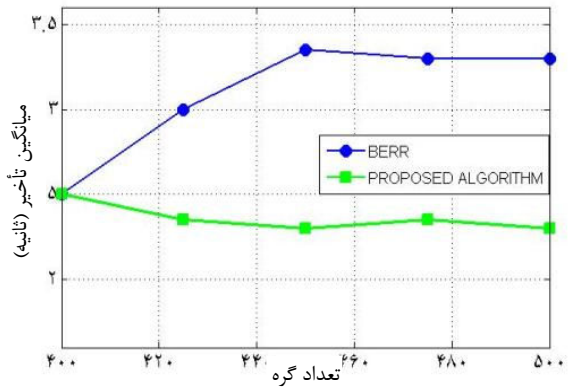
Archive of SID



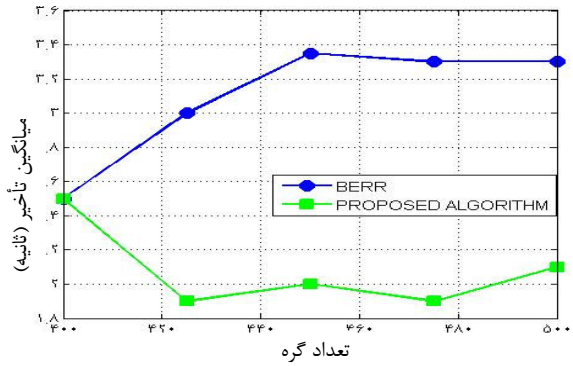
(الف) سناریوی اول



(ب) سناریوی دوم



(ج) سناریوی سوم

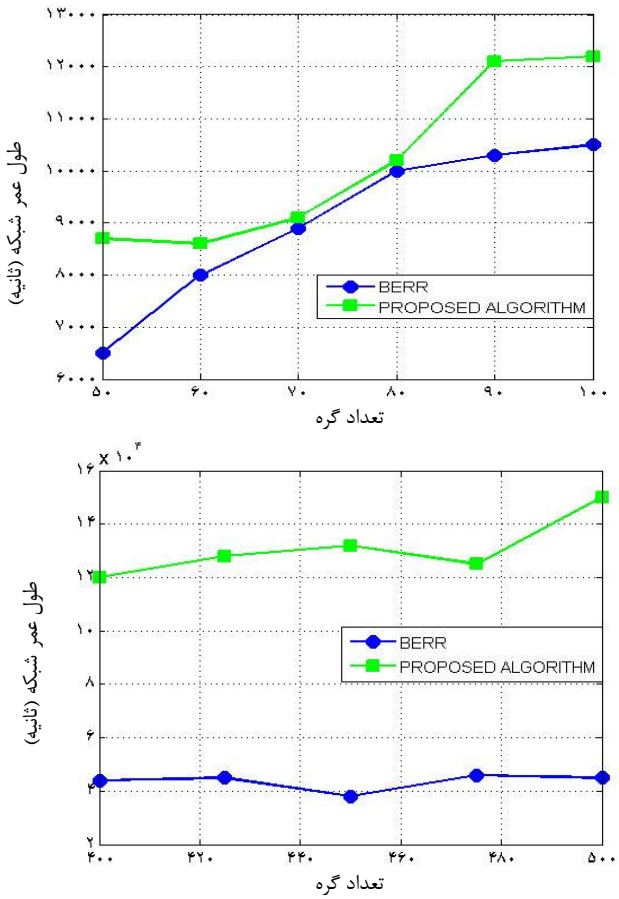


(د) سناریوی چهارم

شکل ۶: مقایسه میانگین تأخیر الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم **BERR** در چهار سناریو

۴-۴- طول عمر شبکه

در الگوریتم پیشنهادی با استفاده از خوشه‌بندی و اولویت‌دهی به هر یک از معیارهای کیفیت خدمات، مسیرهای بهینه انتخاب شده و بسته‌ها از این مسیرها ارسال می‌شوند. طول عمر شبکه یکی از مهم‌ترین چالش‌ها بوده و همیشه سعی بر آن است که بتوان طول عمر شبکه را افزایش داد. در الگوریتم پیشنهادی به‌دلیل خوشه‌بندی و مدنظر قرار دادن انرژی باقی‌مانده گره‌ها، مسیرهای بهینه را انتخاب کرده که موجب تعادل ترافیک و تعادل مصرف انرژی در کل شبکه می‌شود. در پروتکل BERR [۱۳] طولانی کردن طول عمر شبکه با متعادل کردن مصرف انرژی است. BERR در زمان انتقال یک بسته داده از گره جاری به گره چاهک، بهره‌وری انرژی فرستنده و انرژی همسایه را مورد توجه دارد. الگوریتم پیشنهادی در محیط ۱۰۰×۱۰۰ تقریباً ۸٪ و در محیط ۴۰۰×۴۰۰ تقریباً ۱۶۰٪ طول عمر بهتری نسبت به الگوریتم BERR دارد که در شکل ۷ نشان داده شده است. استفاده از خوشه‌بندی در الگوریتم پیشنهادی و انتخاب سرخوشه با توجه به انرژی باقی‌مانده بیش‌تر موجب می‌شود که گره‌های با انرژی کم‌تر در ارسال بسته، کم‌تر دخیل باشند و این موضوع عامل مهمی در جهت افزایش طول عمر شبکه است.



شکل ۷: مقایسه طول عمر الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم **BERR** در دو مقیاس

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

بدون شک یکی از مهم‌ترین مشکلات شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدودیت منابع انرژی است. کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شدیداً به طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای آن‌ها وابسته است. از طرفی توازن ترافیک در شبکه به دلیل بررسی انرژی گره‌های درگیر در هر مسیر موجب افزایش طول عمر شبکه شده و قابلیت اطمینان بالای مسیرها نیز در مسیریابی و تأمین کیفیت خدمات بهتر در این نوع شبکه‌ها حائز اهمیت است.

بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در خصوص این شبکه‌ها، مسیریابی بر اساس معیارهای کیفیت خدمات است. هرکدام از پروتکل‌های مطالعه‌شده تنها به بهبود چند معیار از موارد کیفیت خدمات پرداخته‌اند. در این مقاله یک پروتکل مسیریابی برای شبکه حسگر بی‌سیم معرفی شده است که مبتنی بر الگوریتم انتخاب چندمعیاره بوده و از خوشه‌بندی جهت جمع‌آوری اطلاعات استفاده می‌کند.

با استفاده از مدل‌های ارائه‌شده، مقادیر معیارها در هر مسیر به دست آمده و سپس از طریق مقایسات زوجی، نرمالیزه کردن اولویت‌ها و مقادیر معیارهای مسیرها انجام می‌گیرد و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که این پروتکل بهره‌وری انرژی، طول عمر شبکه و میانگین تأخیر را بهبود داده است. در این روش در ارسال هر بسته از داده‌ها تمامی معیارها با استفاده از پارامترهای به‌روز شده، محاسبه شده و با به‌کارگیری روش پیشنهادی، بهترین مسیر از لحاظ تأمین کیفیت خدمات مورد انتظار انتخاب می‌شود. در این راستا قابلیت اطمینان، انرژی و تأخیر مسیرها محاسبه شده و مسیری با مقدار برازندگی بالا انتخاب می‌شود. زمانی‌که مسیرهای موردبررسی قابلیت اطمینان موردنظر را نتوانند تأمین کنند و بسته‌های ارسالی از گره منبع به گره چاهک نرسند، گره چاهک درخواست ارسال مجدد بسته‌ها را از گره منبع می‌کند و بسته‌ها از مسیر پشتیبان ارسال می‌شوند و تا زمانی‌که بسته به گره چاهک نرسیده، درخواست‌ها از طرف گره چاهک تکرار می‌شود و به این دلیل نرخ تحویل بسته‌ها در گره چاهک برابر یک است.

همچنین برای افزایش طول عمر شبکه، مصرف انرژی در تمام گره‌های حسگر متوازن شده و از مصرف نامتعادل انرژی در زیرمجموعه‌ای از گره‌ها خودداری می‌شود. همچنین در این الگوریتم برای کاهش تأخیر از کوتاه‌ترین مسیرها با توجه به تأمین سایر معیارهای کیفیت استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل با نتایج پروتکل BERR [۱۳] مقایسه شده است. استفاده از یک گره چاهک در مقیاس بزرگ شبکه و گره‌های ثابت در برخی شرایط می‌تواند از معایب این الگوریتم باشد.

کارهای آتی

۱. استفاده از گره‌های حسگر متحرک جهت حرکت در محیط و پوشش تمامی نقاط
۲. ناحیه‌بندی محیط و پراکنده کردن گره‌ها در محیط با استفاده از چند توزیع متفاوت با توجه به شرایط هر ناحیه
۳. استفاده از چند گره چاهک متحرک که با الگو گیری از محیط در بهترین موقعیت قرار بگیرند.
۴. ترکیب الگوریتم چندمعیاره و BERR [۱۳] در محیط‌های چندچاهکی.

مراجع

[1] J. You, Q. Han, D. Lieckfeldt, J. Salzmann, and D. Timmermann, "Virtual position based geographic routing for wireless sensor networks," Journal of Computer Communications, vol. 33, no. 11, pp. 1255-1265, 2010.

[2] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS support in wireless sensor networks: a survey," in International Conference on Wireless Networks, vol. 13244, pp. 227-233, 2004.

[3] F. Xia, "QoS challenges and opportunities in wireless sensor/actuator networks," Journal of Sensors, vol. 8, no. 2, pp. 1099-1110, 2008.

[۴] رضا رافع و فرشته خدادادی، «ارائه یک الگوریتم شناسایی گره‌های کپی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک انتشارات محلی و کانال‌های کرم‌چاله قانونی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۴، شماره ۴، صفحه ۲۹، زمستان ۹۳.

[5] S. Misra and P. D. Thomasinous, "A simple, least-time, and energy-efficient routing protocol with one-level data aggregation for wireless sensor networks," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, no. 5, pp. 852-860, 2010.

[6] T. Houngbadji, and S. Pierre, "QoSNET: An integrated QoS network for routing protocols in large scale wireless sensor networks," *Journal of Computer Communications*, vol. 33, no. 11, pp. 1334-1342, 2010.

[7] D. Djenouri, and I. Balasingham, "Traffic-differentiation-based modular qos localized routing for wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 6, pp. 797-809, 2011.

[8] X.Y. Li, Y. Wang, H. Chen, X. Chu, Y. Wu, and Y. Qi, "Reliable and energy-efficient routing for static wireless ad hoc networks with unreliable links," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 20, no. 10, pp. 1408-1421, 2009.

[9] T. He, J.A. Stankovic, C. Lu, and T. Abdelzaher, "SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks," *23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, pp. 46-55, 2003.

[10] L. Zhixin, D. Lili, X. Liang, G. Xinping, and H. Changchun, "Reliability considered routing protocol in wireless sensor networks," *30th Chinese Control Conference (CCC)*, pp. 5011-5016, 2011.

[11] E. Cañete, M. Díaz, L. Llopis, and B. Rubio, "HERO: A hierarchical, efficient and reliable routing protocol for wireless sensor and actor networks," *Journal of Computer Communications*, vol. 35, no. 11, pp. 1392-1409, 2012.

[12] B. Nazir, and H. Hasbullah, "Energy efficient and QoS aware routing protocol for clustered wireless sensor network," *Journal of Computers and Electrical Engineering*, vol. 39, no. 8, pp. 2425-2441, 2013.

[13] Z.X. Liu, L.L. Dai, K. Ma, and X.P. Guan, "Balance energy-efficient and real-time with reliable communication protocol for wireless sensor network,"

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of China Universities of Posts and Telecommunications/Elsevier, vol. 20, no. 1, pp. 37-46, 2013.

[۱۴] شهرام جمالی و توفان سماپور، «کنترل ازدحام مبتنی بر تخمین در شبکه‌های موردی بی‌سیم»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۳، شماره ۱، صفحه ۲، سال ۹۲.

[15] D. Wang, B. Xie and D.P. Agrawal," Coverage and lifetime optimization of wireless sensor networks with Gaussian distribution," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, no. 12, pp. 1444-1458, 2008.

[16] M.A. Razzaque, and C.S. Hong, "Load and energy balanced geographic routing for sensor networks," *10th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 1419-1422, 2008.

[17] E. Felemban, C.G. Lee, and E. Ekici, "MMSPEED: multipath Multi-SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no. 6, pp. 738-754, 2006.

[18] M. Liu, S. Xu, and S. Sun, "An agent-assisted QoS-based routing algorithm for wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, no. 1, pp. 29-36, 2012.

[19] J.H. Chang, and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 12, no. 4, pp. 609-619, 2004.

زیرنویس‌ها

[1] quality of service

[2] balance energy-efficient and real-time with reliable communication

[3] Simple Least-Time Energy- Efficient Routing Protocol with One-Level Data Aggregation

[4] Localized Multi objectives Routing

[5] Medium Access Control

[6] Acknowledgment

[7] Reliable and Energy-Efficient Routing

[8] delay-energy tradeoff with reliable communication

[9] Hierarchical, Efficient and Reliable routing

[10] Energy Efficient and QoS aware Routing

[11] Analytical Hierarchy process

www.SID.ir