مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات

جلد ۵، شماره ۳، پاییز سال ۱۳۹۵ شاپا: ۲۳۸۳-۱۰۰۶

یک پروتکل جدید برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

علی غفاری*

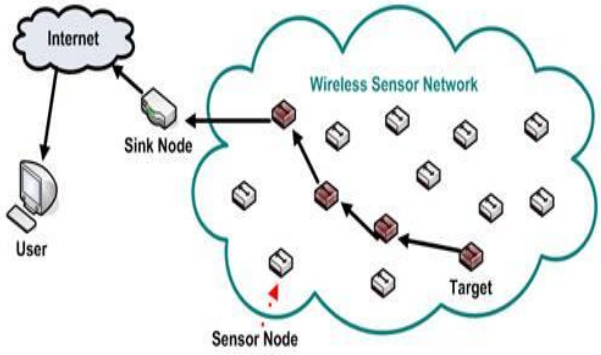
* نویسنده مسئول: گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، A.Ghaffari@iaut.ac.ir

چکیده- با توجه به محدودیت‌های ذاتی و تعداد گره‌های توزیع شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تعداد بسته‌های تولیدی بیش از حد بوده و در سطح گره و پیوند ارتباطی ازدحام و ترافیک رخ خواهد داد. بسته‌های بسیار زیادی به‌دلیل ازدحام از بین خواهد رفت و منابع شبکه و از جمله انرژی به‌صورت نامطلوب مصرف خواهد شد. بنابراین، ازدحام یکی از چالش‌های اساسی این شبکه‌ها محسوب می‌شود. در این مقاله روشی برای کنترل ازدحام ارائه شده است. برای تشخیص ازدحام از پارامتری به نام طول صف استفاده شده است به‌طوری که میزان بافر اشغالی نشان دهنده سطح ازدحام در گره می‌باشد. در صورت بروز ازدحام، گره آن را به اطلاع گره‌های بالادستی خود می‌رساند. گره‌های بالادستی با دریافت پیغام ازدحام نرخ ارسال خود را کاهش داده و مسیر دیگری را برای ارسال بسته‌های خود انتخاب می‌نماید. در انتخاب مسیر ثانویه برای ارسال داده، گره میزان انرژی موجود همسایه‌ها و اندازه بافر خالی آنها را در نظر می‌گیرد. روش پیشنهادی مورد شبیه‌سازی و با روش[۹] PCCP مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این واقعیت است که روش پیشنهادی از لحاظ مصرف انرژی کارآمد بوده و نرخ تحویل بسته در آن بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کنترل ازدحام، طول عمر شبکه، انرژی مصرفی، نرخ تحویل بسته.

۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه طراحی و ساخت مدارات مجتمع، سیستم‌های میکروالکترومکانیک و مخابرات بی‌سیم، موجب طراحی و ساخت حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک و با کاربردهای گوناگون شده است. ارتباط با دنیای فیزیکی و نظارت بر رخدادهای آن، از طریق شبکه‌های بی‌سیم و انواع گوناگون حسگرها میسر می‌باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل صدها و یا هزاران حسگر بی‌سیم بوده که در سطح یک ناحیه جغرافیایی با شرایط مختلف آب و هوایی و به‌صورت از پیش تعیین شده و یا تصادفی توزیع می‌شوند. شکل ۱ ساختار و عملکرد این شبکه‌ها را نشان می‌دهد. به‌دلیل پهنای باند محدود، تعدد گره‌های حسگر به‌کار رفته در شبکه، خرابی گره یا پیوند ارتباطی و محدودیت حافظه گره‌های حسگر، ازدحام در شبکه‌های حسگر بی سیم به راحتی رخ می‌دهد [۸-۵].



شکل ۱: ساختار و عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم

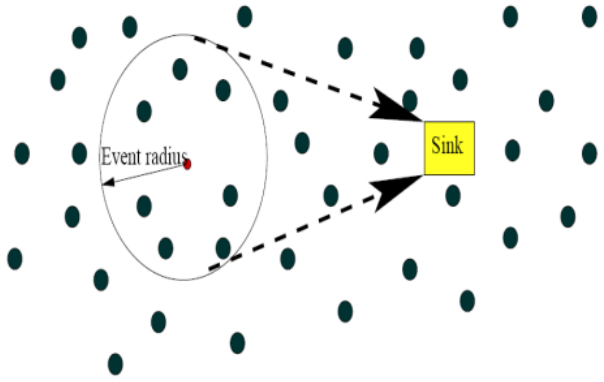
به‌دلیل پهنای باند محدود، تعدد گره‌های حسگر به‌کار رفته در شبکه، خرابی گره یا پیوند ارتباطی و محدودیت حافظه گره‌های حسگر، ازدحام[1] در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به راحتی رخ می‌دهد[۸-۵].

در صورت بروز رخداد در این شبکه‌ها گره‌هایی که رخداد[2] را حس می نمایند، مطابق شکل ۲ آن را به‌صورت ارسال چند به یک و گام به گام به گره چاهک ارسال می نمایند. این ارسال قیفی شکل باعث به‌روز ازدحام خواهد شد. بسته‌هایی که از ناحیه پر ازدحام ارسال می‌گردند، در صورتی که حذف نشوند تاخیر زیادی را تجربه خواهند کرد [۱۰-۷]. در نتیجه، ازدحام باعث کاهش نرخ تحویل بسته و افزایش مصرف انرژی خواهد شد.

1 - Congestion

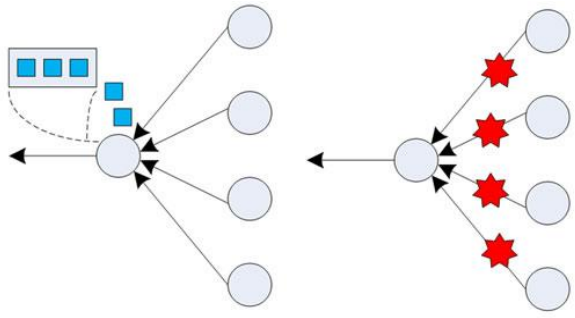
2 - Event

www.SID.ir



شکل۲: ارسال چند به یک و گام به گام اطلاعات رخداد به گره چاهک

اولین دلیل وقوع ازدحام در این شبکه‌ها، این است که نرخ رسیدن بسته‌های ارسالی از طرف گره‌های همسایه به گره بیشتر از نرخ سرویس‌دهی گره به بسته می‌شود. این شرایط بیشتر در گره‌های نزدیک به چاهک که داده‌های بیشتری را منتقل می‌کنند، به‌وجود می‌آید [۱۳-۱۱]. به این حالت ازدحام در سطح گره گفته می‌شود (شکل ۳). در این حالت انرژی گره‌های نزدیک به گره چاهک تخلیه شده و طول عمر این گره‌ها تمام می‌شود. این مشکل که به‌دلیل عدم کنترل ازدحام در گره‌های نزدیک چاهک رخ می دهد، مشکل حفره انرژی[1] نامیده می‌شود. دلیل دوم رقابت، تداخل و نرخ خطای بیتی بر روی اتصال است که موجب ازدحام بر روی اتصال می‌شود [۸-۴].



شکل ۳: ازدحام در سطح گره و پیوند ارتباطی

از طرفی ممکن است ازدحام در سطح پیوند ارتباطی بین گره‌های مختلف رخ دهد. به‌دلیل جابجایی گره‌ها، مداخلات محیطی و ... ممکن است پیوند ارتباطی بین گره‌ها شکسته شود. شکل ۳ این نوع ازدحام را نشان می‌دهد [۱۰-۸]. مکانیزم‌هایی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود دارد که عموماً از سه مرحله تشکیل شده است [۱۰-۸]: الف- تشخیص ازدحام ب- اعلان ازدحام ج- کاهش یا جلوگیری از ازدحام.

بنابراین، یک پروتکل کنترل ازدحام مناسب که بتواند با بهره‌گیری از حداکثریت ظرفیت بار شبکه، توان عملیاتی آن را افزایش دهد، لازم و ضروری می‌باشد. گره‌های حسگر با تنظیم نرخ ارسال بسته‌های داده در صورت وقوع ازدحام، می‌توانند ازدحام را کنترل نمایند. با کنترل و تنظیم نرخ ارسال داده انرژی مصرفی در شبکه کاهش یافته و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. تنظیم نرخ ارسال داده می‌تواند به‌صورت گام به گام یا توقف و شروع مجدد باشد. این اطلاع‌رسانی امکان دارد از طریق بسته ACK صورت پذیرد.

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: فصل ۲ کارهای مرتبط را نشان می‌دهد. فصل ۳ روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. فصل ۴ ارزیابی کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد و در نهایت فصل ۵ به نتیجه‌گیری مقاله می‌پردازد.

۲- کارهای مرتبط

مقالات زیادی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر ارائه شده است [۱۷-۱۳] که در ذیل به برخی از آنها اشاره خواهد شد. در پروتکل Fusion[7]، تشخیص ازدحام در گره‌های میانی حسگر از طریق بازرسی طول صف صورت می‌گیرد. در این روش وجود ازدحام از طریق ایستا و شروع اعلان می با تشخیص ازدحام و اعلان آن؛ گره‌های همسایه از ارسال داده‌های خود به گره‌هایی که دچار ازدحام شده‌اند خودداری می‌نمایند. در پروتکل[6] CODA[2] ازدحام از طریق طول صف گره‌های میانی قابل کشف می‌باشد. این پروتکل از ترکیب بار حالت‌های فعلی و قبلی کانال و سطح بافر استفاده شده گره برای تشخیص ازدحام در آن گره استفاده می‌نماید. در صورت بروز ازدحام از روش فشار معکوس انتخابی برای اعلان ازدحام استفاده می‌کند. از روش تنظیم چند منبعی برای تنظیم نرخ ارسال داده‌ها استفاده می‌نماید. این روش همچنین کنترل جریان بسته‌ها را با الگوریتم AMID انجام می‌دهد. پروتکل CCF[3][8] وقوع ازدحام از طریق زمان سرویس بسته تشخیص می‌دهد. این پروتکل ازدحام را به صورت گام به گام کنترل کرده و در آن هر کدام از گره‌ها یک راهکار تنظیم نرخ ارسال دقیقی را که مبتنی بر نرخ سرویس خود گره و گره‌های فرزند است به کار می‌برد. این پروتکل بی‌طرفی ساده را تامین می‌نماید به‌طوری که هر

[1] Energy Hole Problem

[2] Congestion Detection and Avoidance
[3] Congestion Control and Fairness

www.SID.ir
Archive of SID

کدام از گره‌ها توان عملیاتی یکسانی را کسب می‌کنند. راهکار تنظیم نرخ در این پروتکل فقط پارامتر زمان سرویس بسته را مد نظر قرار می‌دهد که این امر می‌تواند در مواقعی که بعضی از گره‌ها ترافیک کافی ندارند و یا هنگامی که نرخ خطای بسته قابل توجه است، موجب کاهش کارایی شبکه می‌شود. پروتکل PCCP[1] [9] یک پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت می‌باشد. این پروتکل درجه ازدحام را از تقسیم زمان رسیدن بسته و زمان سرویس آن به‌دست می‌آورد. در ارسال بسته‌های ارسالی اولویت اول با داده‌های خود گره می‌باشد. این پروتکل از یک روش دیگر به جای AIMD[2] برای تنظیم نرخ ارسال بسته استفاده می‌نماید. گره‌هایی که از اولویت بالایی نسبت به گره‌های دیگر دارند پهنای باند بیشتری استفاده کرده و ترافیک بیشتری را به شبکه اعمال خواهد کرد. امکان بازیابی بسته در این پروتکل وجود ندارد. بنابراین PCCP[9] یک الگوریتم تنظیم نرخ مبتنی بر اولویت جدید PRA[3] در هر گره حسگر دارد که برای تضمین عدالت و کارایی مناسب می‌باشد. پروتکل ECODA[4] [13] برای تشخیص ازدحام از حد آستانه بافر و تفاوت بافر وزن دار استفاده می‌نماید. این روش متفاوت از روش حد آستانه منفرد برای بافر می‌باشد. CODA[6] ترکیبی از سه مکانیزم می‌باشد: الف- تشخیص ازدحام از طریق استفاده از دو حد آستانه بافر و تفاوت بافر وزن دار ب- زمان‌بندی صف انعطاف پذیر بر پایه اولویت بسته ج-روش کنترل نرخ ارسال مبتنی بر گلوگاه فرستنده. پروتکل HOCA[5] [11] از مدیریت صف فعال AQM[6] برای کنترل ازدحام داده های ارسالی در شبکه های حسگر بی‌سیم بدنی استفاده می‌نماید. با توجه به نوع کاربرد این پروتکل (شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی) داده‌های ارسالی در هر گره حسگر بدنی به دو دسته بسته‌های حساس و بسته‌های غیر حساس تقسیم‌بندی می‌شود. داده‌های حساس داده‌های مربوط به اطلاعات بیمار می-باشد که از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در ارزیابی پروتکل HOCA[11] پارامترهای تاخیر انتها به انتها؛ انرژی مصرفی؛ طول عمر و عدالت در نظر گرفته شده است. در این پروتکل مدیریت صف فعال پیشنهادی از گم شدن بسته‌ها به خاطر سر ریز بافر جلوگیری می‌نماید. پروتکل GMCAR[7] [14] یک پروتکل مسیریابی چند مسیری مبتنی بر گرید بوده که قابلیت اجتناب از ازدحام را دارد. این پروتکل از ترافیک داده مبتنی بر کیفیت سرویس برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پشتیبانی می‌نماید. گره‌های حسگر سر گروه در هر گرید میزان بافر خود را اندازه گیری می‌نماید. اگر میزان بافر اشغالی از یک حد آستانه بیشتر باشد آن گره دچار ازدحام شده است. دراین مرحله اجتناب از ازدحام شروع می‌گردد. کنترل ازدحام از طریق ارسال بسته‌های دریافتی از طریق گره‌های دیگر امکان پذیر خواهد بود. گره‌ای که دچار ازدحام شده است یک زمان‌بندی برای خود تنظیم می‌نماید و یک پیغام "مسیر نامعتبر" برای گره‌های همسایه ارسال می نماید گره‌های همسایه در صورت دریافت پیغام "مسیر نامعتبر" جدول مسیریابی خود را برای نامعتبر کردن گره ارسال کننده پیغام جستجو می‌نماید. گره‌های دیگر در ارسال داده‌های خود مسیر نامعتبر را برای ارسال در نظر نمی‌گیرند زیرا آن مسیر را با بیت صفر نامعتبر کرده‌اند. پروتکل HTAP[8] [12] از ارسال چندمسیری به سمت گره چاهک استفاده می‌نماید از طریق ارسال پیام‌های سطح‌بندی گره‌های شبکه را به سطوح مختلف دسته‌بندی می‌نماید. در صورت وجود ازدحام در شبکه ارسال بسته را از طریق مسیرهای دیگر به سمت گره چاهک ادامه می‌دهد. در این پروتکل ابتدا گره مبدا از ویژگی کنترل توپولوژی استفاده کرده و گره‌های میانی و والد را تعیین می نماید. بعد از این کار گره‌های حسگر را سطح‌بندی می‌نماید. هر گره می-تواند داده‌های خود را حداکثر به ۶ گره میانی ارسال نماید. برای تشخیص ازدحام از نرخ ارسال استفاده می‌نماید. بدین صورت که اگر نرخ سرویس گره به بسته‌های دریافتی کمتر از مجموع نرخ بسته‌های دریافتی از گره‌های همسایه باشد آن گره دچار ازدحام شده است و با ارسال بسته تشخیص ازدحام، آن را به گره‌هایی که داده را از آنها دریافت کرده اعلام می‌دارد. این پروتکل به تمامی گره‌های حسگر اجازه می‌دهد تا داده‌های خود را به گره چاهک ارسال نمایند. در نتیجه باعث پوشش کل شبکه می‌گردد. برای بسته‌هایی که مورد علاقه گره چاهک هستند اولویت بیشتری در مقایسه با بسته‌های دیگر قائل است. این پروتکل برای تشخیص ازدحام میزان بافر اشغال گره را در نظر می‌گیرد.

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی که CCP[9] نامیده می‌شود، یک پروتکل کنترل ازدحام برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. مانند پروتکل‌های دیگر، در این پروتکل نیز هر گره حسگر داده‌های تولید شده توسط خود و داده‌های دریافتی از گره‌های دیگر را به سمت گره چاهک ارسال و مسیریابی می‌نماید. اگر نرخ بسته‌های تولید شده توسط

[1] Priority-based congestion control protocol
[2] Additive Increase Multiplicative Decrease
[3] Priority-based rate adjustment algorithm
[4] Enhanced congestion detection and avoidance
[5] Healthcare aware optimized congestion avoidance
[6] Active queue management
[7] Grid-based Multipath with Congestion Avoidance Routing Protocol
[8] Hierarchical tree alternative path
[9] Congestion Control Protocol

www.SID.ir

خود گره با λ_s و نرخ بسته‌های دریافتی از طرف سایر گره‌ها با λ_r نمایش داده شود، نرخ کل بسته‌های یک گره از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$\lambda_i = \lambda_s + \lambda_r(i) = \lambda_s + \sum_{j\in N(i)} \lambda_{ji} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، λ_i نرخ کل بسته‌های گره i می باشد. در روش پیشنهادی برای تشخیص ازدحام از فضای بافر اشغالی گره استفاده می‌شود. اگر فضای اشغال شده یک گره از یک مقدار آستانه λ^{th} بیشتر باشد، آن گره دچار ازدحام شده است:

$$\lambda_r(i) \le \lambda_r^{th}(i) \qquad (۲)$$

روش پیشنهادی از ۳ مرحه تشکیل شده است: الف- مرحله ایجاد مسیر ب-مرحله ارسال داده ج- کنترل ازدحام

۳-۱- مرحله ایجاد مسیر

روش پیشنهادی از ارسال دو مسیری برای ارسال داده های خود استفاده می‌نماید. بدین صورت که هر کره مبدا دو مسیر (مسیر اصلی و مسیر ثانویه) تا گره چاهک برای ارسال داده های خود تعیین می نماید. برای تعیین مسیر و انتخاب گره بعدی از یک تابع هزینه استفاده می‌نماید که تابع هزینه انرژی موجود و میزان بافر آزاد گره بعدی را در نظر می‌گیرد. تابع هزینه از رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

$$C(j) = \max\left\{\alpha\left(\frac{E_{res}}{E_{ini}}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{B_f}{B_{ini}}\right)\right\} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق c(j) تابع هزینه گره j ؛ α پارامتر وزن بوده و مقدار آن بین ۰ و ۱ می‌باشد. E_{res} و E_{ini} به‌ترتیب مقادیر انرژی موجود انرژی اولیه گره حسگر و B_f و B_{ini} به‌ترتیب مقدار بافر آزاد گره و بافر اولیه آن می‌باشند. برای انتخاب گره بعدی، گره فعلی $C(j)$ ماکزیمم را از بین همسایه‌های رو به جلو خود (گره‌هایی که بین گره فعلی و گره چاهک قرار دارند) در نظر می‌گیرد. بدین مفهوم گره‌ای از بین گره‌های همسایه انتخاب می‌شود که انرژی موجود آن و مقدار بافر آزاد نیز بیشتر باشد. برای اینکه اثرات انرژی و بافر در انتخاب گره بعدی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شده و بر روی هم اثر نداشته باشند، مقدار پارامترهای فوق نرمال‌سازی شده است. پارامتر α یک پارامتر وزن می‌باشد. برای تعیین هزینه فوق گره‌ها باید پارامترهای لازم گره‌های همسایه را داشته باشند. برای این کار گره‌ها از بسته HELLO که ساختار آن به‌صورت ذیل می‌باشد استفاده می‌نمایند:

Node ID	Residual Energy	Free buffer

شکل۴: ساختار بسته Hello در روش پیشنهادی

در شکل۴، NodeID، Residual Energy و Free Buffer بیانگر شماره گره، انرژی موجود گره و میزان بافر اشغالی آن می‌باشد. هر گره با ارسال بسته HELLO به گره‌های همسایه خود مقادیر پارامترهای لازم را دریافت کرده و در جدولی تحت عنوان جدول همسایگی یادداشت می‌نماید تا برای انتخاب گره بعدی در ارسال داده و هزینه آن از پارامترهای فوق استفاده نماید. در صورت وجود ترافیک و ازدحام بیش از حد در گره‌های شبکه؛ گره‌ای که دچار ازدحام شده است پیغام CD(congestion Detection) را برای گره-های بالا دستی خود ارسال و آنها را از وقوع ازدحام آگاه می‌نماید. گره‌های بالا دستی با دریافت پیغام تشخیص ازدحام از گره دچار ازدحام؛ داده‌های خود را از طریق مسیر دیگر (مسیر ثانویه) ارسال خواهند کرد. مسیرهای دیگر از طریق ارسال پیغام (path discovery) به گره‌های همسایه مشخص می‌گردد و در این مرحله گره‌ای که دچار ازدحام شده است، تا رفع کامل ازدحام در عملیات مسیریابی شرکت نخواهد داشت. گره‌ها برای تعیین مسیر ثانویه (جایگزین مسیر اولیه) از جدول همسایگی خود کمک می-گیرند. با توجه به هزینه گره که از طریق پیغام HELLO تعیین می‌شود، مسیر جایگزین را تعیین می‌نمایند، بدین صورت که گره-ای که تابع هزینه آن بیشتر باشد به‌عنوان گره اصلی (مسیر اصلی) و گره دوم از لحاظ تابع هزینه به عنوان مسیر جایگزین (مسیر ثانویه) انتخاب می‌گردد. گره‌ها بسته‌های خود را به گره‌های پایین دست ارسال می‌نمایند و گره‌های پایین دست با دریافت بسته ارسالی؛ سطح بافر اشغالی خود را از طریق بسته ACK به گره ارسال کننده بسته ارسال می‌دارند تا از این طریق بتوانند میزان ازدحام خود را به اطلاع گره‌های ارسال کننده بسته برسانند. در حقیقت گره‌های دریافت کننده بسته داده؛ سطح بافر اشغالی خود را به بسته ACK الصاق می‌نماید.

۳-۲- مرحله ارسال داده

گره‌های حسگر داده‌های خود را از طریق مسیر تعیین شده (مسیر اولیه) ارسال می‌دارند. نحوه ایجاد این مسیر در بخش قبلی توضیح داده شد. در صورت بروز ازدحام در گره‌های میانی ارسال داده باید از طریق مسیر ثانویه ارسال گردد. نحوه ایجاد مسیر ثانویه به این صورت است که گره‌ای که دچار ازدحام شده است یک پیغام "تشخیص ازدحام" به گره‌های بالا دستی خود ارسال می‌نماید و وقوع ازدحام را به اطلاع آنها می‌رساند. گره‌های سطح ما قبل این

Archive of SID

www.SID.ir

گره (گره های همسایه گره دچار ازدحام که یک سطح پایین تر از آن قرار دارند) ضمن کاهش نرخ ارسال خود؛ دادهای خود را از طریق مسیر کمکی (مسیر دوم) ارسال می‌نمایند. همچنین گره-هایی که در سطوح پایین قرار داشته باشند (اگرسطح گره دچار ازدحام L باشد L-1 سطح گره‌های همسایه آن که داده را به گره ارسال می‌نمایند بوده و گره‌هایی که در سطح L-2 قرار دارند داده-های خود را از طریق مسیر کمکی ارسال خواهند کرد). در روش پیشنهادی از ارسال پیغام "کاهش نرخ ارسال" به گره‌های ما قبل تا گره مبدا خودداری می‌شود، زیرا ارسال بسته‌های کنترلی زیاد باعث ازدحام شبکه و مصرف بیش از حد انرژی خواهد شد. بنابراین برای ارسال داده گره‌ها یک مسیر ثانویه برای خود انتخاب می-نمایند. انتخاب این مسیر بدین صورت است که از بین گره‌های همسایه؛ گره‌ای که هزینه $C(j)$ آن بیشتر باشد به‌عنوان گره بعدی انتخاب می‌گردد و این کار تا رسیدن بسته به گره چاهک ادامه پیدا می‌کند؛ مسیر ثانویه گره دچار ازدحام را در بر نخواهد داشت. بنابراین گره‌های بالا دستی با دریافت پیغام کشف ازدحام آن گره را از جدول مسیریابی خود حذف خواهند کرد.

۳-۳- کنترل ازدحام

برای تشخیص ازدحام، میزان بافر اشغالی گره به‌عنوان پارامتر اصلی در نظر گرفته می‌شود. بدین صورت که اگر میزان بافر اشغالی گره از یک حد آستانه (حدود ۸۰ درصد کل بافر) عبور نماید، گره با ارسال پیغام تشخیص ازدحام به گره‌های ماقبل خود، آنها را از وجود ازدحام با خبر می‌سازد. گره‌ای که دچار ازدحام شده است، پیغام تشخیص ازدحام را فقط به گره‌هایی ارسال می‌دارد که از آنها داده دریافت می‌نماید. چون هر گره ID خود را به سرآیند بسته ارسالی اضافه می‌نماید؛ پس گره می‌تواند ID آنها را داشته باشد. در روش پیشنهادی پیغام تشخیص ازدحام فقط به گره‌هایی که در سطوح L-1 ، L-2 قرار دارند؛ ارسال خواهد شد (با فرض اینکه سطح گره دچار ازدحام L باشد). زیرا ارسال این بسته به گره‌های دیگر تا رسیدن به گره مبدا؛ باعث ازدحام و مصرف بیش از حد انرژی خواهد شد و طول عمر شبکه کاهش پیدا خواهد کرد. گره-های سطح (L-1) گره‌ای را که دچار ازدحام شده به‌صورت موقت از جدول همسایگی خود حذف کرده تا از ارسال داده به آن گره جلوگیری شود. بعد از طی مدتی گره‌ای که دچار ازدحام شده است با خالی شدن بافر خود پیغام "No Congestion"را به گره‌های سطح (L-1) ارسال می‌نماید گره‌های مذکور با دریافت بسته فوق خواهند فهمید که ازدحام گره فوق رفع شده است و می‌توانند از آن گره برای ارسال داده‌های خود استفاده نمایند. بنابراین گره فوق را مجددا در جدول همسایگی خود اضافه می‌نمایند. در ارسال بسته‌های اطلاعاتی، هر گره اولویت ارسال را برای داده‌های تولیدی خود می‌دهد و ارسال داده‌های گره‌های دیگر را در اولویت بعدی قرار می‌دهد.

۴- مدل شبکه و پارامترهای شبیه‌سازی

در این مرحله پروتکل پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی مورد ارزیابی کارایی قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. شکل ۵ مدل شبکه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی فرض می‌شود خطای بسته‌ها به دلیل خطای بیتی صفر می‌باشد. در این شبیه‌سازی تعداد ۵۰ گره همگن در محیطی به مساحت ۱۰۰×۲۰۰ مترمربع به‌صورت یکنواخت توزیع شده‌اند. گره‌ها به‌صورت گام به گام داده‌های خود را به سمت چاهک ارسال می‌نمایند. جدول ۱ مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. α پارامتر وزن بوده که مقدار آن بین ۰ و ۱ بوده واز طریق شبیه‌سازی مقدار آن ۰,۴ فرض شده است.

پارامترهایی که در شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارتند از: کارایی شبکه، تعداد گره‌های زنده، میزان انرژی باقیمانده، طول بافر و درصد بسته‌های از دست رفته.

نمودارهای ۶ و ۷ کارایی سیستم را به ترتیب بر اساس نرخ بسته-های تولید شده در گره و انرژی اولیه گره‌ها در روش پیشنهادی و پروتکل PCCP[9] نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار ۶، با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی کارایی روش CCP و PCCP[9] کاهش پیدا می‌کند. زیرا با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی، تعداد بسته‌های تولیدی افزایش یافته و به‌دلیل وقوع ازدحام در شبکه تعداد بسته‌های تحویلی به گره چاهک کاهش پیدا می‌کند. از طرفی به‌دلیل این که در روش پیشنهادی گره‌ها از مسیر ثانویه برای ارسال داده‌های خود استفاده می‌نمایند و نرخ بسته‌های گره-های قبلی را زیاد کاهش نمی‌دهند، کارایی آن نسبت به روش دیگر بهبود یافته است.

با توجه به نتایج نمودار ۷، با افزایش انرژی اولیه گره‌ها، کارایی شبکه در هر دو روش افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش انرژی اولیه، طول عمر شبکه افزایش یافته و تعداد بسته‌های زیادی به مقصد تحویل داده می‌شود. از طرفی با توجه به این که روش پیشنهادی در انتخاب مسیرهای خود انرژی باقمانده گره‌ها را در نظر می‌گیرد، در نتیجه مصرف انرژی در این روش به‌صورت متوازن مصرف می-

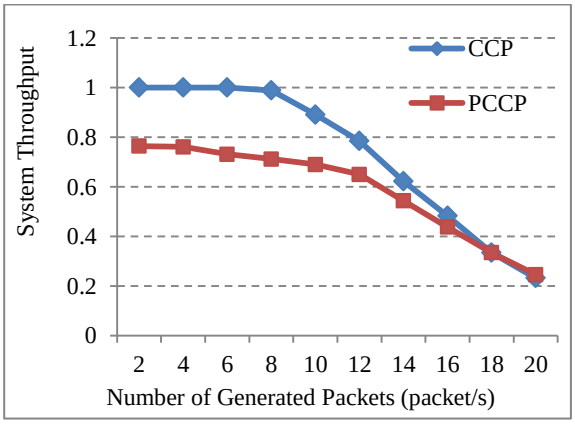
www.SID.ir

گردد. با مصرف متعادل انرژی، طول عمر شبکه افزایش یافته و از دست رفتن بسته‌ها به دلیل اتمام انرژی تا حدی جبران می‌گردد.

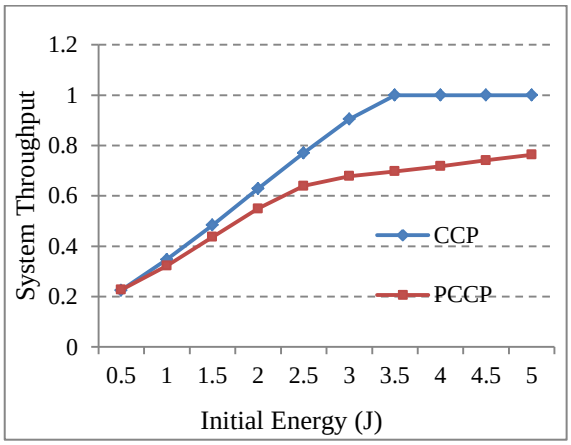
نمودارهای شکل ۸ و ۹، تعداد گره‌های زنده شبکه بعد از طی زمان شبیه‌سازی را بر اساس نرخ تولید بسته و انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار شکل ۸، با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی در گره، تعداد گره‌های زنده در شبکه کاهش پیدا می‌کند. دلیل این کار این است که با توجه به ارسال و دریافت بسته‌های ارسالی در شبکه، انرژی مصرفی نیز افزایش و در نتیجه تعداد گره-هایی که انرژی اولیه آنها تخلیه می‌گردد نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج نمودار شکل ۹، با افزایش انرژی اولیه گره‌ها، طول عمر شبکه افزایش و در نتیجه تعداد گره‌های زنده در شبکه نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج نمودار، تعداد گره‌های زنده در دو روش تفاوت چندانی با هم ندارند.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی

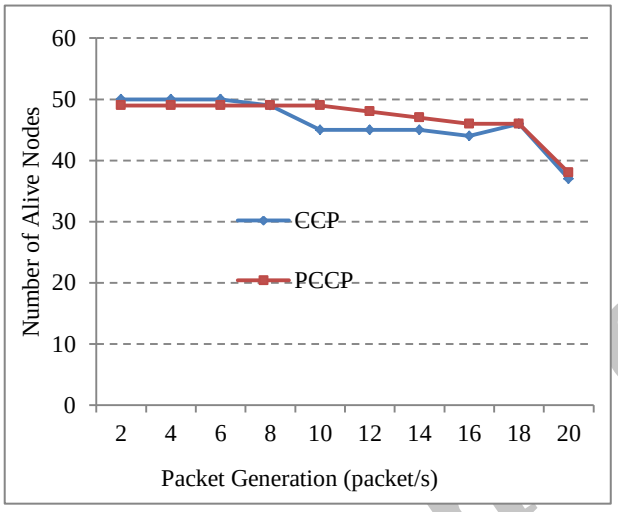
پارامتر	مقدار پارامتر
انرژی اولیه‌ی گره‌ها (ژول)	۵ ژول
اندازه‌ی بافر گره‌ها (بسته)	۲۲۵
تعداد راندهای شبیه‌سازی	۵,۰۰۰
اندازه‌ی شبکه (متر مربع)	۱۰۰×۲۰۰
موقعیت چاهک (متر)	(۱۰۰و ۱۰۰)
تعداد گره‌ها	۵۰
E_{elec}	۵۰nj/bit
برد رادیویی گره‌ها (متر)	۱۰۰



شکل۶: کارایی سیستم بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در گره



شکل۷: کارایی سیستم بر اساس انرژی اولیه گره‌ها

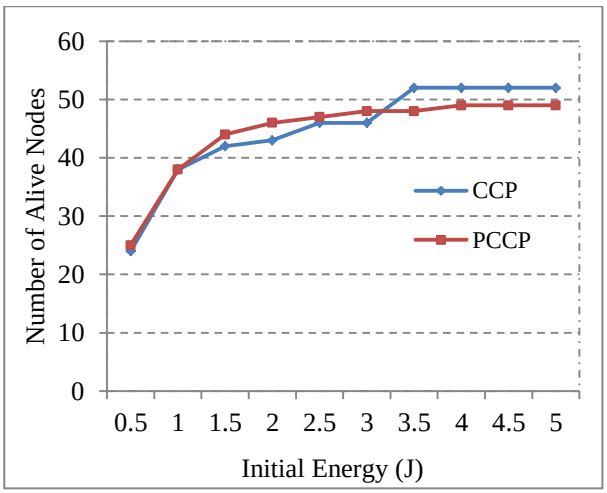


شکل ۸: تعداد گره‌های زنده بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در گره

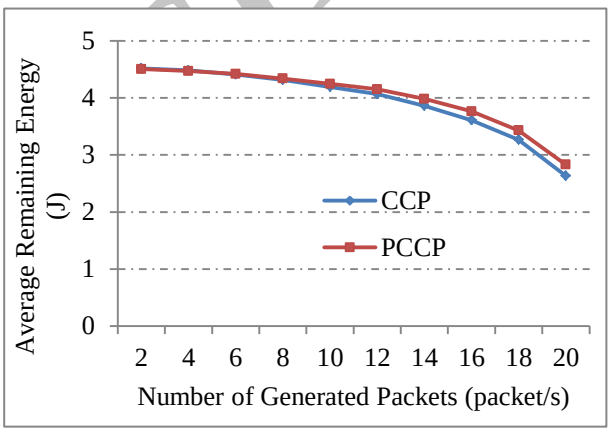
نمودار شکل ۱۰، میانگین انرژی باقیمانده گره را بر اساس نرخ تولید بسته نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار، با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی در گره، میانگین انرژی باقیمانده گره در شبکه کاهش پیدا می‌کند. دلیل این کار این است که با توجه با ارسال و دریافت بسته‌های ارسالی در شبکه، انرژی مصرفی نیز افزایش و در نتیجه میانگین انرژی موجود گره‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج نمودار، میانگین انرژی باقیمانده در دو روش تفاوت چندانی با هم ندارند.

Archive of SID

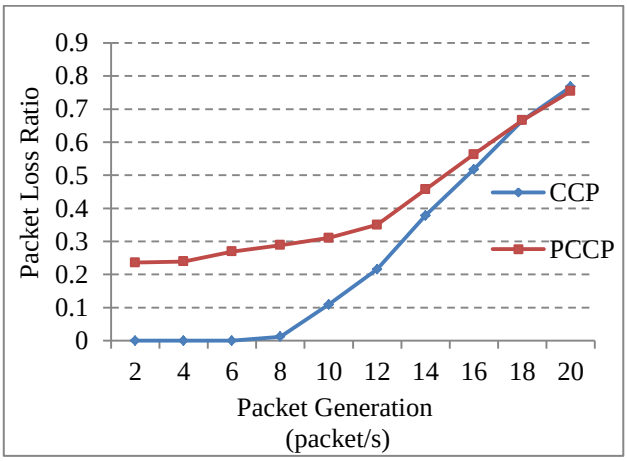
www.SID.ir



شکل ۹: تعداد گره‌های زنده بر اساس انرژی اولیه گره‌ها

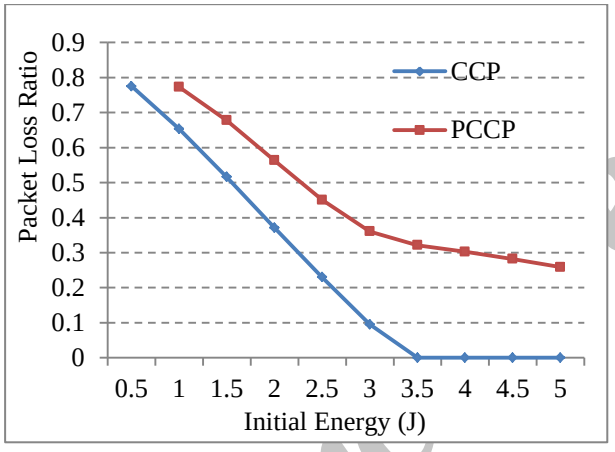


شکل ۱۰: میانگین انرژی باقیمانده گره بر اساس نرخ بسته‌های تولیدی



شکل ۱۱: نرخ از دست رفتن بسته‌ها بر اساس نرخ بسته‌های تولیدی

نمودارهای ۱۱ و ۱۲ ، نرخ بسته‌های گم شده در شبکه را بر اساس نرخ تولید بسته و انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار ۱۱، با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی در گره، نرخ از دست رفتن بسته‌ها در شبکه افزایش پیدا می‌کند. دلیل این کار این است که با توجه به ارسال و دریافت بسته‌های ارسالی در شبکه، به راحتی ازدحام در شبکه رخ می‌دهد. با وقوع ازدحام در شبکه نیز، تعداد بسته‌های از دست رفته در شبکه افزایش می‌یابد. همچنان که از نمودار پیداست در مراحل اولیه شبکه عملکرد روش پیشنهادی از روش PCCP[9] مناسب است. زیرا در مراحل اولیه و با نرخ بسته‌های تولیدی کم، ازدحام چنان زیاد نبوده و در نتیجه نرخ از دست رفتن بسته‌ها نیز پایین است. با توجه به این که در روش پیشنهادی وقوع ازدحام سریعتر به اطلاع گره‌های بالادستی می‌رسد و با دریافت خبر وقوع ازدحام گره‌ها داده‌های خود را از طریق مسیر ثانویه ارسال می‌نمایند، در نتیجه روش پیشنهادی نسب به روش PCCP[9] کارایی خوبی دارد.



شکل ۱۲: نرخ از دست رفتن بسته‌ها بر اساس انرژی اولیه گره

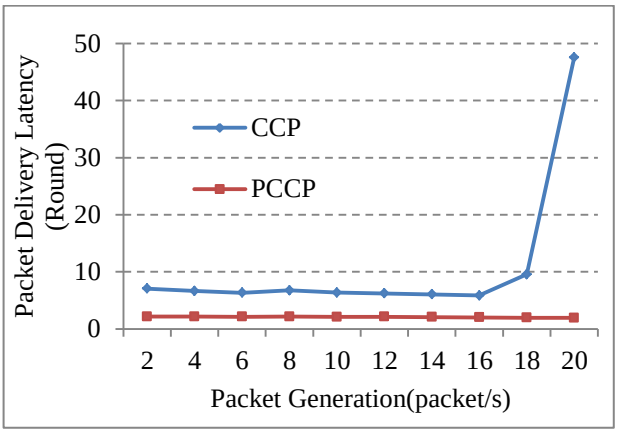
شکل ۱۲ ، نرخ بسته‌های گم شده در شبکه را بر اساس انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار ۱۲، با افزایش انرژی اولیه گره‌ها، نرخ از دست دادن بسته‌ها در شبکه برای هر دو روش کاهش پیدا می‌کند. دلیل این کاهش این است که با افزایش انرژی اولیه گره‌ها، روش پیشنهادی ضمن مصرف متوازن انرژی و کنترل مناسب ازدحام بوجود آمده نشبت به روش PCCP[9] تعداد بسته-های ارسالی گم شده کاهش پیدا می‌کند. نمودارهای ۱۳ و ۱۴، تاخیر ارسال بسته‌ها در شبکه را بر اساس نرخ تولید بسته و انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار ۱۳، با افزایش نرخ بسته‌های تولیدی در گره، تاخیر رسال بسته در روش

www.SID.ir

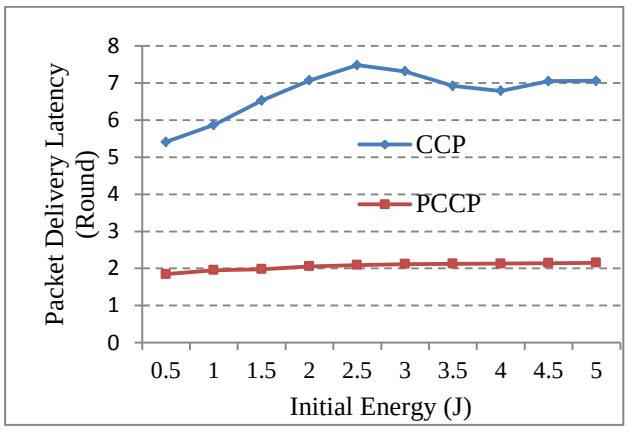
PCCP[9] تقریبا ثابت می‌ماند. دلیل ثابت بودن تاخیر ارسال بسته این است که روش PCCP[9] در ارسال بسته‌ها برای بسته‌های تولیدی توسط هر گره نسبت به بسته‌های دریافتی اولویت قائل می‌شود. این اولویت باعث می‌گردد تا بسته‌های ارسالی از تاخیر کمتری نسبت به روش پیشنهادی برخوردار باشند. از طرفی تشخیص ازدحام بر اساس نرخ سرویس بسته باعث می‌شود روش PCCP[9] در ارائه سرویس به بسته‌ها مناسب عمل نماید. روش پیشنهادی نیز مناسب عمل می‌نماید. ولی با افزایش نرخ تولید بسته تا ۱۸ بسته در ثانیه، بسته‌های ارسالی تاخیر بیشتری را تجربه خواهند کرد. دلیل این جهش این است که گره‌های بالادست در روش پیشنهادی نرخ ارسال خود را کاهش نمی‌دهند و از طرفی در انتخاب مسیر ثانویه تاخیر مسیر در نظر گرفته نمی‌شود.

نمودار ۱۴ تاخیر ارسال بسته را بر اساس انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. در این نمودار هم با افزایش انرژی اولیه گره‌ها، تاخیر ارسال بسته در روش PCCP[9] تقریباً ثابت می‌ماند. ولی در روش پیشنهادی تاخیر ارسال افزایش می‌یابد که دلیل آن مشابه نمودار ۱۳ می‌باشد.

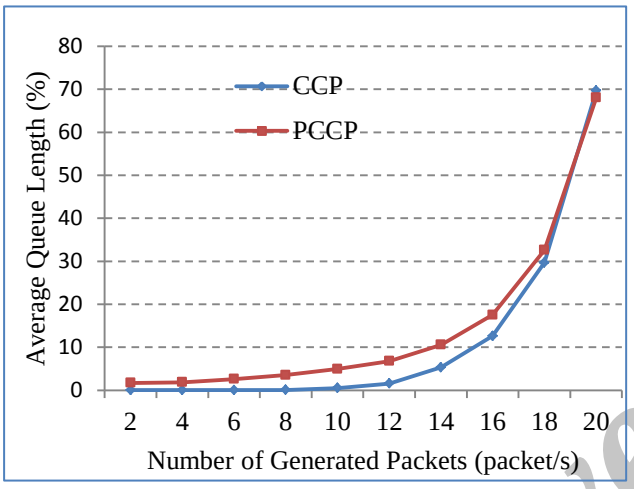
نمودارهای ۱۵ و ۱۶ ، طول صف را بر اساس نرخ تولید بسته و انرژی اولیه گره‌ها نشان می‌دهد. در هر دو نمودار با افزایش نرخ بسته‌های ارسالی و انرژی اولیه گره‌ها، میزان بافر اشغالی افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش این است که با افزایش میزان بسته‌های تولیدی و انرژی اولیه گره‌ها تعداد بسته‌های ارسالی نیز در شبکه افزایش و باعث پرشدن صف گره‌ها می‌گردد.



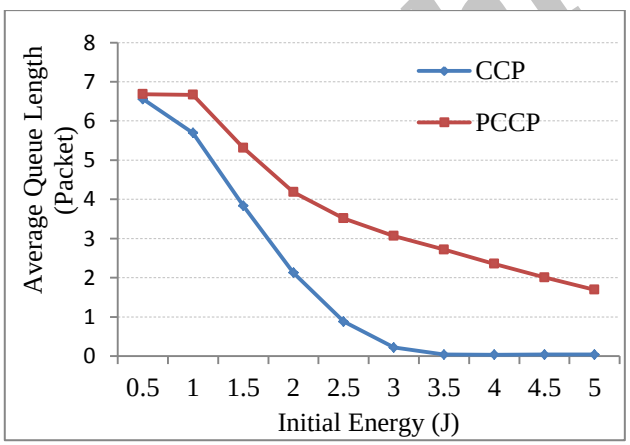
شکل ۱۳: تاخیر ارسال بسته‌ها بر اساس نرخ بسته‌های تولیدی



شکل ۱۴: تاخیر ارسال بسته‌ها بر اساس انرژی اولیه گره‌ها



شکل ۱۵: طول صف بر اساس نرخ بسته‌های تولیدی



شکل ۱۶: طول صف بر اساس انرژی اولیه گره‌ها

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی برای کنترل ازدحام برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه گردید که در آن برای تشخیص ازدحام از پارامتری به نام طول صف استفاده شده است به طوری که میزان بافر اشغالی

www.SID.ir

نشان دهنده سطح ازدحام در گره می‌باشد. در صورت بروز ازدحام، از مسیر دیگری برای ارسال بسته‌ها استفاده می‌شود. در انتخاب مسیر ثانویه، گره میزان انرژی موجود همسایه‌ها و اندازه بافر خالی آنها را در نظر می‌گیرد. با توجه به این پارامترها، گره همسایه‌ای که دارای تابع هزینه بیشتر باشد به عنوان گره بعدی انتخاب می‌شود. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که روش پیشنهادی از لحاظ مصرف انرژی کارآمد بوده و نرخ از دست دادن بسته‌ها در آن نسبت به روش قابل مقایسه کمتر می‌باشد.

مراجع

[1] Akyildiz Ian, Kasimoglu.I, 2004,"Wireless sensor and actor network: research challenges, Ad hoc networks", vol 2, No. 4, pp.351-367.

[2] Akyildiz. Ian, 2002, "Survey on Sensor Networks," *IEEE Communication magazine*, vol. 40, pp. 102-114.

[3] Heinzelman Wendi Rabiner., Chandrakasan Anantha., and Balakrishnan Harri., 2000, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Micro sensor Networks," *Analysis*, vol. 0, pp. 1-10.

[4] M.H.Yaghmaee and D.A.Adjeroh, "Priority-based rate control for service differentiation and congestion control in wireless multimedia sensor networks," Computer Networks, vol.53, no.11, pp.1798-1811, 2009.

[5] J.Teo, Y.Ha, and C. tham, "Interference-Minimized multipath routing with congestion control in wireless sensor network for high rate streaming," IEEE Tran. On Mobile computing, vol. 7, no.9, pp.1124-1137, 2008.

[6] C.Y.Wan, S. B.Eisenman and A.T.Campbell," CODA: Congestion detection and Avoidance in wireless sensor networks," in proc. Of ACM sensye'03, 2003, pp. 266-279.

[7] B.Hull, K.Jamieson, and H.Balackrishnan, "Mitigating congestion in wireless sensor networks", in proc. Of sensy'04, 2004, pp. 134-147.

[8] C.Ee and R.Bajsys, "Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks" in proc. Of ACM sensys'04, 2004.

[9] C.Wang, K.sohrabi, V. Lawrence, B. li and Y.Hu, "Priority-based Congestion Control in Wireless Sensor Networks." Proc. Of the IEEE international conf. on sensor networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing, 2006.

[10] M.Zawodniok and S.Jagannathan, "Predictive congestion control protocol for wireless sensor networks". IEEE Trans. On wireless communication, vol. 6, no.11, pp.3955-3963, 2007.

[11] A.A. Rezaee, M.H. Yaghmaee, A.M. Rahmani and A.H. Mohajerzadeh, " HOCA: Healthcare Aware Congestion Avoidance and control protocol for wireless sensor networks", Journal of Network and Computer Applications, p., 2013

[12] Charalambos Sergiou, Vasos Vassiliou, Aristodemos Paphitis, "Hierarchical Tree Alternative Path (HTAP) algorithm for congestion control in wireless sensor networks", Ad hoc networks, Vol. 11, 2013 p. 257-272.

[13] Liqiang Tao , Fengqi Yu, " ECODA: Enhanced congestion detection and avoidance for multiple class of traffic in sensor networks", Transaction on Consumer electronics, Vol. 56, No. 3, 2010.

[14] Omar Banimelhem Samer Khasawneh ," GMCAR: Grid-based multipath with congestion avoidance routing protocol in wireless sensor networks", Ad hoc Networks, 2012 , Vol.10, No. 7 , p. 1346-1361.

[15] C. Wang, K. Sohraby, B. Li, SenTCP: A Hop-by-Hop Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks, IEEE INFOCOM (Poster paper), 2005.

[16] Y. Sankarasubramaniam, O. Akan, I. Akyildiz, ESRT: event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks, in: MobiHoc '03: Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, ACM, New York, NY, USA, 2003.

[17] F. Stann, J. Heidemann, RMST: reliable data transport in sensor networks, in: Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications, IEEE, Anchorage, Alaska, USA, 2003, pp. 102–112.

Archive of SID

www.SID.ir

A new Protocol for Controlling Congestion in Wireless Sensor Networks

*Ali Ghaffari
* Corresponding Author: Department of computer engineering, Tabriz branch, Islamic azad university, Tabriz, Iran.
A.Ghaffari@iaut.ac.ir

Abstract- Due to inherent limitations and number of distributed sensor nodes in wireless sensor networks (WSNs), the number of generated packets will be increased and congestion will be produced in link level or node level. Hence, the number of lost packets will be increased and the network resources such as energy will be consumed in inappropriate manner. So, the congestion is one of the most important challeng in WSNs. In this paper, a method is provided for controlling congestion. For congestion detection, the queue lenghth will be used and the occupied level of node's buffer is indication of congestion level. In the proposed scheme, when the congestion occures, the congested node informs its upstream neighbour nodes. In order to controlling congestion, the upstream nodes will be reduced the transmitted pacekt rate and selects another path for data transmission. In selecting secondary path for data transmission node considers parameters such as amount of available energy and the empty size of the buffer. Simulation results show that the proposed scheme improve the consumtion energy and packet deliver rate in compraition with PCCP [9].

Keywords- Wireless Sensor Networks, Congestion Control, Network Lifetime, Energy Consumption, Packet Delivery Rate.

Archive of SID

www.SID.ir