همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری
Conference on Recent Research in Science and Technology

عنوان مقاله: پروتکل‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم: مروری

آتوسا بهلول‌زاده [۱]، مهری رجایی [۲]

[۱] کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
Bohloulzadeh.atousa@gmail.com

[۲] استادیار، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
rajayi@ece.usb.ac.ir

Archive of SID

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم از تعدادی گره حسگر تشکیل شده‌اند، که از لحاظ منابع برای محاسبات، ذخیره‌سازی، پهنای باند ارتباطی و از همه مهمتر انرژی محدود هستند؛ یکی از چالش‌های اساسی در این شبکه‌ها ازدحام است که ناشی از فاکتورهایی مانند تصادم بسته، سرریز بافر گره، رقابت روی کانال انتقال، نرخ انتقال و روش انتقال داده‌ی چند به یک، از چندین گره به گره چاهک می‌باشد و روی پارامترهای کیفیت سرویس در گره‌های حسگر و مصرف انرژی تاثیر می‌گذارد. بنابراین، کنترل ازدحام از مهمترین حوزه‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و نیازمند توسعه‌ی تکنیک‌های پیچیده‌تر برای اجتناب، تشخیص و کنترل آن می‌باشد. در این مقاله، روش‌های کنترل ازدحام موجود مورد بررسی قرار گرفته، بر اساس ترکیب سیاست‌های تمرکز کنترل، نوع الگوریتم به کار گرفته شده و پارامتر موثر در تشخیص و کنترل ازدحام دسته‌بندی جدیدی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کنترل ازدحام، تصادم، گم شدن بسته، مصرف انرژی

۱- مقدمه

امروزه بکارگیری شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)، در حوزه‌ی امور حیاتی مانند نظارت محیط‌های نظامی و پرخطر، نظارت بر سلامت و حفاظت از زیرساخت بحرانی و خطرپذیر تحولات قابل ملاحظه‌ای ایجاد کرده است. این شبکه‌ها از تعدادی گره حسگر کوچک تشکیل شده‌اند، که از لحاظ منابع برای محاسبات، ذخیره‌سازی، پهنای‌باند ارتباطی و انرژی محدود هستند، این محدودیت‌ها روی پارامترهای کیفیت سرویس (QoS)، مانند نرخ تحویل بسته (PDR)، تاخیر انتها به انتها (EED)، بهره وری پهنای‌باند و میانگین مصرف انرژی گره در WSNها تاثیر می‌گذارند.

در WSNها، وظیفه‌ی اصلی هر گره حسگر، جمع‌آوری و پردازش داده‌های مختلف مانند نور، صوت، دما و انتقال آن‌ها به‌صورت مستقیم یا به واسطه‌ی گره‌های میانی به یک یا چند گره چاهک است [۱]. در طی فرآیند ارسال بسته‌ها از مبدا به سمت چاهک، اگر نرخ ورود بسته‌ها به گره‌های میانی با نرخ ارسال بسته‌ها به گره گام بعدی برابر نباشد، یعنی بار ترافیک ورودی به این گره از ظرفیت آن تجاوز کند، موجب بروز مشکلاتی نظیر گم شدن بسته‌ها، تاخیر صف، تصادم و ازدحام می‌شود [۲]. در واقع ازدحام زمانی رخ می‌دهد که بار ترافیک ورودی به شبکه از ظرفیت هر نقطه در شبکه تجاوز می‌کند [۳] و

www.SID.ir

پارامترهای کیفیت سرویس و بهره‌وری انرژی گره‌های حسگر را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد؛ همچنین موجب افزایش گم شدن بسته‌ها و کاهش گذردهی کانال‌های بی‌سیم می‌شود [۴] که این امر موجب اتلاف انرژی باتری گره‌ها و از کار افتادن آن‌ها می‌شود؛ زیرا گره‌های حسگر به‌دلیل اندازه‌ی کوچک، برای تامین انرژی خود، متکی به باتری‌هایی با توان اندک می‌باشند و معمولا در محیط‌های غیرقابل دسترس که امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین یکی از مهمترین مسائل در این شبکه‌ها، مسئله‌ی محدودیت شدید انرژی است، بطوریکه خرابی یا از کار افتادن تعداد اندکی از گره‌ها در این شبکه‌ها می‌تواند، تغییرات قابل‌توجهی در توپولوژی شبکه ایجاد کند. بنابراین بهتر است سیاست‌های هوشمندانه‌ای برای تشخیص و کنترل ازدحام به کار گرفته شود، که به‌صورت منصفانه از انرژی کل گره‌ها استفاده شود و با کاهش تعداد بسته‌های گمشده از اتلاف انرژی جلوگیری به عمل آید.

در این مقاله، کارهای موجود از چهار جنبه‌ی متفاوت دسته‌بندی شده‌اند:

۱- نحوه‌ی کنترل ازدحام که تحت نظارت یک عامل متمرکز یا به‌صورت توزیع شده توسط همه‌ی گره‌های شبکه انجام می‌شود.

۲- تطبیقی یا سنتی بودن الگوریتم مکانیزم تشخیص و کنترل ازدحام: در روش‌های تطبیقی برخلاف روش‌های سنتی، گره‌ها خود را با محیط سازگار کرده و بر اساس بازخوردی که از محیط می‌گیرند به یک اقدام بهینه می‌رسند.

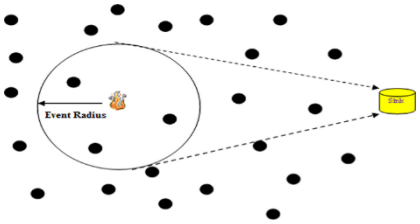
۳- سیاست‌های تشخیص ازدحام: این سیاست‌ها می‌توانند بر اساس اشغال بافر، تعداد بسته‌های گمشده، بار کانال انتقال و زمان سرویس بسته‌ها باشند.

۴- سیاست‌های کنترل و رفع ازدحام: این سیاست‌ها می‌توانند بر اساس ترافیک، منابع مورد استفاده، اولویت گره‌ها و بسته‌ها یا طول صف گره‌ها باشند. برخی از روش‌های کنترل ازدحام موجود ممکن است از ترکیبی از این سیاست‌ها استفاده کنند.

در ادامه، در بخش ۲ ابتدا مفاهیم ابتدایی شبکه‌های حسگر، ازدحام و کنترل آن معرفی می‌شوند. سپس در بخش ۳، دسته‌بندی پروتکل‌های کنترل ازدحام از جنبه‌های متفاوت فوق ارائه می‌گردد. در پایان، خلاصه‌ای از دسته‌بندی مورد نظر در قالب یک جدول کلی ارائه می‌شود.

۲- تعاریف و مفاهیم اولیه

هر گره حسگر روی برد خود دارای یک پردازشگر است که مطابق شکل ۱ پارامترهایی نظیر دما، نور، لرزش، صدا، تابش و رطوبت را درک (حس) می‌کند؛ این گره‌ها به جای فرستادن تمامی اطلاعات خام به مرکز یا به گرهی که مسئول پردازش و نتیجه‌گیری اطلاعات است، ابتدا، پردازش‌های اولیه و ساده را روی اطلاعاتی که بدست آورده است، انجام می‌دهد و سپس داده‌های نیمه پردازش شده را به‌صورت مستقیم یا به واسطه‌ی گره‌های میانی به گره چاهک ارسال می‌کند [۱]. گره چاهک نیز با توجه به اطلاعات دریافتی، اقدامات لازم هشداردهنده را با توجه به نوع کاربرد انجام می‌دهد.



شکل ۱: روش انتقال داده‌ی چند به یک در WSN [۴]

شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۳, ۵] شامل انواع مختلف حسگرها هستند که اطلاعات را از محیط جمع‌آوری می‌کنند؛ این اطلاعات با استفاده از پروتکل مسیریابی چندگامی از حسگری به حسگر دیگر منتقل می‌شوند تا زمانی که به مقصد (چاهک) تحویل داده شوند [۳]. ارتباط گره‌ها در این شبکه‌ها به‌صورت بی‌سیم و از طریق رسانه‌ی رادیویی، فروسرخ (مادون قرمز)، یا رسانه‌های نوری دیگر صورت می‌گیرد.

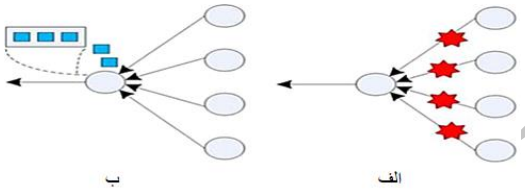
در WSNها، گره حسگر به گره‌های همسایه‌ی بالاجریان و پایین‌جریان متصل است. ترافیک ورودی را از گره همسایه‌ی

Archive of SID
www.SID.ir

بالاجریان دریافت و ترافیک خروجی را به گره همسایه‌ی پایین‌جریان خود که به گره مقصد نزدیک‌تر است، ارسال می‌کند.

در طی فرآیند ارسال بسته‌ها از مبدا به سمت چاهک، اگر نرخ ورود بسته‌ها به گره‌های میانی، با نرخ ارسال بسته‌ها به گره گام بعدی برابر نباشد موجب بروز ازدحام می‌شود [۲]. ازدحام به یک فقدان کارایی شبکه گفته می‌شود، که شبکه از لحاظ باری سنگین است. در این حالت، با توجه به محدودیت ظرفیت صف بافر گره‌های میانی، سرعت خروج بسته‌ها از صف، کمتر از سرعت ورود آن‌ها است و منجر به طولانی شدن صف انتظار و گاهی پر شدن صف و از دست رفتن بسته‌ها می‌شود؛ این امر باعث تاخیر در ارسال و کاهش کیفیت سرویس می‌شود. از سوی دیگر، به‌دلیل دیر رسیدن تایید دریافت بسته، و یا از دست رفتن بسته، بسته دوباره ارسال می‌شود که همین امر موجب اتلاف انرژی، کاهش کارایی (توان عملیاتی) و افزایش تصادم‌ها می‌شود. بعلاوه، این اتلاف انرژی با توجه به محدود بودن منبع انرژی گره‌ها منجر به اتمام انرژی آن‌ها و در نتیجه کاهش طول عمر شبکه و حتی تجزیه‌ی توپولوژی شبکه به اجزای متعدد می‌شود [۱].

در حالت کلی ازدحام در دو سطح رخ می‌دهد؛ در سطح لینک و در سطح گره (شکل ۲):



شکل ۲: انواع رایج ازدحام در WSNها، الف) ازدحام در سطح لینک، ب) ازدحام در سطح گره [۴]

- ازدحام در سطح لینک ناشی از رقابت، تصادم و خطای بیتی است و موجب کاهش نرخ تحویل بسته به چاهک می‌شود [۷]؛ همچنین، این نوع ازدحام مربوط به کانال‌های به اشتراک گذاشته شده میان چندین گره، از طریق پروتکل رقابتی لایه‌ی MAC است [۶].
- ازدحام در سطح گره نیز زمانی رخ می‌دهد که نرخ ورود بسته به یک گره، از نرخ سرویس‌دهی توسط آن بیشتر باشد. از آنجاییکه گره‌های نزدیک به چاهک، مسئول دریافت داده از سایر گره‌ها و تحویل آن به گره چاهک هستند و بار ترافیکی بیشتری را تحمل می‌کنند، این مورد بیشتر در گره‌هایی که به چاهک نزدیک‌تر هستند بروز می‌کند و موجب افزایش گم شدن بسته‌ها و اتلاف انرژی می‌شود.

۲-۱- کنترل ازدحام

کنترل ازدحام به معنی کنترل میزان بار ترافیک شبکه با توجه به میزان ظرفیت شبکه و همچنین کنترل ازدحام داده در شبکه است و به تکنیک‌ها و مکانیزم‌هایی اشاره دارد که می‌توانند پیش از وقوع ازدحام از بروز آن جلوگیری کنند و یا بعد از بروز ازدحام آن را حذف کنند. مکانیزم‌های کنترل ازدحام به طور کلی به دو دسته‌ی حلقه باز و حلقه بسته تقسیم می‌شوند:

- در کنترل ازدحام حلقه باز که روشی پیشگیرانه است، قبل از بروز ازدحام، از وقوع آن جلوگیری می‌شود؛ در این دسته، کنترل ازدحام می‌تواند توسط مبدا یا مقصد انجام شود.
- در کنترل ازدحام حلقه بسته نیز، پس از وقوع ازدحام برای رفع آن تلاش می‌شود.

در حالت کلی کنترل ازدحام مطابق [۴]، شامل سه گام تشخیص ازدحام، اعلان ازدحام و کاهش (کنترل) ازدحام است که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۱- تشخیص ازدحام: برای تشخیص ازدحام در پروتکل‌های کنترل ازدحام، مطابق [۷, ۸]، پارامترهای متفاوتی مانند اشغال بافر (طول صف)، بار کانال و زمان سرویس بسته وجود دارند؛ برخی پروتکل‌ها نیز، ترکیبی از این پارامترها را برای تشخیص ازدحام استفاده می‌کنند.

- اشغال بافر: هر گره حسگر برای بافرینگ داده‌ی ورودی، یک بافر یا صف دارد. به‌عنوان مثال در [۹, ۱۰] برای طول صف یک آستانه‌ی ثابت در نظر گرفته می‌شود؛ هرگاه سطح اشغال بافر، از آستانه‌ها تجاوز کند و ازدحام تشخیص داده شود، هشدار ازدحام مطرح می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

- بار کانال: در این حالت فقط بار بسته در رسانه‌ی بی‌سیم محاسبه می‌شود؛ هرگاه فریم زمان برای انتقال یک بسته‌ی داده از آستانه‌ی از پیش تعریف شده تجاوز کند، نشان‌دهنده‌ی بروز ازدحام است.
- زمان سرویس بسته: معادل اختلاف بین زمان رسیدن بسته در لایه‌ی کنترل دسترسی به رسانه (MAC) و زمان انتقال آن است. هرگاه مدت زمان سرویس بسته از حد آستانه بالاتر رود، ازدحام تشخیص داده می‌شود.

بنابراین برای تشخیص ازدحام، بهتر است ترکیبی از روش‌های بالا به کار گرفته شوند.

۲- اعلان (هشدار) ازدحام: هرگاه ازدحام تشخیص داده شود، گره‌های بالاجریان باید مطلع شوند تا بتوانند اقدامات مناسبی دربرابر ازدحام انجام دهند. اطلاعات مربوط به ازدحام می‌توانند به دو صورت ضمنی یا صریح منتشر شوند.

- هشدار ازدحام صریح (ECN): در این روش اعلان ازدحام توسط گره‌های انباشته و از طریق ارسال بسته‌های کنترلی اضافی به گره‌های بالاجریان انجام می‌شود. این بسته‌های کنترلی اضافی موجب افزایش بار در اطراف ناحیه‌ی انباشته می‌شوند، به همین دلیل تعداد کمی از پروتکل‌های کنترل ازدحام از این روش استفاده می‌کنند [۴].
- هشدار ازدحام ضمنی (ICN): برخلاف روش صریح، در این روش بار اضافی به شبکه و گره‌های انباشته اضافه نمی‌شود. هشدار ازدحام توسط گره‌های انباشته به دیگر گره‌ها و با اختصاص اطلاعات ازدحام به سرآیند بخش داده‌ی بسته، انجام می‌شود [۴].

۳- فاز کنترل ازدحام: در این فاز میزان بار ترافیک شبکه با توجه به میزان ظرفیت شبکه و از طریق روش‌های مختلفی مانند تنظیم نرخ ترافیک، افزایش و تغییر منابع مورد استفاده (کانال و گره)، اولویت‌دهی به گره‌ها و بسته‌ها و تنظیم طول صف کنترل می‌شود.

۳- روش‌های کنترل ازدحام متمرکز

در روش‌های کنترل ازدحام متمرکز، همه‌ی اقدامات مربوط به اجتناب و کنترل ازدحام، توسط گره چاهک یا ایستگاه پایه انجام می‌شوند و معمولا گره چاهک به‌صورت دوره‌ای داده‌ها را از گره‌های حسگر جمع‌آوری می‌کند، احتمال ازدحام را تشخیص می‌دهد و به همین ترتیب برای غلبه بر ازدحام و به‌منظور کاهش بار، به حسگر انباشته پیام‌هایی ارسال می‌کند [۱۱]. از جمله روش‌های کنترل ازدحام متمرکز می‌توان RMST [۱۲]، PSFQ [۱۳]، ESRT [۱۴]، RCRT [۱۵]، I2MR [۱۶] و TADR [۱۷] را نام برد. پروتکل RMST، یک پرس‌وجو از چاهک تولید و به گره‌های حسگر پخش می‌کند. گره‌های حسگر پس از آنکه ماهیت پرس‌وجو را فهمیدند، به‌منظور تشکیل یک مسیر شیب به سمت چاهک، به حسگرهای میانی پاسخ می‌دهند. چاهک مسیرها را انتخاب می‌کند و با جمع‌آوری اطلاعات از ازدحام جلوگیری می‌کند، حسگرها نیز انتقال دهنده‌ی اطلاعات هستند. جهت شیب، جریان در طول کوتاه‌ترین مسیرها به طرف چاهک را تعیین می‌کند. پروتکل PSFQ نیز برای پیشگیری، تشخیص و حل ازدحام، نرخ ارسال/ واکشی را تنظیم می‌کند. داده‌ها از یک منبع با سرعت نسبتا آهسته توزیع می‌شوند؛ در صورت گم شدن داده‌ها در یک گره خاص، گره همان بخش از داده‌ها را با سرعت زیاد واکشی و بازیابی می‌کند (بازیابی محلی). در روش ESRT، گره چاهک با نظارت بر بافر محلی گره‌های حسگر، ازدحام را تشخیص می‌دهد. RCRT نیز یک پروتکل انتقال است که با تعیین و تخصیص نرخ داده، ازدحام را حل می‌کند. در این روش، تشخیص ازدحام، کنترل و تخصیص نرخ در چاهک انجام می‌شود. پروتکل مسیریابی I2MR، به‌منظور حذف ازدحام، چندین مسیر فرعی (جایگزین) را برای مسیریابی داده‌ها رزرو می‌کند و ازدحام طولانی‌مدت را با نظارت بر بافر گره منبع، با استفاده از متوسط تحرک وزن‌دار نمایی تشخیص می‌دهد. برای کنترل ازدحام، پروتکل به گره منبع برای کاهش نرخ انتقال هشدار می‌دهد. گره منبع نیز کاهش نرخ را با منحرف کردن ترافیک به مسیرهای جایگزین انجام می‌دهد و در میان چندین مسیر فرعی، مسیری را که می‌تواند حداکثر ترافیک را در خود جای دهد، انتخاب می‌کند. سنگ بنای الگوریتم TADR نیز، ساخت دو میدان پتانسیل مستقل با استفاده از عمق و طول صف است. به طور معمول، میدان عمق کوتاه‌ترین مسیرها را برای بسته‌ها پیدا می‌کند. در این کار، عمق به‌عنوان حداقل تعداد گامی که یک گره دور از چاهک است تعریف می‌شود. هنگامیکه طول صف به بیش از یک آستانه‌ی خاص افزایش می‌یابد (که این به معنای ازدحام است)، بسته‌ها در مسیرهای با مطلوبیت کمتر جریان می‌یابند یا اینکه در مناطق با بافرهای بیشتر ذخیره می‌شوند. بنابراین، میدان پتانسیل طول صف، راه‌حل ترافیک- آگاه، و میدان عمق، پایه و اساس

www.SID.ir

مسیریابی را برای هدایت بسته‌ها به چاهک فراهم می‌کند.

۴- روش‌های کنترل ازدحام توزیع شده

با تحقیقاتی که در زمینه‌ی کنترل ازدحام انجام شده است، این نتیجه بدست آمده که هر روشی که برای کنترل ازدحام به کار می‌رود باید تا حد امکان، به‌صورت توزیع شده در سطح شبکه قابل پیاده‌سازی باشد، زیرا در صورتی که الگوریتم به‌صورت متمرکز پیاده‌سازی شود، با بزرگ شدن ابعاد شبکه، بار محاسباتی قابل‌توجهی به پردازشگر مرکزی (چاهک) وارد می‌شود و در صورت بروز نقص در آن، کل سیستم دچار اختلال می‌شود. این در حالی است که در یک روش توزیع شده مسئولیت کنترل ازدحام برعهده‌ی همه‌ی گره‌های شبکه است [۱۱]. روش‌های کنترل ازدحام توزیع شده مطابق دسته‌بندی ارائه شده در [۱۸]، به دو گروه سنتی و محاسبات نرم (SC) تقسیم می‌شوند که در روش‌های محاسبات نرم گره‌ها خود را با شرایط شبکه تطبیق داده و جهت اجتناب و کنترل ازدحام، اقدام بهینه را انتخاب می‌کنند.

۴-۱- مکانیزم‌های کنترل ازدحام سنتی در WSNها

این روش‌ها نیز، طبق دسته‌بندی ارائه شده توسط غفاری در [۴] به چهار دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

۴-۱-۱- پروتکل‌های کنترل ترافیک

در این پروتکل‌ها، کنترل ازدحام از طریق کاهش نرخ ارسال در گره مبدا و کاهش تعداد بسته‌های تزریق شده در شبکه صورت می‌گیرد. تکنیک‌های کنترل ترافیک، خود به دو دسته‌ی تکنیک AIMD [۱۹] و تکنیک مبتنی بر نرخ تقسیم می‌شوند [۷]؛ در تکنیک کنترل ترافیک AIMD، هرگاه گره‌های میانی متوجه شوند که ترافیک ارسالی به آن‌ها توسط گره‌های والد، با موفقیت ارسال شده، نرخ خود را بر اساس پارامتر ثابت $\alpha > 1$ افزایش می‌دهند، در غیر اینصورت نرخ خود را در پارامتر $\beta < 1$، ضرب می‌کنند؛ این روش از اطلاعات قبلی درباره‌ی پهنای‌باند شبکه استفاده نمی‌کند. در تکنیک کنترل ترافیک مبتنی بر نرخ نیز، پهنای‌باند موجود شبکه با استفاده از معادلات ریاضی و با صراحت بر اساس نرخ قبلی محاسبه می‌شود. از جمله پروتکل‌های کنترل ترافیک ARC [۲۰]، CODA [۲۱]، CCF [۲۲]، FUSION [۲۳]، CONSISE [۲۴]، FACC [۷]، CADA [۲۵]، ECODA [۲۶] و XLP [۲۷] می‌باشند. هدف پروتکل ARC نظارت بر ترافیک مسیر و تزریق بسته‌ها در جریان ترافیک است. در این روش، مطابق روش کنترل ترافیک AIMD، پهنای‌باند موجود شبکه از طریق افزایش آهسته‌ی پنجره‌ی ازدحام بررسی می‌شود و در صورت بروز ازدحام، پروتکل، پنجره‌ی ازدحام را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. روش CODA، به‌منظور تشخیص ازدحام در گره‌های میانی، بار فعلی و گذشته‌ی کانال (ازدحام در سطح کانال) و سطح بار بافر (ازدحام در سطح گره) را ادغام می‌کند و برای کنترل ازدحام از دو استراتژی عقبگرد گام-به-گام حلقه- باز و رقابت ترافیک چند-مبدا حلقه بسته استفاده می‌کند؛ در استراتژی اول، یک گره، پیام‌های عقب‌گرد را به گره‌های بالاجریان ارسال می‌کند تا نرخ انتقال خود را کم کنند. استراتژی دوم نیز مبتنی بر تصدیق انتها به انتهاست و گره چاهک کنترل ازدحام روی گره‌های مبدا را انجام می‌دهد. پروتکل CCF نیز، از مدت زمان سرویس بسته برای تشخیص ازدحام استفاده می‌کند و با تعیین تعداد گره‌های پایین‌جریان، میانگین نرخ انتقال بسته‌ها و نرخ تولید در هر حسگر، کنترل ازدحام را به‌صورت گام به گام انجام می‌دهد. تنظیم نرخ در این پروتکل، تابعی از مدت زمان سرویس بسته است. در روش FUSION، تشخیص ازدحام بر اساس طول صف و رسیدگی به ازدحام بر اساس کنترل جریان گام به گام، محدودیت نرخ و تکنیک MAC اولویت‌بندی شده انجام می‌شود. پروتکل CONSISE، نرخ انتقال پایین‌جریان هر گره حسگر را به‌منظور بهره‌برداری از پهنای‌باند موجود تنظیم می‌کند. روش FACC نیز، محدود کننده‌ی جریان اصلی از هر گره حسگر است. هدف، حذف بسته‌های نزدیک گره منبع است که به احتمال زیاد نزدیک گره چاهک حذف می‌شوند و به این صورت مانع استفاده‌ی انرژی غیرضروری می‌شود. گره‌های نزدیک مبدا، وضعیت هر جریان را نگه‌داری می‌کنند و به هر جریان عبوری نرخ عادلانه اختصاص می‌دهند، گره‌های نزدیک چاهک نیز از یک الگوریتم احتمالی برای حذف بسته بر اساس تصرف و اشغال بافر توسط جریان‌های مختلف استفاده می‌کنند. در روش CADA، بر اساس ویژگی‌های داده، تعدادی گره نماینده از میان گره‌هایی که در ناحیه‌ی رویداد هستند بر اساس میزان انرژی باقیمانده و فاصله با رویداد، به‌عنوان مبدا داده انتخاب می‌شوند، در نتیجه، ترافیک مبدا می‌تواند به طور فعالانه کاهش یابد یا

www.SID.ir

کنترل شود. همچنین، تشخیص ازدحام بر اساس ترکیبی از اشغال بافر و مصرف کانال و کاهش ازدحام نیز، بر اساس کنترل پویای ترافیک و تنظیم نرخ مبدا انجام می‌شود. پروتکل ECODA هم برای تشخیص ازدحام از آستانه‌های بافر دوتایی و اختلاف بافر وزنی استفاده می‌کند و شامل سه استراتژی آستانه‌های بافر دوتایی و اختلاف بافر وزنی، زمان‌بند صف انعطاف‌پذیر مبتنی بر اولویت بسته و روش کنترل نرخ انتقال مبدا مبتنی بر گره گلوگاه است که برای ازدحام مداوم از استراتژی سوم و برای ازدحام گذرا از روش کنترل ازدحام گام به گام استفاده می‌کند. در روش XLP نیز، تشخیص ازدحام با در نظر داشتن اشغال و تصرف بافر انجام می‌شود. نقش بافر شامل دو مورد نگه‌داری اطلاعات حس شده و جا دادن ترافیک (بسته‌های) امدادی است. هر گره مسئول انتقال و مسیریابی ترافیک با استفاده از گره‌های همسایه‌اش است؛ همچنین با تنظیم نرخ و مسیریابی، ازدحام را کنترل می‌کند. کنترل ازدحام مسیر طولانی‌مدت، ازدحام در امتداد مسیر فعال شامل گره‌های میانی را تشخیص و به گره منبع هشدار می‌دهد که نرخ بارگذاری خود را پایین بیاورد.

۴-۱-۲- پروتکل‌های کنترل منبع

کنترل ازدحام در این پروتکل‌ها، از طریق افزایش منابع شبکه یا با بکارگیری مسیرهای بیکار یا غیرانباشته برای انتقال داده به طرف چاهک صورت می‌گیرد. پروتکل‌های TARA [۲۸]، ADCC [۲۹]، HTAP [۳۰]، DAlPaS [۳۱]، WCCP [۳۲] و ALACCP [۶] در این دسته قرار دارند. در روش TARA، تشخیص ازدحام، با بررسی بافر اشغال شده و بار کانال صورت می‌گیرد؛ برای کاهش ازدحام نیز، از گره‌های توزیع کننده به‌منظور توزیع ترافیک ناشی از نقطه‌ی ازدحام بین مسیر اصلی و مسیرهای انحرافی و از گره‌های ادغام کننده برای ادغام دو جریان تفکیک شده استفاده می‌شود. از آنجاییکه TARA نیازمند اطلاعات درباره‌ی توپولوژی شبکه است، بنابراین برای شبکه‌های حسگر مقیاس بزرگ، عملی و امکان‌پذیر نیست. پروتکل ADCC، کنترل ازدحام را بر اساس روش‌های کنترل منبع و کنترل ترافیک انجام می‌دهد؛ از جنبه‌ی کنترل منبع و به‌منظور تشخیص ازدحام، ADCC با نظارت بسته‌های ورودی در سطح MAC، به‌صورت دوره‌ای زمان سرویس آن‌ها را محاسبه می‌کند. با توجه به مدت زمان سرویس بسته‌ها، اگر درجه‌ی ازدحام پایین‌تر از آستانه‌ی معین باشد چرخه‌ی کار برای کاهش ازدحام تنظیم می‌شود؛ از سوی دیگر و از جنبه‌ی کنترل ترافیک، اگر درجه‌ی ازدحام به بالاتر از آستانه‌ی مشخص رشد کند، هشدار ازدحام به گره‌های بالاجریان داده می‌شود تا نرخ ارسال خود را تنظیم کنند. پروتکل کنترل ازدحام گام به گام HTAP، به‌منظور کاهش ازدحام، مسیرهای جایگزین به طرف چاهک را به‌صورت پویا تولید می‌کند و شامل چهار بخش متفاوت است: کنترل توپولوژی، ایجاد درخت سلسله‌مراتبی، ایجاد مسیر جایگزین و رسیدگی به گره‌هایی که باتری‌شان تخلیه شده است؛ در کنترل توپولوژی، هر گره جدول همسایگی خود را ایجاد و بروزرسانی می‌کند. در بخش ایجاد درخت، یک درخت سلسله‌مراتبی ساخته می‌شود که در آن، گره مبدا به‌عنوان ریشه در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از یک متد دست‌تکانی دوطرفه، گره گیرنده، سطح ازدحام خود را به گره فرستنده اطلاع می‌دهد. در ایجاد مسیر، گره فرستنده، گرهی که انباشته نیست و ازدحام ندارد از جدول همسایگی خود انتخاب می‌کند. در بخش آخر نیز، اگر باتری گره حسگری تخلیه شود، جدول همسایگی بروزرسانی می‌شود. روش DAlPaS، توزیع شده و کاملا پویا است و به‌منظور کاهش احتمال ازدحام استفاده می‌شود. این روش برای کاهش ازدحام، یک تکنیک مرحله-نرم را پیشنهاد می‌دهد که در آن هر گره برای خدمت‌رسانی تنها به یک جریان استفاده می‌شود؛ به این ترتیب ازدحام مبتنی بر بافر کاهش خواهد یافت. در صورتی که تکنیک بالا انجام نشود، الگوریتم DAlPaS، از روش مرحله-سخت خود استفاده می‌کند که در آن جریان‌های داده مجبورند مسیر خود را تغییر دهند، به گونه‌ای که گره گیرنده انباشته نباشد. WCCP یک روش آگاه از ازدحام لایه متقاطع است که موجب بهینه‌سازی عملکرد شبکه و کیفیت ویدیوی دریافت شده در گره‌های چاهک می‌شود. این روش محتوای چندرسانه‌ای را در نظر می‌گیرد و از دو پروتکل SCAP در گره‌های مبدا و RCCP در گره‌های میانی استفاده می‌کند. پروتکل SCAP (پروتکل اجتناب از ازدحام مبدا)، برای تشخیص ازدحام در شبکه استفاده می‌شود. در پروتکل RCCP نیز، برای تشخیص و کنترل ازدحام در ترافیک رویداد-محور، نظارت بر طول صف گره‌های میانی انجام می‌شود و به‌منظور تنظیم نرخ ارسال، ازدحام به اطلاع پروتکل SCAP در مبدا می‌رسد. در شبکه ممکن است به یک سری از گره‌ها ترافیک سنگینی وارد شود که به آن‌ها گره گلوگاه گفته می‌شود؛ این گره‌ها با مصرف بالای توان، موجب مشکلات جدی ازدحام در WSN می‌شوند و راه‌حلی که در ابتدا برای این مشکل مطرح می‌شود

www.SID.ir

کاهش نرخ ارسال گره‌های مبدا و میانی است؛ با این حال مصرف بالای توان توسط گره‌های گلوگاه هنوز پابرجاست. WSNها شامل تعداد زیادی گره با وضعیت سبک‌بار یا وضعیت بیکارند. اگر ترافیک سنگین اضافی به این گره‌ها توزیع شود، کل شبکه یک وضعیت پایدار را حفظ می‌کند و برای همه‌ی گره‌ها تعادل بار حفظ می‌شود. ALACCP، یک پروتکل کنترل ازدحام توزیع شده است که برای کاهش مقدار ازدحام از کاهش نرخ انتقال و برای کاهش مقدار ترافیک اضافی، از گره‌های در وضعیت سبک‌بار و بیکار استفاده می‌کند.

۴-۱-۳- روش اولویت-آگاه

در محیط‌های مراقبت بهداشتی، داده‌های منتقل شده به طور مستقیم با زندگی و رفاه بیمار در ارتباط هستند و دارای اهمیت و حساسیت می‌باشند، بنابراین در نظر گرفتن اهمیت بسته‌ها یا گره‌ها در روش‌های کنترل ازدحام امری اساسی است [۱۸]؛ به همین دلیل، در روش‌های اولویت-آگاه با تغییر سیاست‌های تخصیص کانال، به گره‌های انباشته شده یا بسته‌های با اولویت بالاتر، برای دسترسی به کانال اولویت داده می‌شود [۴]. برخی از پروتکل‌های این دسته PCCP [۳۳]، DPCC [۳۴]، PHTCCP [۳۵] و COCM [۳۶] هستند. پروتکل PCCP، درجه‌ی ازدحام را بر اساس نرخ بین زمان رسیدن و زمان سرویس بسته اندازه‌گیری می‌کند و تشخیص ازدحام هوشمند نیز بر اساس همین اختلاف نرخ صورت می‌گیرد. این روش از درجات شاخص اولویت متفاوت استفاده می‌کند که بر اساس آن، گره حسگر با شاخص اولویت بالاتر، از پهنای‌باند بیشتری استفاده می‌کند و ترافیک بیشتری تزریق می‌کند. اعلان ازدحام در این روش به‌صورت ضمنی انجام می‌شود. هدف پروتکل DPCC، پیش‌بینی ازدحام و پخش ترافیک به‌صورت عادلانه و پویا روی کل شبکه است و شامل سه جزء انتخاب گره‌های ارسال رو به جلو و ارسال رو به عقب (BFS)، پیش‌بینی و تشخیص ازدحام (PCD) و تنظیم نرخ پویای مبتنی بر اولویت (DPRA) می‌باشد. پروتکل PHTCCP نیز در برنامه‌های پزشکی کاربرد دارد و در آن فرض بر این است که شبکه‌ی حسگر شامل گره‌های چندمنظوره است. بسته‌ها پس از ورود به یک گره دسته‌بندی می‌شوند و وابسته به اولویتشان درون کلاس ترافیک خود قرار می‌گیرند؛ به بسته‌های وارد شده به یک گره، اولویت بالاتری نسبت به بسته‌های تولید شده توسط آن گره داده می‌شود. در این روش هشدار ازدحام به‌صورت ضمنی و کنترل ازدحام به‌صورت گام به گام انجام می‌شود و برای اندازه‌گیری سطح ازدحام در هر گره i نیز، نرخ سرویس بسته (r_i) استفاده می‌شود. در PHTCCP، نرخ مبدا با توجه به سطح ازدحام گره تغییر می‌کند. پروتکل COCM هم، شامل سه واحد اجتناب از ازدحام، کنترل ازدحام و تفکیک سرویس است؛ در واحد کنترل و اجتناب از ازدحام، ممانعت از ازدحام از طریق مسیریابی چندگانه با مراحل متفاوت، شامل انتشار درخواست، گزارش رویداد، ایجاد مسیر و ارسال داده انجام می‌شود. در واحد تفکیک سرویس سه نوع ترافیک حساس، غیرحساس و بسته‌های کنترلی در نظر گرفته می‌شوند که در گام ارسال داده، داده‌های حساس که اولویت بالایی دارند از طریق کوتاه‌ترین مسیرها و داده‌های غیرحساس و بسته‌های کنترلی از طریق دیگر مسیرها ارسال می‌شوند. در صورت بروز ازدحام، یک نرخ جدید به ترافیک‌های مبدا تخصیص داده می‌شود.

۴-۱-۴- مکانیزم دستیار-صف

در این دسته تمرکز اصلی روی صف گره‌هاست و از یک تکنیک تنظیم نرخ ساده مانند AIMD به‌منظور پایین نگه داشتن طول صف استفاده می‌کنند. از جمله پروتکل‌های این دسته می‌توان IFRC [۳۷]، QCCP-Ps [۳۸]، GMCAR [۳۹]، QMCC [۴۰] و HOCA [۴۱] را نام برد؛ پروتکل IFRC از یک روش تخصیص نرخ توزیع شده استفاده می‌کند که در آن، معیار تشخیص ازدحام اندازه‌ی طول صف است. روش QCCP-Ps نیز، پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت (PCCP) را با افزودن امکان اداره‌ی صف، بهینه کرده و طول صف را به‌عنوان شاخص درجه‌ی ازدحام در نظر می‌گیرد. در این روش، نرخ ترافیک هر گره مبدا بر اساس درجه‌ی ازدحامش افزایش یا کاهش می‌یابد. GMCAR، یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر QoS و شبکه است. در هر شبکه‌ی توری، هر گره اصلی مسئول تحویل داده‌ی تولید شده توسط هر گره در آن شبکه و همچنین مسیریابی داده‌های دریافت شده از گره‌های اصلی شبکه‌های همسایه است. از هر گره اصلی به گره چاهک چندین مسیر وجود دارد؛ این

www.SID.ir

گره‌ها به‌منظور پیشگیری از پر شدن بافر، به طور پیوسته سطح بافر خود را چک می‌کنند، بنابراین هنگامی‌که سطح بافر از آستانه‌ی از پیش تعریف شده تجاوز کند، ازدحام تشخیص داده می‌شود. مکانیزم اجتناب از ازدحام نیز، بر اساس منحرف کردن ترافیک ورودی به دیگر مسیرهای موجود شروع می‌شود. پروتکل QMCC به‌منظور ارائه‌ی قابلیت اطمینان و کاهش گم شدن بسته، بر اساس مدیریت کارای صف طراحی شده است. هر گره برای تشخیص ازدحام، طول صف خود و والدان خود را در نظر می‌گیرد و نرخ انتقال بر اساس اشغال محلی گره و گره‌های پایین‌جریان تعریف می‌شود. در روش HOCA، در گام اول و در فاز مسیریابی، با استفاده از مسیریابی آگاه QoS و چند-مسیره، اجتناب از ازدحام صورت می‌گیرد و در مواردی که امکان اجتناب از ازدحام وجود نداشته باشد، از طریق یک الگوریتم کنترل ازدحام بهینه شده کاهش می‌یابد. در صورت افزایش نرخ ارسال بسته‌ی داده و وقوع ازدحام، مکانیزم مبتنی بر روش تشخیص زودرس تصادفی (RED) برای تشخیص ازدحام، مکانیزم هشدار ازدحام ضمنی و یک تنظیم نرخ بهینه با هدف کاهش نرخ گم شدن بسته استفاده می‌شود.

۴-۲- پروتکل‌های محاسبات نرم (SC)

این گروه از پروتکل‌ها، تکنیک‌های فردی و خردمندانه‌ای هستند که مبتنی بر اتوماتای یادگیر (LA)، منطق فازی (FL) و تئوری بازی (GT) می‌باشند و کارایی‌های شبکه‌های حسگر را بهبود می‌دهند [۱۸].

۴-۲-۱- پروتکل‌های مبتنی بر یادگیری

در روش‌های سنتی، برای مقابله با ازدحام، به جای یک روش پیشگیرانه، از یک روش درمانی استفاده می‌کردند؛ یعنی برای رفع مشکل ازدحام، می‌بایست یک بار مشکل رخ دهد و پس از آن، از بروز مجدد ازدحام جلوگیری می‌شد. پروتکل‌های مبتنی بر یادگیری، با استفاده از عامل هوشمند مستقر در گره‌های حسگر، به‌صورت هوشمندانه تلاش می‌کنند تا از شروع ازدحام اجتناب کنند. این روش‌ها، هوشمندانه از سابقه‌ی کار خود یاد می‌گیرند و با پیشرفت زمان، به طور قابل‌توجهی عملکرد کنترل ازدحام را بهبود می‌دهند. روش‌های LACAS [۲]، MLACAS [۴۲]، LACCP [۴۳]، PBCCP [۴۴]، FLOCK-CC [۱] و OCMP [۴۵] کنترل ازدحام را بر اساس یادگیری با استفاده از اتوماتای یادگیر انجام می‌دهند که در ادامه هر یک به طور مختصر شرح داده می‌شوند؛

در رویکرد LACAS با گره‌های میانی و گره چاهک، نرخ جریان داده به‌گونه‌ای کنترل می‌شود که گره‌های میانی به گره مبدا بازخورد ارائه می‌دهند و درعوض، خودشان بر اساس خروجی اتوماتای مستقر در آن‌ها تنظیم می‌شوند؛ اتوماتا این کار را با تعامل پیوسته با محیط انجام می‌دهد. LACAS در مقایسه با مکانیزم‌های بازخوردی گام به گام و کنترل مبدا، با بهینه‌سازی مصرف منابع باارزش شبکه، مانند انرژی باقی‌مانده در گره‌ها و ظرفیت لینک، کارایی شبکه را افزایش می‌دهد. روش MLACAS نیز، رویکرد LACAS را برای محیط پویا با گره‌های سیار به کار می‌گیرد. در پروتکل LACCP، نرخ ارسال و نرخ دریافت گره‌های میانی با استفاده از اتوماتای یادگیر مستقر در گره چاهک تنظیم می‌شوند و هر گره میانی بر اساس نوع داده‌ی خود یک اولویت دریافت می‌کند. PBCCP، پروتکل کنترل ازدحام و سیستم اولویت‌بندی برای نظارت علائم حیاتی بیمار در برنامه‌های نظارت و مراقبت سلامت است. این پروتکل شامل دو بخش مکانیزم مدیریت صف فعال (AQM) و مکانیزم تخصیص پهنای‌باند است. مکانیزم مدیریت صف فعال مبتنی بر اتوماتای یادگیر (LA) است که برای حداقل‌سازی اشکالات و انتخاب بهترین عمل از میان دیگر عمل‌ها، در گره‌های میانی پیاده‌سازی می‌شود. در مکانیزم تخصیص پهنای‌باند نیز، پهنای‌باند تخصیص داده شده به هر گره بر اساس شاخص اولویت و ازدحام تعیین می‌شود. نرخ سرویس در گره‌های میانی متفاوت است و بسته‌های مهم در مقایسه با دیگر بسته‌ها، اولویت بالاتری دارند. در FLOCK-CC، یک روش کنترل ازدحام مبتنی بر گروه (Flock-CC) معرفی می‌شود که اساس کار آن بر مبنای تقلید رفتار پرندگان است. ایده‌ی اصلی این روش، انتقال بسته به طرف چاهک است، در حالی که اجتناب و کنترل ازدحام را با تقلید از رفتار اجتناب از مانع در دسته‌های پرنده فراهم می‌کند. پروتکل OCMP نیز از دو مرحله تشکیل شده است؛ در مرحله اول تلاش می‌کند تا با استفاده از روش مدیریت صف AQM از بروز ازدحام جلوگیری کند و با توجه به احتمال حذف بسته، برای پذیرش یا حذف بسته‌های ورودی تصمیم می‌گیرد. اگر

www.SID.ir
Archive of SID

بسته‌ی ورودی پذیرفته شود، در مرحله دوم و به‌منظور کنترل ازدحام احتمالی، از سه مکانیزم تشخیص ازدحام مبتنی بر اتوماتا (ACD)، هشدار ازدحام ضمنی (ICN) و تنظیم نرخ بهینه شده (ORA) استفاده می‌کند.

۴-۲-۲- پروتکل‌های مبتنی بر فازی

منطق فازی می‌تواند یک روش پیشگیرانه برای غلبه بر مسائل مربوط به کیفیت سرویس را فراهم کند و بدون نیاز به یک مدل ریاضی اثربخشی‌های WSN و HWSN را افزایش دهد [۱۸]. روش تشخیص ازدحام بر اساس سیستم منطق فازی نوع ۲ (T2-FLS) [۴۶] و پروتکل کنترل ازدحام فازی مبتنی بر مدیریت فعال صف [۱۸] در این دسته قرار دارند.

۴-۲-۳- پروتکل‌های مبتنی بر تئوری بازی

از کاربردهای تئوری بازی می‌توان به ارسال بسته، طراحی پروتکل مسیریابی، تخصیص پهنای‌باند، کنترل توان و صرفه-جویی در انرژی، کنترل کیفیت سرویس، امنیت و مدیریت حسگر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم اشاره کرد [۱۸]. تئوری بازی تفاضلی تصادفی [۴۷]، از جمله پروتکل‌های کنترل ازدحام مبتنی بر تئوری بازی است.

جدول ۱: دسته‌بندی پروتکل‌های کنترل ازدحام با ترتیب زمانی

نام پروتکل	متمرکز یا توزیع شده	سنتی یا محاسبات نرم	معیار تشخیص ازدحام			سیاست کنترل ازدحام			
			اشغال بافر	بار کانال	زمان سرویس بسته	کنترل ترافیک	کنترل منبع	اولویت-آگاه	دستیار صف
RMST [12]	متمرکز	سنتی			✓		✓		
ARC [20]	توزیع شده	سنتی		✓		✓		✓	
PSFQ [13]	متمرکز	سنتی	✓			✓			
ESRT [14]	متمرکز	سنتی	✓				✓		
CODA [21]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓			
RCRT [15]	متمرکز	سنتی	✓			✓			
CCF [22]	توزیع شده	سنتی			✓	✓			
FUSION [23]	توزیع شده	سنتی	✓			✓	✓		
[9]	توزیع شده	سنتی	✓						✓
IFRC [37]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓			✓
CONSISE [24]	توزیع شده	سنتی		✓		✓			
TARA [28]	توزیع شده	سنتی	✓	✓			✓		
PCCP [33]	توزیع شده	سنتی			✓			✓	
I2MR [16]	متمرکز	سنتی	✓			✓	✓		
QCCP-Ps [38]	توزیع شده	سنتی	✓		✓	✓		✓	✓
FACC [7]	توزیع شده	سنتی		✓		✓			✓
LACAS [2]	توزیع شده	محاسبات نرم (اتوماتای یادگیر)	✓			✓			
CADA [25]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓			
ECODA [26]	توزیع شده	سنتی	✓			✓		✓	
XLP [27]	توزیع شده	سنتی	✓			✓			
ADCC [29]	توزیع شده	سنتی	✓	✓	✓	✓	✓		
[48]	توزیع شده	سنتی	✓				✓		✓
MLACAS [42]	توزیع شده	محاسبات نرم (اتوماتای یادگیر)	✓			✓			
TADR [17]	متمرکز	سنتی	✓				✓		
[49]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓			
[50]	توزیع شده	سنتی	✓				✓		
DPCC [34]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓		✓	
LACCP [43]	توزیع شده	محاسبات نرم(اتوماتای یادگیر)	✓			✓		✓	
[51]	توزیع شده	سنتی		✓			✓		
[52]	توزیع شده	سنتی	✓			✓	✓		
PHTCCP [35]	توزیع شده	سنتی			✓	✓		✓	
[53]	توزیع شده	سنتی		✓				✓	
GMCAR [39]	توزیع شده	سنتی	✓				✓		✓
QMCC [40]	توزیع شده	سنتی	✓			✓			✓

Archive of SID

www.SID.ir

HTAP [30]	توزیع شده	سنتی	✓				✓		
COCM [36]	توزیع شده	سنتی	✓				✓	✓	
PBCCP [44]	توزیع شده	محاسبات نرم (اتوماتای یادگیر)	✓					✓	
FLOCK-CC [1]	توزیع شده	محاسبات نرم (حرکت پرندگان)	✓			✓	✓		
DAlPaS [31]	توزیع شده	سنتی	✓				✓		
WCCP [32]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓	✓		
HOCA [41]	توزیع شده	سنتی	✓	✓		✓	✓	✓	✓
OCMP [45]	توزیع شده	محاسبات نرم(اتوماتای یادگیر)	✓			✓		✓	✓
[54]	توزیع شده	سنتی	✓			✓		✓	
T2-FLS [46]	توزیع شده	محاسبات نرم (فازی)	✓			✓		✓	
[47]	توزیع شده	محاسبات نرم (تئوری بازی)		✓		✓			
ALACCP [6]	توزیع شده	سنتی	✓			✓	✓		
[18]	توزیع شده	محاسبات نرم (فازی)	✓			✓			✓

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد، کنترل ازدحام با توجه به محدودیت‌های گره‌های حسگر بی‌سیم از لحاظ منابع، پهنای‌باند ارتباطی و انرژی، می‌تواند نقش بسزایی در افزایش بهره‌وری منابع شبکه، کاهش اتلاف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم داشته باشد. در این مقاله پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود در دو دسته‌ی متمرکز و توزیع شده قرار گرفتند. پروتکل‌های کنترل ازدحام متمرکز، موجب سربار ارتباطی بیش از حد می‌شوند که به سرعت باتری گره‌ها را تخلیه می‌کنند [۱] و دربرابر تغییرات شبکه و شرایط ترافیک، واکنش آهسته‌ای نشان می‌دهند [۵۵]، به همین دلیل، پروتکل‌های کنترل ازدحام توزیع شده معرفی شدند که خود به دو گروه سنتی و محاسبات نرم تقسیم می‌شوند؛ از میان این دو گروه نیز، پروتکل‌های محاسبات نرم به‌دلیل هوشمند بودن، قابلیت تطبیق بهتری نسبت به تغییرات ترافیک نشان می‌دهند. هر یک از پروتکل‌های کنترل ازدحام، بر اساس یک یا چند معیار ازدحام را تشخیص، و برای کنترل آن سیاستی مشخص را اعمال می‌کنند. جدول ۱ به طور خلاصه نشان می‌دهد که هر یک از پروتکل‌های ارائه شده در کدام دسته قرار دارد و از چه سیاست‌هایی برای تشخیص و کنترل ازدحام بهره جسته است. همانطور که نشان داده می‌شود اغلب روش‌های توزیع شده مبتنی بر محاسبات نرم، علاوه بر قدرت تطبیق بهتر با شرایط شبکه، بر اساس پارامترهای وسیع‌تری تشخیص و کنترل ازدحام را انجام می‌دهند، بنابراین کارایی بهتری در تشخیص و رفع ازدحام دارند. لذا برای آینده‌ی کار در این حوزه پیشنهاد می‌شود تا از روش‌های محاسبات نرمی که نیاز به پردازش محاسباتی کم دارند استفاده شود و علاوه بر توزیع‌شدگی عامل‌های کنترل ازدحام، تاثیر همسایگی عامل‌ها نیز در اعمال سیاست‌ها لحاظ شود تا دو عامل همسایه، سیاستی همسو برای کنترل ازدحام اعمال کنند.

مراجع

[1] P. Antoniou, A. Pitsillides, T. Blackwell, A. Engelbrecht and L. Michael, "Congestion control in wireless sensor networks based on bird flocking behavior," *Comput Netw*, vol. 57, pp. 91-1167, 2013.

[2] S. Misra, V. Tiwari and M. S. Obaidat, "Lacas: learning automata-based congestion avoidance scheme for healthcare wireless sensor networks," *IEEEJSelAreasCommun*, vol. 27, no. 4, pp. 79-466, 2009.

[3] D. F. Jenolin Flora, V. Kavitha and M. Muthuselvi, "A survey on congestion control techniques in wireless sensor networks," in *International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*, 2011.

[4] A. Ghaffari, "Congestion control mechanisms in wireless sensor networks: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 52, p. 101–115, 2015.

[5] Rekha, Gomathy, Suraj, Sebastian and Pushparaj, "A survey on congestion control in WSN," *Int. J. Comput. Sci. Commun*, 2010.

[6] T. S. Chen, C. H. Kuo and Z. W. Wu, "Adaptive Load-Aware Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks," *Wireless Pers Commun*, vol. 97, no. 3, pp. 3483-3502, 2017.

[7] X. Yin, X. Zhou, R. Huang, Y. Fang and S. Li, "A fairness-aware congestion control scheme in wireless

www.SID.ir

sensor networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* vol. 58, no. 9, pp. 5225-5234, 2009.

[8] C. Y. Wan, S. B. Eisenman and A. T. Campbell, "Energy-efficient congestion detection and avoidance in sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN),* vol. 7, no. 4, 2011.

[9] S. Chen and N. Yang, "Congestion avoidance based on lightweight buffer management in sensor networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,* vol. 17, no. 9, p. 934–946, 2006.

[10] S. Chen and Z. Zhang, "Localized algorithm for aggregate fairness in wireless sensor networks," in *MobiCom Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2006.

[11] S. A. Shah, B. Nazir and I. A. Khan, "Congestion control algorithms in wireless sensor networks: Trends and opportunities," *Journal of King Saud University Computer and Information Sciences,* pp. 236-245, 2015.

[12] C. Intanagonwiwat, D. Estrin and R. Govindan, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," in *Proceeding MobiCom Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2000.

[13] C. Y. Wan, A. T. Campbell and L. Krishnamurthy, "PSFQ: A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks," in *WSNA '02 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 2002.

[14] O. B. Akan and I. F. Akyildiz, "Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON),* vol. 13, no. 5, pp. 1003-1016 , 2005.

[15] J. Paek and R. Govindan, "rate-controlled reliable transport for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 5th international conference on Embedded networked sensor systems*, 2004.

[16] J. Y. Teo, Y. Ha and C. K. Tham, "Interference minimized multipath routing with congestion control in WSN for high-rate streaming," *IEEE Transactions on Mobile Computing archive,* vol. 7, no. 9, pp. 1124-1137, 2008.

[17] F. Ren , T. He , S. K. Das and C. Lin, "Traffic-Aware Dynamic Routing to Alleviate Congestion in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,* vol. 22, no. 9, pp. 1585 - 1599, 2011.

[18] A. A. Rezaee and F. Pasandideh, "A Fuzzy Congestion Control Protocol Based on Active Queue Management in Wireless Sensor Networks with Medical Applications," *Wireless Pers Commun,* vol. 98, no. 1, p. 815–842, 2017.

[19] D. M. Chiu and R. Jain, "Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks," *Computer Networks and ISDN Systems archive,* vol. 17, no. 1, pp. 1-14, 1989.

[20] A. Woo and D. E. Culler, "A transmission control scheme for media access in sensor networks," in *MobiCom Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2001.

[21] C. Y. Wan, S. B. Eisenman and A. T. Campbell, "congestion detection and avoidance in sensor networks," in *SenSys Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, 2003.

[22] C. T. Ee and R. Bajcsy, "Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks," in *SenSys Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, 2004.

[23] B. Hull, K. Jamieson and H. Balakrishnan, "Mitigating congestion in wireless sensor networks," in *SenSys Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, 2004.

[24] R. Vedantham, R. Sivakumar and S. J. Park, "Sink-to-sensors congestion control," in *IEEE International Conference on Communications*, 2007.

[25] W. W. Fang, J. M. Chen, L. Shu, T. S. Chu and D. P. Qian, "Congestion avoidance, detection and alleviation in wireless sensor networks," *Journal of Zhejiang University SCIENCE C,* p. 63–73, 2010.

[26] L. Q. Tao and F. Q. Yu, "enhanced congestion detection and avoidance for multiple class of traffic in sensor networks," *in IEEE Transactions on Consumer Electronics,* vol. 56, no. 3, p. 1387–1394, 2010.

[27] M. C. Vuran and I. F. Akyildiz, "a cross layer protocol for efficient communication in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing,* vol. 9, no. 11, p. 1578–1591, 2010.

[28] J. Kang , Y. Zhang and B. Nath, "topology-aware resource adaptation to alleviate congestion in sensor networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,* vol. 18, no. 7, p. 919–931, 2007.

[29] D. Lee and K. Chung, "Adaptive duty-cycle based congestion control for home automation networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* vol. 56, no. 1, pp. 42 - 47, 2010.

Archive of SID

www.SID.ir

[30] C. Sergiou, V. Vassiliou and A. Paphitis, "Hierarchical Tree Alternative Path (HTAP) algorithm for congestion control in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 1, pp. 257-272, 2013.

[31] C. Sergiou, P. Antoniou and V. Vassiliou, "A comprehensive survey of congestion control protocols in wireless sensor networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials* , vol. 16, no. 4, p. 1839–1859, 2014.

[32] S. Mahdizadeh Aghdam, M. Khansari, H. R. Rabiee and M. Salehi, "a congestion control protocol for wireless multimedia communication in sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 13, p. 516–534, 2014.

[33] C. Wang, B. Li, K. Sohraby, M. Daneshmand and Y. Hu, "Upstream congestion control in wireless sensor networks through cross-layer optimization," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 25, no. 4, p. 786–795, 2007.

[34] S. Rasouli Heikalabad, A. Ghaffari, M. A. Hadian and H. Rasouli, "Dynamic Predictive Congestion Control in Wireless Sensor Networks," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 8, no. 1, p. 472–477, 2011.

[35] M. Monowar, O. Rahman, A. S. Khan Pathan and C. S. Hong, "Prioritized heterogeneous traffic-oriented congestion control protocol for WSNs," *The International Arab Journal of Information Technology*, vol. 9, no. 1, 2012.

[36] A. A. Rezaee, M. H. Yaghmaee and A. M. Rahmani, "Class based optimized congestion management protocol for healthcare," *Computer Science and Communications*, vol. 5, pp. 137-149, 2013.

[37] S. Rangwala, R. Gummadi, R. Govindan and K. Psounis, "Interference-aware fair rate control in wireless sensor networks," in *SIGCOMM Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, 2006.

[38] M. H. Yaghmaee and D. Adjeroh, "A new priority based congestion control protocol for wireless multimedia sensor networks," in *International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, 2008.

[39] O. Banimelhem and S. Khasawneh, "Grid-based Multipath with Congestion Avoidance Routing," in *International Conference on Telecommunications*, 2012.

[40] S. M. Abdullah, A. F. M. Imamul Hoq Bappi and S. Anwar, "Queue management based congestion control in wireless body sensor network," in *International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, 2012.

[41] A. A. Rezaee, M. H. Yaghmaee, A. M. Rahmani and A. H. Mohajerzadeh, "HOCA: Healthcare Aware Optimized Congestion Avoidance and control protocol for wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications archive*, vol. 37, p. 216–228, 2014.

[42] R. Gunasundari, R. Arthi and S. Priya, "An efficient congestion avoidance scheme for mobile healthcare wireless sensor networks," *Int. J. Advanced Networking and Applications*, vol. 2, no. 3, p. 693–698, 2010.

[43] N. Farzaneh and M. H. Yaghmaee, "Joint active queue management and congestion control protocol for healthcare applications in wireless body sensor networks," in *ICOST Proceedings of the 9th international conference on Toward useful services for elderly and people with disabilities: smart homes and health telematics*, 2011.

[44] M. H. Yaghmaee, N. F. Bahalgardi and D. Adjeroh, "A prioritization based congestion control protocol for healthcare monitoring application in wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 72, no. 4, p. 2605–2631, 2013.

[45] A. A. Rezaee, M. H. Yaghmaee Moghaddam and A. M. Rahmani, "Optimized congestion management protocol for healthcare wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 75, no. 1, p. 11–34, 2014.

[46] S. Ghanavati, J. Abawaji and D. Izadi, "A congestion control scheme based on fuzzy logic in wireless body area networks," in *IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications*, 2015.

[47] J. Hu, Q. Qian, A. Fang, S. Wu and Y. Xie, "Optimal data transmission strategy for healthcarebased wireless sensor networks: A stochastic differential game approach," *Wireless Personal Communications: An International Journal archive*, vol. 89, no. 4, p. 1295–1313, 2016.

[48] V. Michopoulos, L. Guan and I. Phillips, "A new congestion control mechanism for WSNs," in *IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, 2010.

[49] V. Michopoulos , L. Guan , G. Oikonomou and I. Phillips, "A comparative study of congestion control algorithms in IPv6 wireless sensor networks distributed computing," in *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)*, 2011.

Archive of SID

www.SID.ir

[50] Z. Li , W. Zou and T. Qi, "A cross-layer congestion control strategy in wireless sensor network," in *EEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology*, 2011.

[51] S. Brahma, M. Chatterjee, K. Kwiat and p. k. Varshney, "Traffic management in wireless sensor networks," *Computer Communications*, vol. 35, no. 6, p. 670–681, 2012.

[52] M. S. B. Tech, R. B. Jayakumari and V. J. Senthilkumar, "Congestion control in wireless sensor networks using prioritized interface queue," in *International Conference on Recent Trends in Computational Methods, Communication and Controls (ICON3C)*, 2012.

[53] J. Xiong , M. R. Lyu and K. W. Ng, "Congestion performance improvement in wireless sensor networks," in *IEEE Aerospace Conference*, 2012.

[54] S. Gambhir, V. Tickoo and M. Kathuria, "Priority based congestion control in WBAN," in *Eighth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, 2015.

[55] R. Jurdak, X. R. Wang, O. Obst and P. Valencia, "Wireless sensor network anomalies: diagnosis and detection strategies," in *Intelligence-Based Systems Engineering*, vol. 10, 2011, pp. 309-325.

Article Title: Congestion Control Protocols in Wireless Sensor Networks: Survey

Atousa Bohloulzadeh
Department of Information Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, E-mail: Bohloulzadeh.atousa@gmail.com

Mehri Rajayi
Department of Information Technology, Faculty of Electrical and Computer, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, E-mail: rajayi@ece.usb.ac.ir

Abstract. Wireless sensor networks are composed of a number of sensor nodes, which are limited in terms of resources for computing, storage, communication bandwidth and the most important, energy. One of the major challenges in these networks is congestion caused by Factors such as packet collision, node buffer overflow, transmission channel contention, transmission rate, and many-to-one data transmission scheme from multiple nodes to sink node and affect the quality of service parameters in sensor nodes and energy consumption. Therefore, congestion control is one of the most important fields in wireless sensor networks and requires the development of more sophisticated techniques to avoid, detect and controlling it. In this paper, existing congestion control methods are examined a new category is presented based on the combination of control focus policies, the type of algorithm which is used and the effective parameter in the detection and control of congestion.

Keywords: wireless sensor networks, congestion control, collision, packet loss, energy consumption

Archive of SID

www.SID.ir