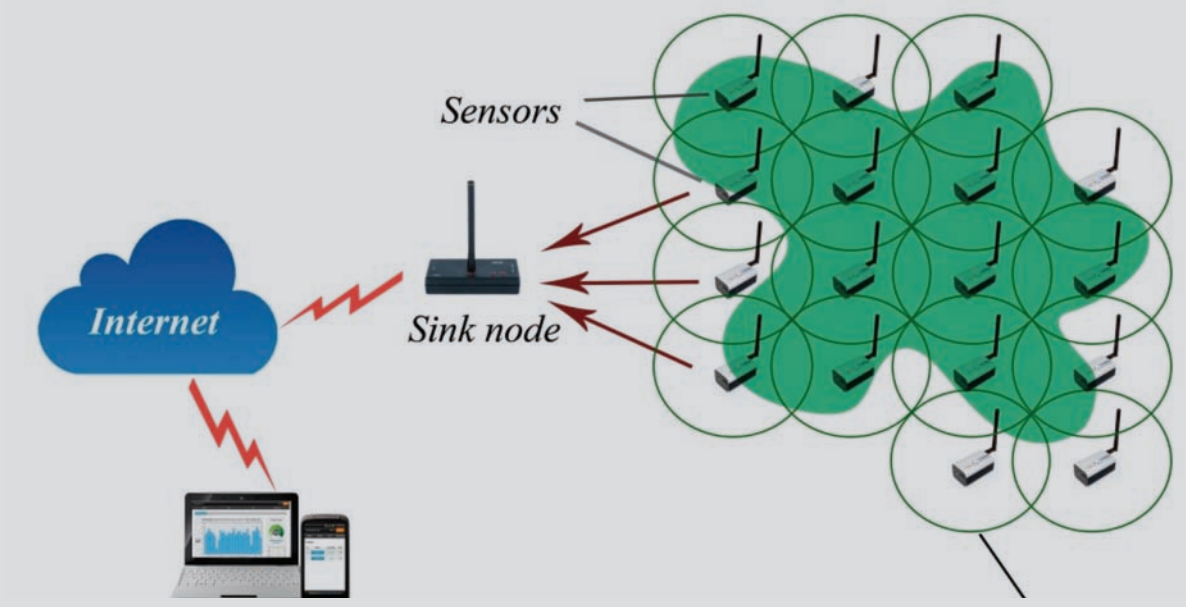


مروری بر رویکردهای کنترل ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم

شورانگیز شمس شمس آبادفراهانی/گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام‌شهر/shams@iiau.ac.ir

سیاوش فخیمی درخشان/گروه سیستم‌های تطبیقی/ موسسه تئوری اطلاعات و اتوماسیون آکادمی علوم چک/ fakhimi@utia.cas.cz

چکیده

مساله کنترل ازدحام، یک مساله بسیار مهم در شبکه‌های مخابراتی است و با رشد نیاز به پهنای باند، بار، اندازه و ارتباط شبکه‌ها بایکدیگر، بر اهمیت آن افزوده شده است. این مساله نیاز به طراحی شبکه‌ها با الگوریتم‌های کنترل ازدحام مناسب را به‌خصوص برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم نشان می‌دهد. در این مقاله به بررسی اجمالی روش‌های کنترل ازدحام موجود در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم باتوجه به اطلاع رسانی ازدحام، ردیابی ازدحام و اجتناب از ازدحام می‌پردازیم.

کلمات کلیدی: اجتناب از ازدحام، اطلاع‌رسانی ازدحام، ردیابی ازدحام، شبکه‌های سنسوری بی‌سیم، کنترل ازدحام

Congestion control in wireless sensor networks: a survey

Shoorangiz Shams Shamsabad Farahani/ Assistant professor/ Department of Electrical Engineering, Islamshahr branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran/ shams@iiau.ac.ir.

Siavash Fakhimi Derakhshan/ Research assistant/ Adaptive System Department, Institute of Information Theory and Automation of the Czech Academy of Science / fakhimi@utia.cas.cz

Abstract:

Congestion control is an important issue in telecommunication networks, and with the growing need of bandwidth, load, size and network connections, its importance is increasing. This issue requires the design of networks with appropriate congestion control algorithms, especially for wireless sensor networks. This paper outlines the congestion control methods available in wireless sensor networks in terms of congestion notification, congestion detection, and congestion avoidance.

Keywords: Congestion control, wireless sensor networks, congestion notification, congestion avoidance, congestion detection

۱- مقدمه

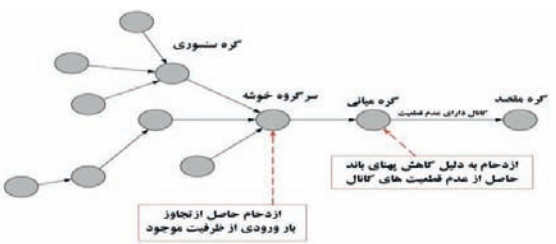
امروزه برقراری ارتباط بی‌سیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و شبکه‌های سنسوری بی‌سیم نقش بسیار مهمی درصنعت و زندگی ایفا می‌کنند[۱]. ازدحام یک مساله شایع در شبکه‌های بی‌سیم است و چنانچه در شکل(۱) نشان داده شده است زمانی رخ می‌دهد که بار ورودی از میزان ظرفیت موجود تجاوز کند که منجر می‌شود به سرریز بافر در گره و یا این‌که پهنای باند به دلیل کانال‌های دارای عدم قطعیت کاهش یابد[۲].

نتیجه ایجاد ازدحام، افزایش تاخیر، افزایش نرخ از دست دادن اطلاعات، کاهش گذردهی و افزایش تعداد ارسال‌های مجدد است، بنابراین باید ازدحام را کاهش داد. مطالعات بسیاری برروی روش‌های کنترل ازدحام انتها به انتها در شبکه‌های با سیم انجام گرفته است[۳] که البته برای کاهش ایرادات آنها، روش کنترل ازدحام گام به گام [۴] پیشنهاد شده است که دارای برخورد سریع‌تری با ازدحام است و

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-25]

بنابراین در شبکه‌های بی‌سیم ترجیح داده می‌شود. یک روش کنترل ازدحام مناسب باید دارای ۳ عملکرد مهم باشد:

- **ردیابی ازدحام**[۱]: ردیابی ازدحام درواقع ایجاد و محل ازدحام را مشخص می کند. ازدحام را می توان با توجه به پارامترهای مختلفی مانند وضعیت کانال، طول صف، نرخ بسته‌ها، زمان سرویس‌دهی بسته، مدت زمان ارسال بسته و تاخیر تعیین نمود[۵].
- **اطلاع رسانی ازدحام**[۲]: پس از مطلع شدن از وقوع ازدحام، گره سنسوری می‌بایست اطلاعات مربوط به ازدحام را به گره مقصد یا همسایه بالادستی گره بدهد. اطلاعات می‌تواند به‌صورت یک بیت واحد یا اطلاعات جامعی از نرخ مجاز، میزان ازدحام و غیره باشد. برای اطلاع‌رسانی ازدحام دو روش ضمنی[۳] و صریح[۴] وجود دارد. در روش ضمنی اطلاعات مربوط به ازدحام در سرآیند بسته اعلام می‌شود، بنابراین نیازی به ارسال بسته مجزای کنترلی نمی‌باشد، در حالی که در روش صریح از یک بسته کنترلی مجزا برای آگاه کردن گره مبدا استفاده می‌شود.
- **اجتناب از ازدحام**[۵]: درواقع اجتناب از ازدحام به کاهش ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم می‌پردازد و برای این منظور می‌توان از روش‌های گوناگونی مانند کنترل نرخ، ازدست دادن بسته وقتی بافر گره دچار ازدحام پر است، ارسال ترافیک به قسمت‌های دیگر، روش شایعات مودبانه[۶] و طراحی‌های بهینه بین لایه‌ای استفاده نمود.



شکل ۱: ایجاد ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم

۲- مروری بر روش های کنترل ازدحام موجود

کنترل ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این قسمت به معرفی اجمالی پروتکل‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم خواهیم پرداخت.

۲-۱-پروتکل ردیابی و اجتناب از ازدحام(CODA)[۷]

این پروتکل [۶]یک روش کنترل ازدحام است که دارای ۳ جزء اصلی ردیابی ازدحام براساس گیرنده[۸]، فشار به عقب حلقه باز گام به گام[۹] و تنظیم چند مبدایی حلقه بسته[۱۰] می‌باشد. در ردیابی ازدحام براساس گیرنده، CODA سعی در ردیابی ازدحام با پایش میزان اشغال بافر دارد و اگر چنانچه میزان اشغال بافر از یک مقدار آستانه بیشتر شود، ازدحام رخ داده است. در این حالت گره به انتشار پیام فشار به عقب می‌پردازد. پیام‌های فشار به عقب به سمت گره مبدا منتشر می‌شوند و به محض دریافت پیام فشار به عقب، گره به تنظیم نرخ خود می‌پردازد و تصمیم به ادامه یا قطع انتشار این پیام بر اساس شرایط شبکه می‌گیرد. در مکانیزم تنظیم چند مبدایی حلقه بسته، وقتی نرخ گره مبدا از یک آستانه‌ای کمتر باشد، گره مبدا با نرخ از پیش تعیین شده‌ای به ارسال اطلاعات می‌پردازد، اما وقتی نرخ گره مبدا از آستانه بیشتر باشد در این حالت گره مبدا دچار ازدحام است و باید یک فیدبک ثابتی از گره مقصد دریافت کند تا نرخ خود را حفظ نماید و در غیر این صورت مجبور به کاهش نرخ خود است، به‌عبارت دیگر وقتی ازدحام شبکه از حد آستانه گذشت، گره مقصد یک سیگنال کنترلی را به همه گره‌های مبدا می‌فرستد تا با یک نظم خاصی یک تاییدیه از گره مقصد دریافت کنند و در غیر این صورت گره‌های مبدا باید نرخ ارسال خود را به‌شدت کاهش دهند. در این روش اطلاع‌رسانی ازدحام صریح است.

۲-۲-پروتکل ترکیب

پروتکل ترکیب[۱۱] [۷] یک مکانیزم کنترل ازدحام است که به ردیابی ازدحام براساس میزان اشغال بافر و نمونه‌برداری از کانال می‌پردازد و از روش اطلاع‌رسانی ازدحام به‌صورت ضمنی استفاده می‌کند. این روش برای کنترل ازدحام از کنترل جریان گام به گام ، محدودسازی نرخ و کنترل دستیابی به رسانه اولویت‌دار[۱۲] استفاده می‌کند. در کنترل جریان گام به گام از ارسال گره‌های سنسوری در زمانی که بافر گیرنده پر است، اجتناب می‌شود. در محدودسازی نرخ به پایش ترافیک ورودی به شبکه توسط گره‌های مختلف می‌پردازد و در کنترل دستیابی به رسانه اولویت دار تضمین می‌شود که گره دچار ازدحام شانس بیشتری برای دستیابی به کانال پیدا کند و بنابراین صف خروجی خود را در اسرع وقت تخلیه کند.

مانند CODA ، Fusion از یک آستانه[۱۳] ایستا[۱۴] برای ردیابی ازدحام استفاده می‌کند. ایراد این روش در این است که تنظیم یک آستانه مناسب در کانال‌های پویا[۱۵] بسیار مشکل است. در هر دو روش CODA و Fusion، گره‌ها از یک پیام همه پخشی[۱۶] برای آگاه‌سازی گره‌های همسایه از وقوع ازدحام استفاده می‌کنند اما هیچ‌گونه تضمینی برای اینکه این پیام به گره‌های مبدا برسد وجود ندارد.

۲-۳-پروتکل چکیدن

پروتکل چکیدن[۱۷][۸]، یک روش خود تنظیم برای توزیع و نگهداری کد در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم است. این روش برای کنترل نرخ از شایعات مودبانه استفاده می‌کند. در این روش، هر گره سعی می‌کند که خلاصه‌ای از اطلاعاتش را به‌صورت متناوب توزیع کند. در هر بار، اگر چنانچه تعداد اطلاعاتی که این گره از گره‌های همسایه دریافت می‌کند، از یک حد آستانه‌ای تجاوز کند، هر گره می‌تواند توزیع اطلاعاتش را«مودبانه» متوقف کند. ازطرف دیگر، اگر گره‌ها کد یا اطلاعات جدیدی دریافت کنند، می‌توانند تناوب توزیع اطلاعات را کوتاه کنند و بنابراین کد جدید را زودتر ارسال کنند. در این روش از ردیابی و اطلاع‌رسانی ازدحام استفاده نمی‌شود و برای کاهش ازدحام از شایعات مودبانه استفاده می‌گردد.

۲-۴-پروتکل سیفون

پروتکل سیفون[۱۸] [۹] از گره‌های مقصد مجازی که قابلیت کار در نرخ‌های زیاد اطلاعات را دارند، استفاده می‌شود. گره‌های مقصد مجازی ترافیک را از ناحیه با بار شدید به سمت خودشان هدایت می‌کنند. در این روش ردیابی ازدحام با شروع از گره[۱۹] یا با شروع از گره مقصد فیزیکی[۲۰] انجام می پذیرد. مزیت این روش در این است که نیازی به ردیابی ازدحام در هر گره ندارد. در این روش اطلاع‌رسانی ازدحام به‌صورت ضمنی است. ارسال مجدد ترافیک در این پروتکل، توسط یک بیت ارسال مجدد در سرآیند[۲۱] لایه شبکه انجام‌پذیر است. دو روش مختلف برای تنظیم بیت ارسال مجدد وجود دارد به‌طوری‌که بیت ارسال مجدد فقط درصورتی‌که ازدحام ردیابی شود فعال می‌شود یا بیت ارسال مجدد همیشه فعال است و اگر یک گره سنسوری، بسته‌ای با بیت ارسال مجدد فعال دریافت کند، ترافیک را به گره مقصد مجازی می‌فرستد.

۲-۵-پروتکل کنترل انتقال سنسور (STCP)[۲۲]

دراین پروتکل[۱۰]،گره‌های میانی به ردیابی ازدحام براساس طول صف می‌پردازند. در این روش، هر بسته دارای یک بیت اطلاع‌رسانی ازدحام است. در ردیابی ازدحام، گره این بیت را برای اطلاع‌رسانی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-25]

ازدحام به ایستگاه مبنا[۲۳] تنظیم می‌کند. ایستگاه مبنا، گره مبدا مسیر دچار ازدحام را از وقوع ازدحام مطلع می‌کند. به محض دریافت اطلاع رسانی از گره مقصد، گره مبدأ نرخ خود را تنظیم می‌کند یا از مسیر دیگری برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کند.

۲-۶-پروتکل کنترل ازدحام براساس اولویت (PCCP)[۲۴]

این روش[۱۱]، یک مکانیزم کنترل ازدحام براساس اولویت است که به ردیابی ازدحام با توجه به درجه ازدحام می‌پردازد. درجه ازدحام نشان‌دهنده میزان ازدحام در گره سنسوری دچار ازدحام است و به‌صورت نسبت فاصله‌های زمانی بین ورود بسته[۲۵] به زمان سرویس‌دهی بسته تعریف می‌شود. درجه ازدحام، ازدحام را با استفاده از اطلاع‌رسانی ضمنی نشان می‌دهد و از ارسال بسته‌های اضافی برای اطلاع‌رسانی ازدحام اجتناب می‌کند. این روش به گره‌ها براساس میزان درگیر بودن گره، اولویت می‌دهد و به تنظیم نرخ براساس اولویت (PRA)[۲۶] می‌پردازد.

استفاده از فقط زمان سرویس‌دهی زمانی‌که نرخ ورودی برابر یا کمتر از نرخ خروجی در یک کانال با کاربری زیاد می‌باشد، ممکن است غلط‌انداز باشد، بنابراین در PCCP با در نظرگیری نسبت بین زمان سرویس‌دهی بسته و زمان ورود در یک گره خاص که نشان‌دهنده میزان ازدحام است، این مشکل رفع شده است. البته در روش PCCP از میزان کنونی بهره‌وری صف صرفنظر می‌شود که باعث افزایش تاخیرهای صف و سرریزهای متعدد بافر همراه با افزایش ارسال‌های مجدد می‌گردد.

۲-۶-پروتکل مدیریت بافر با وزن کم (LWBM)[۲۷]

دراین روش[۱۲] هر گره، وضعیت بافر خود را به گره‌های همسایه اعلام می‌کند و بدین ترتیب وضعیت بافر تمامی گره‌ها به همسایه‌هایشان منتشر می‌شود. یک گره در صورتی به ارسال اطلاعات می‌پردازد که بافر گره گیرنده پر نباشد. بدین ترتیب نرخ ارسال گره‌های سنسوری به مقدار نزدیک مقدار بهینه می‌رسد بدون اینکه ازدحام ایجاد شود. در این روش باتوجه به وضعیت بافرازدحام ردیابی می شود واطلاع رسانی ازدحام در این روش ضمنی است.

۲-۷-پروتکل تطبیق منابع با توجه به توپولوژی (TARA)[۲۷]

پروتکل [۱۳] براساس افزایش ظرفیت شبکه به جای کنترل ترافیک شبکه برای کاهش ازدحام است. در این پروتکل، ظرفیت شبکه به‌صورت حداکثر گذردهی قابل مشاهده گره‌های مقصد که حداکثر نرخ ارسال مجاز اطلاعات است، تعریف می‌شود. تداخل[۲۸] بین گره‌ها منجر به کاهش ظرفیت لینک می‌شود و در حالتی‌که تداخل بین لینک‌ها وجود ندارد، ظرفیت حداکثر است. ازدحام براساس شرایط کنونی بار شبکه و میزان اشغال بافر ردیابی می‌شود و با فعال‌سازی گره‌های پشتیبان[۲۹] به‌طور پویا در زمان‌های ازدحام کاهش پیدا می‌کند. در این روش اطلاع‌رسانی ازدحام ضمنی است. این پروتکل غیرمتمرکز است و از مدل تحلیل ظرفیت برای تعیین توپولوژی لازم استفاده می‌کند.

۲-۸-پروتکل کنترل ازدحام تطبیقی کیفیت سرویس(QoS-ACC)[۳۰]

این روش [۱۴] از دو روش کنترل ازدحام استفاده می‌کند، یکی برای کنترل ازدحام کوتاه‌مدت و دیگری برای کنترل ازدحام بلندمدت. در مورد کنترل ازدحام کوتاه‌مدت، گره‌های فرزند دچار ازدحام، ترافیک زمان حقیقی را به مسیر دیگری متناسب با وزن‌های مسیرها می‌فرستند که وزن مسیرها وابسته است به تاخیر انتها به انتهای مسیر گره‌های فرزند به مقصد. در ازدحام بلندمدت، گره‌های میانی پیام برگشت به عقب را در مسیر بازگشت به مبدا می‌فرستند. اگر پیام برگشت به عقب به مبدا برسد، مبدا ترافیک زمان حقیقی را در مسیری بر اساس وزن تخصیص داده شده به مسیر می‌فرستد و مسیر اولیه با توجه به شرایط شبکه به‌روزرسانی می‌شود. برای ردیابی ازدحام از شاخصی استفاده می‌شود که در واقع نسبت نرخ متوسط سرویس بسته به نرخ متوسط دریافت بسته است و اگر چنانچه کمتر از یک باشد به معنی وجود ازدحام است.در صورتی‌که ازدحام ردیابی شود، اطلاع‌رسانی ازدحام به‌صورت ضمنی انجام می شود.

۲-۹-پروتکل اجتناب از ازدحام براساس یادگیری خودکار (LACAS)[۳۱]

پروتکل [۱۵]یک روش کنترل ازدحام است که به‌طورخاص برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم و برای کاربردهای پزشکی طراحی شده است که در آن هدف اجتناب از ازدحام است و در صورت وقوع آن، کاهش اطلاعات از دست رفته دراثر ازدحام می‌باشد.در این روش سعی می‌شود که نرخ دریافت اطلاعات و نرخ ارسال یکسان باشد تا از ازدحام اجتناب شود. این پروتکل بر اساس یادگیری خودکار است و در آن هر گره از رفتار گذشته درس می‌گیرد و بهترین نرخ اطلاعات را برای اجتناب از وقوع ازدحام در شبکه انتخاب می‌کند و در آن از هیچ مکانیزم ردیابی و اطلاع رسانی ازدحام استفاده نمی‌شود.

۲-۱۰-پروتکل براساس یادگیری اتوماتیک (LABP)[۳۲]

این پروتکل کنترل ازدحام [۱۶] به منابع و ترافیک ارسالی اولویت می‌دهد. در این روش برای ردیابی ازدحام از درجه ازدحام استفاده می‌شود که نسبت زمان سرویس‌دهی به بسته به زمان دریافت بسته است که اگر بیشتر از یک باشد، ازدحام ردیابی می‌شود. گره‌های دارای ازدحام به همسایه‌های خود ازدحام را اطلاع‌رسانی می‌کنند و گره‌های میانی به تنظیم نرخ براساس میزان اشغال بافر می‌پردازند. اطلاع‌رسانی ازدحام در این روش به‌صورت ضمنی است و هرگره براساس یادگیری به تصمیم‌گیری می‌پردازد و با توجه به رفتارهای گذشته به آموزش خود می‌پردازد و به این ترتیب نرخ براساس محیط تنظیم می‌شود.

۲-۱۱-پروتکل مسیر جایگزین درخت سلسله مراتبی[۳۳](HTAP)

این پروتکل که یک الگوریتم کنترل منبع است به‌طور ساده به کاهش ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم با ایجاد مسیرهای جایگزین دینامیک به مقصد می پردازد[۱۷]. در این روش از کنترل توپولوژی و نیز از یک آستانه ازدحام تطبیقی برای اجتناب از ازدحام گذرا استفاده می‌شود. کنترل توپولوژی با استفاده از حداقل انرژی انجام می‌شود. بعد از آنکه هر گره، گره‌های قابل مشاهده همسایه را پیدا کرد، به تبادل اطلاعات با آنها می‌پردازد واز اطلاعات گره‌های همسایه‌ای که به سینک نزدیک‌ترند استفاده می‌شود. مسیر جایگزین زمانی ایجاد می‌شود که درگره مشخصی ازدحام ایجاد شده باشد. زمانی‌که میزان اشغال بافر در حد مشخصی باشد، الگوریتم ردیابی ازدحام، نرخ دریافت بسته‌ها را بررسی می‌کند و از نسبت کل نرخ دریافت به حداکثر نرخ ارسال استفاده می‌شود. زمانی‌که این نسبت بزرگ است، سیگنال بازگشت به عقب به گره‌های میانی فرستاده می‌شود تا از مسیر جایگزین استفاده کنند. در این روش اطلاع‌رسانی ازدحام به‌طور ضمنی می‌باشد.

۲-۱۲-پروتکل کنترل ازدحام پیش بین غیرمتمرکز برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم

در [۱۸] روش کنترل ازدحام پیش بین غیرمتمرکز برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم پیشنهاد شده است. در این روش از نرخ تطبیقی و انتخاب بازه عقب گرد تطبیقی استفاده شده است. این روش شروع ازدحام را با توجه به میزان بهره‌وری صف و شرایط کانال ردیابی می‌کند و سپس یک روش کنترل جریان تطبیقی نرخ مناسب را انتخاب می‌کند و عدالت نیز تضمین می‌شود.

۲-۱۳-پروتکل کنترل ازدحام غیرمتمرکز تطبیقی غیرمربعی مقاوم(RDANQCC)[۳۴]

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-25]

در[۱۹] برخلاف [۱۸] ابتدا مدلی برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم در زمان گسسته با زیر سیستم‌های دارای تاخیر ارایه شده که سیستم کلی از ترکیب آنها بدست آمده است. سپس یک روش کنترل ازدحام مقاوم غیرمتمرکز تطبیقی غیرمربعی ارایه شده است که نسبت به تغییر طول صف و تغییر تاخیر مقاوم است. در این روش از انتخاب تطبیقی بازه عقب‌گرد استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم تخمین کانال و میزان بهره‌وری صف، ازدحام ردیابی شده و نرخ مناسبی توسط انتخاب تطبیقی بازه عقب‌گرد اعمال می‌شود. برای حل مساله از نامساوی ماتریسی خطی استفاده می‌شود. این روش از یک الگوریتم کنترل جریان گام به گام[۳۵] جدید استفاده می‌کند و ترافیک را توسط سیگنال‌های به عقب کاهش می‌دهد. در این روش برخلاف[۱۸] سیستم‌های حلقه بسته نسبت به تغییرات طول صف و تأخیر حاصله پایدار مجانبی فراگیر می‌باشند. در این روش برخلاف روش‌های پیشین که در آنها طول صف مطلوب ثابت فرض می‌شد، قابلیت لحاظ نمودن طول صف مطلوب متغیر با ترافیک خروجی نیز وجود دارد. طول صف مطلوب متغیر با ترافیک خروجی به‌عنوان یک درجه آزادی در نظر گرفته می‌شود که امکان دستیابی به عملکرد بهتر را ایجاد می‌کند.

۲-۱۴-کنترل کننده‌های ازدحام غیرمتمرکز مبتنی بر توابع لیاپانوف

در [۲۰] با در نظرگیری سیستم ارایه شده در [۱۹]، کنترل‌کننده‌های ازدحام غیرمتمرکز مبتنی بر توابع لیاپانوف برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم ارایه شده و در آن سیستم‌های حلقه بسته نسبت به تغییرات طول صف و تاخیر حاصله پایدار مجانبی فراگیر می‌باشند. در این راستا در ابتدا توابع لیاپانوف مشترک مربعی برای تحلیل پایدارسازی و طراحی کنترل‌کننده سیستم مورد نظر استفاده می‌شوند. از آنجایی‌که توابع لیاپانوف مشترک مربعی، محافظه کار می‌باشند، توابع لیاپانوف غیرمشترک مربعی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله شرایط کافی برای پایدارسازی سیستم‌های شبکه‌های سنسوری بی‌سیم مورد بررسی و محاسبه ماتریس‌های بهره فیدبک از حل یکسری نامعادلات ماتریسی خطی (LMI) حاصل می‌گردد که با نرم افزارهای موجود به راحتی قابل حل می‌باشند. در حالیکه در کنترل کننده [۱۹] از نامساوی‌های ماتریسی خطی برگشتی (ILMIs) برای محاسبه ماتریس بهره فیدبک استفاده می‌گردید. نظربه این‌که عامل پیچیدگی روش[۱۹] به دلیل بازگشتی بودن آن است، این مساله در این مقاله مرتفع می‌گردد. از طرفی در[۱۹] نیاز به محاسبه فقط یک ماتریس بهره فیدبک بود، در حالی‌که در این مرجع، از ماتریس‌های متفاوت بهره فیدبک استفاده می‌شود. در مقایسه با [۱۹] که در آن یک کنترل‌کننده برای تمامی زیر سیستم‌ها یا کل سیستم طراحی می‌گردید، در این مقاله، یک کنترل‌کننده مجزا برای هر زیر سیستم طراحی می‌شود و کنترل‌کننده کلی در هر روش از انتخاب مناسب یکی از این کنترل‌کننده‌ها بدست می‌آید.

۲-۱۵-کنترل ازدحام مبتنی بر سلسله مراتب با تنظیم انرژی[۳۶]

در این روش، ابتدا مدل شبکه به یک توپولوژی سلسله مراتبی تبدیل شده که درآن گره‌های همسایه یک گره به سه نوع گره‌های سلسله مراتبی، گره‌های بالادست و گره‌های پایین دست تقسیم می‌شوند[۲۱]. سپس برای اجتناب از ازدحام، هرگره از گره‌های همسایه پایین‌تر سلسله مراتب خود استفاده می‌کند تا داده‌ها را ارسال کند. سپس با توجه به طول صف، ازدحام ردیابی می‌شود و گره‌های بالادست خود را برای یافتن گام بعد برای کاهش ازدحام اطلاع‌رسانی می‌کند. روش مصرف متعادل انرژی، انرژی مصرفی گره‌های سلسله مراتب پایین را با استفاده از گره با بیشترین انرژی باقی مانده متعادل می‌کند و با استفاده از گره‌های سلسله مراتبی مشابه، انرژی باقیمانده تمام گره‌ها در همان سلسله مراتب متعادل می‌شود.

۲-۱۶-پروتکل کنترل نرخ عادلانه مبتنی بر اولویت(PFRC)[۳۷]

پروتکل [۲۲] در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم یک الگوریتم کنترل ازدحام است که با استفاده از مفهوم کنترل میزان عدالت و اولویت ترافیک توزیع عادلانه پهنای باند توسط اولویت‌بندی ترافیک، طول صف و بار گره سنسوری کنترل می‌شود. در این روش توپولوژی درخت در نظر گرفته شده است و ترافیک‌های زمان حقیقی و غیرزمان حقیقی با اولویت‌های مختلف لحاظ شده است. این روش کنترل نرخ عادلانه منجر به بهبود گذردهی می‌شود و از ازدحام اجتناب می‌کند. کنترل نرخ برای توزیع عادلانه پهنای باند با در نظرگیری اولویت کلاس‌های ترافیکی گره‌های مختلف می‌باشد. واحد تنظیم نرخ به ایجاد نرخ با توجه به ورودی‌های واحد ردیابی ازدحام، واحد تنظیم اولویت و واحد کنترل عدالت می‌پردازد.

پروتکل	ردیابی ازدحام	اطلاع‌رسانی ازدحام	کنترل ازدحام	گام به گام/ انتهابه‌انتها
پروتکل ردیابی و اجتناب از ازدحام [۶]	میزان اشغال بافر و بار کانال	صریح	تنظیم نرخ	گام به گام
پروتکل ترکیب [۷]	میزان اشغال بافر و نمونه‌برداری از کانال	ضمنی	کنترل جریان گام به گام، محدودسازی نرخ، کنترل دستیابی به رسانه اولویت‌دار	گام به گام
پروتکل چکیدن [۸]	-	-	کنترل نرخ از طریق شایعات مودبانه	گام به گام
پروتکل سیفون [۹]	میزان اشغال بافروبار کانال	ضمنی	انتقال ترافیک به سینک‌های مجازی	گام به گام
پروتکل کنترل انتقال سنسور [۱۰]	طول صف	ضمنی	تنظیم نرخ یا ارسال اطلاعات از مسیردیگر	انتها به انتها
پروتکل کنترل ازدحام براساس اولویت [۱۱]	درجه ازدحام	ضمنی	تنظیم نرخ با اولویت	گام به گام
پروتکل مدیریت بافر با وزن کم [۱۲]	وضعیت بافر	ضمنی	تنظیم نرخ به مقدار نزدیک بهینه	گام به گام
پروتکل تطبیق منابع با توجه به توپولوژی [۱۳]	میزان اشغال بافر و بار شبکه	ضمنی	فعال سازی گره‌های پشتیبان بطور پویا	گام به گام
پروتکل کنترل ازدحام تطبیقی کیفیت سرویس [۱۴]	نسبت نرخ متوسط سرویس بسته به نرخ متوسط دریافت بسته	ضمنی	انتخاب مسیرهای جایگزین	گام به گام
پروتکل اجتناب از ازدحام براساس یادگیری خودکار [۱۵]	-	-	تنظیم نرخ از طریق یادگیری از رفتارگذشته	گام به گام
پروتکل براساس یادگیری اتوماتیک[۱۶]	درجه ازدحام	ضمنی	تنظیم نرخ براساس محیط	گام به گام
پروتکل مسیر جایگزین درخت سلسله مراتبی [۱۷]	میزان اشغال بافر	ضمنی	سیگنال بازگشت به عقب و استفاده از مسیرجایگزین	گام به گام
پروتکل کنترل ازدحام پیش بین غیرمتمرکز برای شبکه‌های سنسوری بی‌سیم [۱۸]	شرایط کانال وطول صف	ضمنی	کنترل تطبیقی نرخ و انتخاب بازه عقبگرد تطبیقی	گام به گام
پروتکل کنترل ازدحام غیرمتمرکزتطبیقی غیرمربعی مقاوم [۱۹]	شرایط کانال وطول صف	ضمنی	کنترل تطبیقی و مقاوم نرخ با استفاده از یک ماتریس بهره و انتخاب بازه عقبگرد تطبیقی	گام به گام
کنترل کننده‌های ازدحام غیرمتمرکز مبتنی بر توابع لیاپانوف [۲۰]	شرایط کانال وطول صف	ضمنی	کنترل تطبیقی و مقاوم نرخ با استفاده از ماتریس‌های متفاوت بهره و انتخاب بازه عقبگرد تطبیقی	گام به گام
کنترل ازدحام مبتنی بر سلسله مراتب با تنظیم انرژی [۲۱]	طول صف	ضمنی	میزان اشغال بافر گره دچار ازدحام ونرخ ارسال آن	گام به گام

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-25]

پروتکل	ردیابی ازدحام	اطلاع‌رسانی ازدحام	کنترل ازدحام	گام به گام/ انتهابه‌انتها
پروتکل کنترل نرخ عادلانه مبتنی بر اولویت [۲۲]	اختلاف نرخ ورودی و خروجی گره	ضمنی	تنظیم نرخ با توجه به اولویت	گام به گام

۳- نتیجه‌گیری

کنترل ازدحام در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم مساله بسیار مهمی است. در این مقاله روش‌های مختلف کنترل ازدحام مورد بررسی قرارگرفت و عملکرد آنها با توجه به ردیابی ازدحام، اطلاع‌رسانی ازدحام و اجتناب از ازدحام بررسی گردید. باتوجه به اهمیت روزافزون شبکه‌های سنسوری بی‌سیم و اهمیت مساله کنترل ازدحام درآنها، نیاز به تحقیقات بیشتر برروی روش‌های کنترل ازدحام می‌باشد که در آن باید به محدودیت انرژی سنسورها وکیفیت سرویس نیز توجه نمود. در ادامه نتایج مقایسه پروتکل‌های مورد بررسی درجدولی ارایه می‌گردند.

۴- تشکروقدردانی

تحقیق فوق برگرفته از طرح پژوهشی می باشد که باحمایت مالی دانشگاه آزاداسلامی واحد اسلامشهر به اجرا درآمده است، بدین وسیله ازآن واحد دانشگاهی، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

۵- مراجع

[۱] حمیدرضا خدادادی،محمدحسین قزل ایاغ،ابوالفضل چمن مطلق «بررسی روش‌های برقراری ارتباط بدون سیم در شبکه‌های نسل آینده» فصل نامه علمی ترویجی عصربرق، جلد ۱ ، شماره ۱، ۱۳۹۲، صفحات ۴۳-۴۷.

[۲] شهرام جمالی، توفان سماپور«کنترل ازدحام مبتنی بر تخمین در شبکه های موردی بی سیم»مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۳ ، شماره۱، ۱۳۹۲

[3]S .Jagannathan" ,End to end congestion control in high-speed networks27 ,"th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, pp556,2002–547 ..

[4] Y. Yi and S. Shakkottai, "Hop-by-hop congestion control over a wireless multi-hop networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.15,No.1 pp.133 – 144,2007.

[5] J. D. Rathnayaka and V. M. Potdar, "Wireless sensor network transport protocol: a critical review", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 36, No.1, pp.134-146,2013.

[6] C. Y.Wan, S. Eisenman and A. Campbell, "CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks", 1st international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 266–279,2003.

[7] B. Hull, K. Jamieson and H. Balakrishnan, "Mitigating congestion in wireless sensor networks", Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 134–147,2004.

[8] P. Levis , N. Patel , D. Culler, S. Shenker, "Trickle: a self-regulating algorithm for code propagation and maintenance in wireless sensor networks", Proceeding of 1st Sympusiom Networked Systems Design and Implementation ,2001.

[9] C. Y. Wan, S. B. Eisenman, A.T. Campbell, J. Crowcroft, "Siphon: overload traffic management using multi-radio virtual sinks in sensor networks", 3rd international conference on Embedded networked sensor systems ,2005.

[10] Y. G. Iyer, S. Gandham, S. Venkatesan, "STCP: a generic transport layer protocol for wireless sensor networks", 14th International Conference on Computer Communications and Networks, pp.449-454, 2005.

[11] C. Wang, K. Sohraby, V. Lawrence, B. Li, Y. Hu, "Priority-based congestion control in wireless sensor networks", IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, Vol. 1, pp. 22- 31, 2006

[12] 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, pp. 934-946, 2006.

[13] J. Kang, Y. Zhang and B. Nath," TARA: topology-aware resource adaptation to alleviate congestion in sensor networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.18, No.7, pp. 919-931,2007.

[14] Md. Obaidur Rahman, M. M. Monowar and C. S. Hong,"A Qos Adaptive Congestion Control in Wireless Sensor Network", 10th International Conference on Advanced Communication Technology, Vol.2, pp. 941 – 946,2008.

[15] S. Misra, V. Tiwari and M. S. Obaidat, "LACAS: learning automata-based congestion avoidance scheme for healthcare wireless sensor networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol.27, No.4, pp. 466-479,2009.

[16] R. Hashemzehi, "A learning automata-based protocol for solving congestion problem in wireless sensor network", International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Science, Vol.2, No. 4, pp.396-399,2013.

[17] Sergiou, V. Vassiliou, and A. Paphitis, " Hierarchical Tree Alternative Path (HTAP) Algorithm for Congestion Control in Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Netw., Vol. 11, No. 1, pp. 257–272, 2013.

[18] M.Zawodniok, S.Jagannathan, "Predictive Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks", IEEE Transactions on Wireless Communication, Vol. 6, pp. 3955-3963, 2007.

[19] SSS Farahani, MR Jahed -Motlagh, MA Nekoui and SV Azhari. Robust decentralized adaptive nonquadratic congestion control algorithm for a class of delayed networks. Nonlinear Dynamics, Vol.73, pp. 2291–2311, 2013.

[20] SSS Farahani, MR Jahed -Motlagh and MA Nekoui. Novel congestion control algorithms for a class of delayed networks, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences,Vol. 23,pp. 824 – 840,2015.

[21] W. Chen, Y. Niu, Y. Zou, Congestion control and energy-balanced scheme based on the hierarchy for WSNs, IET Wireless Sensor Systems ,Vol.7,no.1,pp.1-8,2017.

[22] S. K. Swain and P. K. Nanda, Priority based fairness rate control in wireless sensor networks, International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET) ,pp. 2206 – 2210,2017.

پی‌نوشت

1 Congestion Detection
2 Congestion Notification (CN)
3 Implicit
4 Explicit
5 Congestion Avoidance
6 Polite Gossip
7 Congestion Detection and Avoidance (CODA)
8 Receiver based Congestion Detection
9 Open loop hop-by-hop backpressure
10 Closed loop multisource regulation
11 Fusion
12 Prioritized MAC
13 Threshold
14 Static
15 Dynamic
16 Broadcast
17 Trickle
18 Siphon
19 Node-initiated congestion detection
20 Physical sink-initiated congestion detection
21 Header
22 Sensor Transmission Control Protocol (STCP)
23 Base station
24 Priority based Congestion Control (PCCP)
۲5 Packet inter-arrival time
26 Priority based rate adjustment (PRA)
27 Light Weight Buffer Management (LWBM)
28 Topology Aware Resource Adaption (TARA)
29 Interference
30 Backup
31 QoS Adaptive Congestion Control) QoS-ACC(
32 Learning Automata based Congestion Avoidance (LACAS)
33 Learning Automata Based Protocol) LABP(
34 Hierarchical Tree Alternative Path
35 Robust Decentralized Adaptive Non-Quadratic Congestion Control Scheme (RDANQCC)
36 Hop-by-hop flow control algorithm
37 Congestion control and energy-balanced scheme based on the hierarchy for WSNs
38 Priority based Fairness Rate Control

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-25]