

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

نوع مقاله: مروری

بررسی هدفمند ادبیات روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن: از رویکردهای کلاسیک تا بهینه‌سازی چندهدفه

جواد مظفری

گروه کامپیوتر، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران
پست الکترونیکی: mozaafari.javad@m-iau.ac.ir

محمد عبداللہی ازگمی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
پست الکترونیکی: azgomi@iust.ac.ir

حلیمه مددی

گروه کامپیوتر، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران
پست الکترونیکی: halime_madadi@m-iau.ac.ir

محمد رضا ابراهیمی دیشابی*

گروه کامپیوتر، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران.
پست الکترونیکی: mrebrahimi@m-iau.ac.ir

چکیده

سپس رویکردهای رایج مختلفی که برای کنترل ازدحام وجود دارند، مرور و مقایسه می‌شوند. روش‌های مورد مطالعه در این مقاله از رویکردهای بهینه‌سازی چندهدفه برای خوشه‌بندی، مسیریابی و غیره استفاده کرده‌اند. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ترکیب کنترل ازدحام با فناوری‌های جدید مانند SDN و طراحی پروتکل‌های اختصاصی به منظور مدیریت داده‌ها در شبکه، با توجه به کاربرد خاص شبکه و نوع داده‌های انتقالی، می‌تواند انتقال سریع و دقیق داده‌ها در حوزه مراقبت‌های بهداشتی WBAN را تضمین کند.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خدمات، شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن، شبکه‌های نرم‌افزار محور، کنترل ازدحام، مسیریابی مبتنی بر انرژی.

صنعت بهداشت و درمان به سرعت در حال توسعه خدمات بهداشتی از راه دور با استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات است و شبکه‌های بی‌سیم ناحیه بدن (WBAN) به‌عنوان یکی از پیشگامان در این زمینه شناخته می‌شوند. این شبکه‌ها امکان نظارت از راه دور بر پارامترهای فیزیولوژیکی بیماران مانند فشار خون و ضربان قلب را فراهم می‌کنند. با این حال، کنترل ازدحام در لایه انتقال یکی از چالش‌های اصلی WBAN است؛ در این مقاله نتایج یک بررسی جامع از تلاش‌های تحقیق و توسعه اخیر برای پرداختن به موضوع روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن ارائه می‌شود. ابتدا یک نمای کلی از روش‌های کنترل ازدحام ارائه می‌شود

* نویسنده مسئول

۱- مقدمه

شبکه بی سیم ناحیه بدن (WBAN) به عنوان یک زیرمجموعه از شبکه های حسگر بی سیم، به طور خاص برای اتصال حسگرهای زیستی طراحی شده است که می تواند در داخل یا روی بدن (از جمله انسان) قرار گیرد. شبکه های بی سیم ناحیه بدن اطلاعات مربوط به سلامتی را جمع آوری کرده و با پزشکان یا کارسازهای پزشکی ارتباط برقرار کرده به طوری که آن ها می توانند پارامترهای سلامتی بیمار را تجزیه و تحلیل کنند و مورد نظارت قرار دهند. WBAN می تواند به صورت پوشیدنی یا کاشتنی باشد و هدف اصلی آن ارسال اطلاعات فیزیولوژیکی به کارسازهای پزشکی به منظور کمک به پزشکان در درک وضعیت سلامتی بیماران است [۳، ۴]. WBAN به عنوان یکی از پیشگامان در ارائه خدمات بهداشتی از راه دور شناخته می شود و با استفاده از استاندارد IEEE 802.15.6 توسعه یافته است [۵]. این شبکه ها عمدتاً برای مراقبت های بهداشتی کاربرد دارند و به پزشکان امکان نظارت بر وضعیت بیماران از راه دور را می دهند. همچنین با ارائه خدمات نظارت، پردازش داده ها، کنترل لوازم خانگی و انتقال اطلاعات، به بهبود مراقبت های پزشکی و کاهش هزینه های درمان کمک می کنند [۶، ۷]. با دریافت سیگنال از بیماران، کارسازهای مقصد می توانند اقدامات لازم را انجام دهند، که این امر منجر به ارائه خدمات بهداشتی به موقع و مؤثر می شود [۸].

یکی از چالش های اصلی WBAN، کنترل ازدحام (CC) در لایه انتقال است. زمانی که یک گره یا کانال، داده های بیشتری نسبت به ظرفیت تحمل خود پردازش کند، تراکم ایجاد می شود که باعث افزایش تأخیر، از دست رفتن بسته ها و مشکلات دیگر می شود. این مشکلات به طور جدی بر کیفیت خدمات (QoS) تأثیر می گذارند و به ویژه در زمینه مراقبت های بهداشتی که نیاز به انتقال دقیق و سریع داده ها دارد، بسیار حائز اهمیت است. به همین دلیل،

تحقیقات گسترده ای برای کنترل ازدحام در این شبکه ها در حال انجام است، اما هنوز هیچ راه حل کاملی برای مدیریت این چالش ها وجود ندارد [۹، ۱۰].

عملکرد شبکه حسگر بی سیم بدنی به این صورت هست که این شبکه ها مشتمل بر تعدادی حسگر روی سطح بدن یا داخل بافت های بدن یا بر روی لباس است که این حسگرها در کنار هم امکان دریافت و پردازش و ارتباط را فراهم می کنند. در این شبکه ها یک ایستگاه پایه وجود دارد که اطلاعات دریافتی از گره های حسگر را دریافت و برای مراکز راه دور ارسال می نماید.

حسگرها و دروازه انتقال از طریق کانال های بی سیم به شکل یک شبکه در بدن با هم در ارتباط هستند. گره های حسگر مستقل به عنوان هماهنگ کننده گره بدن به هم متصل می شوند. هماهنگ کننده، مسئول جمع آوری اطلاعات از گره ها و ارسال آنها به کارساز مرکزی است [۱۱].

شبکه حسگر بی سیم بدنی از استاندارد IEEE 802.15 به عنوان یک استاندارد ارتباطات بهینه سازی شده برای دستگاه هایی با توان پایین و برد کوتاه استفاده می کنند. حسگرهای موجود در این شبکه قابل حمل و بسیار کوچک است. هر گره حسگر معمولاً توانایی دریافت یک یا تعداد بیشتری از علائم حیاتی و پردازش این علائم و ذخیره سازی اطلاعات پردازش شده و انتقال اطلاعات به سایر گره های حسگر یا یک کارساز شبکه حسگر بی سیم بدنی را دارا است.

با توجه به محدودیت های ذاتی و تعداد گره های توزیع شده در شبکه های حسگر بی سیم، تعداد بسته های تولیدی بیش از حد بوده و در سطح گره و پیوند ارتباطی ازدحام و ترافیک رخ خواهد داد. بسته های بسیار زیادی به دلیل ازدحام از بین خواهد رفت و منابع شبکه و از جمله انرژی به صورت نامطلوب مصرف خواهد شد. بنابراین، ازدحام یکی از چالش های اساسی این شبکه ها محسوب می شود [۱۲]. در جدول ۱ ایده بیان شده، نتایج به دست آمده و نحوه عملکرد تعدادی از پروتکل های WBAN نشان داده شده است.

جدول ۱: مقایسه روش‌های مرتبط

ردیف	عنوان	ایده بین شده	نتایج به دست آمده	نحوه عملکرد
۱	Energy efficient sustainable WBAN ۲۰۲۲ [13]	طراحی شبکه پایدار با مصرف انرژی بهینه	بهینه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از مسیریابی مطمئن مبتنی بر PSO و به کارگیری روند خواب در گره‌های بیکار به منظور بهره‌وری انرژی
۲	Blockchain-based Framework ۲۰۲۲ [14]	ترکیب زنجیره بلوکی با شبکه‌های بی‌سیم ناحیه بدن تعریف شده با نرم‌افزار	افزایش امنیت داده‌ها در چارچوب مراقبت بهداشتی	طراحی و ادغام یک خط مشی کنترل دسترسی دقیق در چارچوب مراقبت مبتنی بر قرارداد هوشمند برپا حصول اطمینان از کنترل کامل داده‌های سلامت توسط صاحبان داده‌ها
۳	۲۰۲۲ Adaptive Switching [15]	مسیریابی تطبیقی بین گره‌های WBAN	افزایش بازدهی شبکه	استفاده از مسیریابی تطبیقی در زمان انتقال اطلاعات در Go-Back-N گره و تکنیک‌های تکرار انتخابی
۴	grey wolf optimization and Q learning ۲۰۲۲ [16]	ترکیب یادگیری تقویتی و الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری	افزایش طول عمر شبکه، بهبود مصرف انرژی	استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری مبتنی افزایش طول عمر شبکه بر یادگیری تقویتی برای انتخاب گره‌های سرخوشه بهبود مصرف انرژی بهینه در شبکه و دریافت بازخورد مبنی بر بهبود کیفیت سرویس

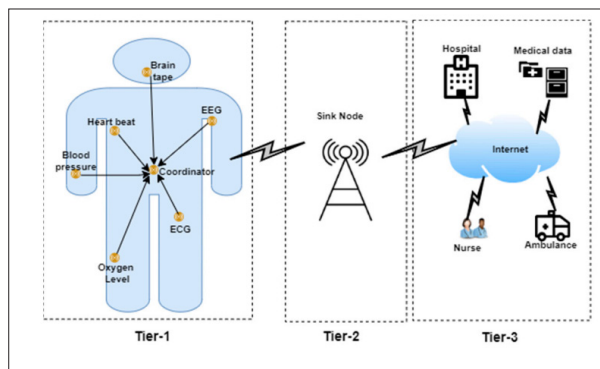
تراکم در شبکه‌ها معمولاً به دلیل بار زیاد بر روی شبکه ایجاد می‌شود و این مسئله می‌تواند عملکرد شبکه را کاهش دهد. کنترل ازدحام به سازوکارها و فنونی اشاره دارد که به مدیریت این وضعیت کمک می‌کنند [۱۷]. لایه‌های شبکه و حمل‌ونقل، مسئولیت مدیریت ازدحام را به اشتراک می‌گذارند. علل متداول ازدحام شامل ورود سریع بسته‌ها به میانگیر ورودی، کمبود فضای میانگیر، و تأخیر در پردازش داده‌ها می‌باشد. این مشکلات به‌خصوص در مواقعی که نرخ دریافت بسته‌ها بیشتر از نرخ انتقال آن‌ها باشد، می‌توانند به ایجاد ازدحام منجر شوند و در نهایت کیفیت خدمات WBAN را تحت تأثیر قرار دهند [۱۸].

روش کنترل ازدحام بر پایه مهلت زمانی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، با استفاده از تعیین مهلت زمانی برای انجام فرآیندها و ارسال داده‌ها، ازدحام را کنترل میکند. هدف این روش، اطمینان حاصل کردن از این که ارسال داده‌ها و فرآیندهای مختلف در شبکه به موقع انجام شود و ازدحام به حداقل برسد. مزیت این روش، هر گره حسگر دارای یک سطل پر از توکن‌ها است که به‌عنوان منبع محدودیت در انتقال داده‌ها عمل میکند. هر بسته اطلاعاتی که گره برای ارسال دارد، باید تعدادی توکن از سطل را دریافت کند تا بتواند ارسال شود. و عیب آن اگر توکنی در دسترس نباشد، ارسال بسته تا زمانی که توکن در دسترس قرار گیرد به تأخیر خواهد افتاد [۱۹].

روش کنترل ازدحام با استفاده از منطق فازی FACS و CODA رویکرد مبتنی بر منطق فازی به معنای چیزهایی است که واضح و شفاف نیستند. هر رویداد، فرایند، تابع یا حتی یک شبکه مانند WSN که به صورت مداوم تغییر می‌کنند یا در محیطی نامعین قرار دارند، نمی‌توانند به شکل صحیح یا غلط بیان شوند، بنابراین باید به گونه‌ای فازی تعریف شوند تا در مورد شرایط پویای آن‌ها تصمیم‌گیری شود. پروتکل CODA یک سازوکار حلقه باز گام به گام و یک سازوکار تنظیم منبع چندگانه با حلقه بسته را ارائه می‌دهد. مزیت CODA از ترکیب شرایط بارگذاری کانال کنونی و گذشته و اشغال میانگیر برای استنباط کشف واقعی ازدحام در هر دریافت‌کننده با هزینه پایین استفاده می‌کند و عیب آن تنظیم یک آستانه مناسب در کانال‌های پویا بسیار مشکل است و هیچ تضمینی برای این که پیام به گره‌های مبدأ برسد وجود ندارد.

پروتکل FACS که ازدحام را کنترل می‌کند و تقریباً تخصیص پهنای باند مناسبی را برای جریان‌های مختلف به دست می‌آورد. مزیت FACS گره‌های حسگر قرار گرفته در داخل گره‌های نزدیک به منبع و نزدیک به چاهک طبقه‌بندی می‌شوند. گره‌های نزدیک چاهک معمولاً بار ترافیکی ثابتی داشته و تقریباً میزان متناسبی را به هر جریان عبورکننده تخصیص می‌دهند و عیب آن بازدهی پایین آن است [۲۰]. روش کنترل ازدحام مبتنی بر ECNPA در این روش

طبقه‌بندی کرد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: معماری شبکه حسگر بی‌سیم ناحیه بدن [۲]

سطح ۱. گره‌های حسگر پزشکی بر روی یا داخل بدن انسان کاشته می‌شوند، همراه با گره حفره که در این سطح قرار دارد.

سطح ۲. گره‌های حسگر اطلاعات را به چاهک انتقال می‌دهند و سپس با جمع‌آوری و پردازش اطلاعات، اطلاعات به BS منتقل می‌شوند.

سطح ۳. پس از دریافت داده‌ها توسط BS، آن‌ها از طریق زیرساخت اینترنت برای پایش و درمان از راه دور به مرکز پزشکی ارسال می‌شوند. به طور کلی، در معماری این نوع شبکه، هر حسگر با دریافت اطلاعات حسی از بدن بیمار، سلامتی فرد را پایش می‌کند، سپس داده‌ها را به چاهک منتقل می‌کند و در نهایت به BS برای درخواست مراقبت پزشکی ارسال می‌شود [۲].

در شکل ۱، معماری شبکه حسگر بی‌سیم ناحیه بدن را داریم که در سه سطح طبقه‌بندی شده است. گره‌های حسگر وظیفه پایش پارامترهای مهم بدن را که وضعیت بیماری فرد و علائم حیاتی آن است نشان می‌دهد. در یک شبکه حسگر بدنی، علائم حیاتی که به طور عمده مورد پایش قرار می‌گیرند، دمای بدن، ضربان قلب، فشار خون، نرخ تنفس، میزان اکسیژن خون و غیره هستند. علاوه بر پایش علائم حیاتی، سایر کاربردهای حسگرهای پزشکی عبارتند از پایش سیگنال قلبی (ECG) برای مراقبت از فعالیتهای قلب، سیگنال مغزی (EEG)، سیگنال ماهیچه‌ای (EMG)، مراقبت

الگوریتم مبتنی برخوشه‌بندی برای بخش‌بندی شبکه ارائه می‌شود. با بهره‌گیری از این الگوریتم، می‌توان تضمین کرد که هر بخش از شبکه می‌تواند حداکثر هزینه (شامل تأخیر و ترافیک موجود روی پیوندها) را در بین کنترل‌کننده و سوئیچ‌های مربوط به آن کاهش دهد. مزیت آن علاوه بر تأخیر بین کنترل‌کننده‌ها و سوئیچها، بار موجود روی پیوندها نیز در نظر گرفته شده و به تبع آن با دقت بالاتری عمل خوشه‌بندی را ادامه می‌دهد و عیب آن در عمل خوشه‌بندی کنترل‌کننده‌ها، تنها معیار تأخیر را در نظر می‌گیرد و توجهی به بار موجود روی پیوندها ندارد که این موضوع باعث به وجود آمدن ازدحام در پیوندها و ایجاد پیوندهای گلوگاه می‌شود [۲۱].

در این مقاله ابتدا به بررسی معماری و عملکرد WBAN خواهیم پرداخت. سپس کلیات ازدحام در WBAN بررسی شده و به طبقه‌بندی روش‌های کنترل ازدحام در این شبکه‌ها خواهیم پرداخت.

۲- معماری شبکه حسگر بدن

شبکه حسگر بی‌سیم بدنی شامل تعداد زیادی گره‌های حسگر آرایش یافته با ساختار اقتضایی در داخل یا روی بدن انسان می‌باشند که به وسیله آنها می‌توان اطلاعات فیزیولوژیکی از قبیل ضربان قلب، اکسیژن، فشار خون و گلوکز و ... را به صورت بیدرنگ مشاهده و جمع‌آوری کرده و داده‌ها را با استفاده از کانالهای بدون سیم به کارسازهای محلی و ایستگاه پایه برای تحلیل، ذخیره و پردازش ارسال نمود [۲۲]. سپس داده‌ها به شیوه‌های امن به کارسازهای پزشکی راه دور از طریق اینترنت یا سایر رسانه‌های ارتباطی ارسال می‌شود. به این ترتیب، کاربران، اطلاعات مرتبط با بیمار را می‌توانند هم از راه دور و هم از طریق پایگاه داده با پرس‌وجو اطلاعات به صورت محلی از WBAN بسته به سناریو استفاده، مورد دسترسی قرار دهند [۲۳].

طراحی حسگرهای بدنه را می‌توان در سه سطح

سطح گلوکوز و پایش حرکات فیزیکی برای تعیین وضعیت افراد است. هنگام استفاده از شبکه‌های حسگر برای به دست آوردن نتایج منطقی و مناسب، باید حسگرهای متفاوتی در شبکه قرار گیرند و از اطلاعات حسگرهای متفاوت برای بررسی شرایط بیمار استفاده شود و تصمیمات مناسب اتخاذ گردد. هر کدام از این حسگرها با توجه به موقعیت خود روی بدن انسان قرار می‌گیرند و مطابق با نوع حسگر، علائم بیمار را نشان می‌دهند. در جدول ۲ حسگرهای به کار رفته در بدن انسان بیان شده است. مثلاً دمای بدن یکی از مهمترین عواملی است که باید برای تعیین وضعیت سلامت بیمار اندازه‌گیری شود. بالا بودن دمای بدن نشانه بیماری است و پائین بودن آن هم از یک حد معین نشان‌دهنده افزایش احتمال بیمار شدن است. از فشار خون، می‌توان برای تخمین میزان بالا بودن کلسترول خون، گرفتگی شریان‌ها یا نامنظم بودن فعالیت قلب استفاده کرد [۲۴].

جدول ۲: حسگرهای پزشکی مختلف روی بدن انسان [۲۵].

حسگر	توضیحات
نوار قلب (ECG)	فعالیت‌های الکتریکی قلب (به طور مداوم در هنگام استراحت به صورت پیوسته)
جریان خون	اندازه‌گیری نیروهای شتاب‌دهنده در فضای سه بعدی از بدن
فشار خون	نیروی اعمال شده توسط گردش خون در دیواره‌های رگ‌های خونی
دمای بدن یا پوست	شاخص توانایی بدن برای ایجاد و رهایی از گرما
میزان تنفس	تعداد حرکات دم و بازدم در واحد زمان
میزان اکسیژن	نشان‌دهنده اکسیژن که در خون بیمار در جریان است
ضربان قلب	فرکانسی از سیکل قلبی
قند خون	اندازه‌گیری مقدار قند (نوع، منبع، انرژی) در خون
سیگنال ماهیچه‌ای (EMG)	فعالیت الکتریکی عضلات اسکلتی (سیستم عصبی، عضلانی)
نوار مغز (EEG)	اندازه‌گیری فعالیت مغز به صورت خودجوش و سایر پتانسیل‌های مغز

در جداول ۶ تا ۱۱، انواع پروتکل‌های کنترل ازدحام مقایسه شده‌اند و بر اساس ویژگی‌ها و روش‌های عملکردشان در لایه‌های مختلف شبکه، مورد بررسی قرار گرفته‌اند و سپس از رویکردهای بهینه‌سازی چندهدفه برای خوشه‌بندی، مسیریابی و غیره استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داده است که ترکیب کنترل ازدحام با فناوری‌های جدید مانند SDN و طراحی پروتکل‌های اختصاصی با توجه به نوع داده‌ها و کاربردهای خاص شبکه، می‌تواند راهکارهای مؤثری برای بهبود عملکرد WBAN ارائه دهد. WBAN-SDN به منظور کنترل ازدحام و آگاه از انرژی ارائه شده است. داده‌های حس شده در گره‌های تعبیه شده در شبکه حسگر ناحیه بدن، به یک کنترل‌کننده مرکزی در SDN ارسال می‌شود. گره کنترل‌کننده مرکزی بر اساس مکان گره‌های حسگر اقدام به خوشه‌بندی داده‌ها در شبکه و انتخاب گره سرخوشه بهینه در راستای کاهش مصرف انرژی کنترل ازدحام در شبکه می‌نماید. گره کنترل‌کننده مرکزی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با تابع تناسب چندهدفه [۱۱]، به منظور یافتن گره بهینه سرخوشه در شبکه WBAN-SDN استفاده می‌نماید. از این‌رو پارامترهای تابع تناسب شامل فواصل بین گره‌های درون خوشه‌ها، فاصله گره سرخوشه تا ایستگاه پایه، میانگین طول صف گره و انرژی باقیمانده گره سرخوشه است. از این رو تابع تناسب سعی در بهبود اهداف کاهش مصرف انرژی، کاهش تأخیر و کاهش ازدحام در شبکه WBAN را دارد [۱۱].

۲-۱- عملکرد شبکه حسگر ناحیه بدن

کاشته‌های بدن که از WBAN استفاده می‌کنند، به دلیل قرارگیری نزدیک به سیالات بدن با چالش‌هایی مواجه هستند. خواص جذبی بدن باعث کاهش سیگنال و افزایش اثرات حرارتی فرکانس رادیویی می‌شود که می‌تواند منجر به نقص در عملکرد دستگاه‌ها و خطاهای شبکه گردد. همچنین، حرکت بدن و تغییرات در انتقال مدار بر انتشار

شود. محدودیت‌های منابع مانند انرژی، پهنای باند و ذخیره‌سازی به افزایش ازدحام در WBAN منجر می‌شود. تداخل در کانال‌های بی‌سیم به از دست رفتن بسته‌ها و در نهایت ازدحام کمک می‌کند. حرکت گره‌ها و تغییر هم‌بندی شبکه باعث ایجاد ازدحام به دلیل نیاز به تطبیق با شرایط جدید می‌شود. نصب گره‌ها به صورت پیش‌بینی نشده و سردستی، تشخیص گره‌های ناموفق و ازدحام را دشوار می‌کند. تغییرات نرخ‌های انتقال و پیوندهای ارتباطی نادرست به ازدحام در شبکه کمک می‌کند. ارتباط چند به یک منجر به تجمع بسته‌ها و ازدحام در سینک می‌شود. رقابت حسگرها برای دسترسی به کانال باعث تصادف بسته‌ها و افزایش ازدحام می‌شود. نیازهای متفاوت ترافیک بالادست و پایین‌دست چالش‌هایی برای طراحی پروتکل‌ها ایجاد می‌کند. تغییرات مداوم هم‌بندی شبکه به دلیل نصب در محیط‌های سخت باعث ازدحام و خرابی می‌شود. انواع مختلف ترافیک در WBAN می‌تواند به بروز ازدحام شدید منجر شود. برنامه‌های مختلف شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیازهای متنوعی برای کنترل ازدحام ایجاد می‌کنند. ازدحام در WBAN به دلیل محدودیت منابع و پویایی شبکه پیچیده‌تر از دیگر شبکه‌ها است و می‌تواند به مشکلات جدی مانند از دست رفتن بسته‌ها و کاهش عمر شبکه منجر شود [۱، ۲۸، ۲۹].

۳-۲- ویژگی شبکه WBAN از نظر سخت افزاری و نرم‌افزاری

شبکه‌های تعریف‌شده نرم‌افزاری SDN در معماری WBAN موجود، یکی از رویکردهای حیاتی برای نسل جدید سیستم‌های WBAN است. شبکه بی‌سیم ناحیه بدن یک تفکر فرعی منطقی از شبکه حسگر بی‌سیم است که برای کار مستقل برای اتصال حسگرهای زیستی مختلف، در داخل، همراه یا روی بدن (اما نه محدود به انسان) طراحی شده است. در شبکه‌های نرم‌افزار محور، کنترل‌کننده مبتنی بر نرم‌افزار نقش یک واسطه هوشمند شبکه را بازی می‌کند و سوئیچ‌های شبکه نیز نقش دستگاه‌های ساده‌ای برای

سیگنال تأثیر گذاشته و باعث تضعیف قدرت سیگنال و حساسیت به نوفه می‌شود. این محدودیت‌ها، همراه با نیاز به بهبود کیفیت خدمات در آینده، تأکید بر بهینه‌سازی عملکرد و انعطاف‌پذیری فناوری WBAN برای ارائه خدمات بهداشتی کارآمد دارد [۲۶].

۳- ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

با افزایش کاربران اینترنت و برنامه‌های مرتبط، ازدحام شبکه به عنوان یکی از مشکلات اساسی در شبکه‌های داده پدیدار شده است. ازدحام زمانی رخ می‌دهد که یک گره یا پیوند شبکه بیش از ظرفیت خود داده دریافت کند، که منجر به افت کیفیت خدمات، تأخیر در انتقال و از دست دادن بسته‌ها می‌شود. این امر باعث تکرار ارسال بسته‌ها و مصرف اضافی انرژی می‌گردد. دو راهکار اصلی برای مقابله با ازدحام وجود دارد: نگهداری بسته‌ها در صف که باعث افزایش تأخیر می‌شود، یا رها کردن آن‌ها. کنترل ازدحام شامل سه مرحله است: شناسایی، اعلام و کاهش ازدحام. شناسایی ازدحام از طریق شاخص‌هایی مانند پر شدن صف و تأخیر بین بسته‌ها انجام می‌شود، و اعلام ازدحام به گره‌های حسگر به صورت صریح یا ضمنی صورت می‌گیرد [۱۷، ۲۷].

۳-۱- علل و عوامل تراکم WBAN

دلایل و عوامل بروز ازدحام در WBAN از جمله محدودیت پهنای باند و ناهمگونی ترافیک بالادست و تضعیفات کانال بی‌سیم مانند از دست دادن مسیر و خستگی، باعث مانع شدن انتقال بسته‌ها به صورت بالادستی و پایین‌دستی می‌شوند. ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل محدودیت پهنای باند و شرایط کانال بی‌سیم مانع انتقال داده‌ها می‌شود. نبود هاب مرکزی در WBAN باعث می‌شود گره‌ها نتوانند به درستی ازدحام را شناسایی و مدیریت کنند. انتقال داده‌ها از گره‌های منبع به چاهک می‌تواند به دلیل طوفان پخش، باعث ازدحام

هدایت و ارسال بسته‌های داده‌ای به سمت جلو را بر عهده دارند [۲۱]. در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ به بررسی جنبه‌های مختلف شبکه بی‌سیم بدنی پرداختیم.

لایه فیزیکی مسئول انتخاب فرکانس، تولید فرکانس حامل، تشخیص سیگنال، مدولاسیون و رمزگذاری سیگنال است. توالی بیتی را از لایه پیوند داده دریافت می‌کند و وظیفه ارسال و دریافت صحیح آن از جمله همگام‌سازی بیت را بر عهده دارد. لایه فیزیکی پایه‌ای برای لایه‌های بالایی ایجاد می‌کند و رفتار آن به طور قابل‌توجهی بر اجرای لایه بالایی تأثیر می‌گذارد. این به‌عنوان پایه در تمام استانداردهای سیستم توزیع شده، از جمله شبکه‌های حسگر وجود دارد. در WBAN‌ها، یکی از مهمترین مشخصات این لایه، باند فرکانسی مورد استفاده است. لایه فیزیکی پایه‌ای برای لایه‌های بالایی ایجاد می‌کند و رفتار آن به طور قابل‌توجهی بر اجرای لایه بالایی تأثیر می‌گذارد [۳۰].

۳-۳- محدودیت‌های سخت افزاری یک گره حسگر

عواملی چون اقتصادی بودن سیستم، قابلیت مورد انتظار، تعداد انبوه گره‌ها و نهایتاً عملی شدن ایده‌ها در محیط واقعی، موجب گشته هر گره یکسری محدودیت‌های سخت‌افزاری داشته باشد. این محدودیت‌ها در ذیل اشاره شده و در مورد هر کدام توضیحی داده شده است.

۱. هزینه پایین: بایستی سیستم نهایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. چون تعداد گره‌ها خیلی زیاد بوده و برآورد هزینه هر گره در تعداد زیادی (بالغ بر چند هزار) ضرب می‌گردد، بنابراین هر چه از هزینه هر گره کاسته شود، در سطح کلی شبکه صرفه‌جویی زیادی صورت خواهد گرفت و سعی می‌شود هزینه هر گره در حد توان کمتر شود.

۲. حجم کوچک: گره‌ها به نسبت محدوده‌ای که زیر نظر دارند، بخشی را به حجم خود اختصاص می‌دهند. لذا هر چه این نسبت کمتر باشد به همان نسبت کارایی بالاتر

می‌رود و از طرفی در اکثر موارد، برای این که گره‌ها جلب توجه نکند و یا بتوانند در برخی مکان‌ها قرار بگیرند، نیازمند داشتن حجم بسیار کوچک می‌باشند.

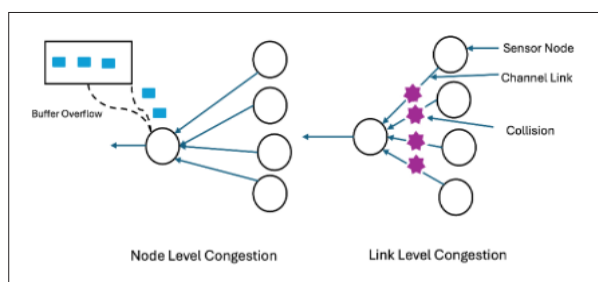
۳. توان مصرفی پایین: منبع تغذیه در گره‌ها محدود می‌باشد و در عمل، امکان تعویض یا شارژ مجدد آن مقدور نیست، بنابراین بایستی از انرژی موجود به بهترین نحو ممکن استفاده گردد.

۴. نرخ بیت پایین: به خاطر وجود سایر محدودیت‌ها، میزان نرخ انتقال و پردازش اطلاعات در گره‌ها، نسبتاً پایین می‌باشد. نرخ بیت^۲ معمولاً به سرعت انتقال داده‌ها در واحد زمان اطلاق می‌شود و واحد آن بیت در ثانیه است. برای مثال، یک گره حسگر در شبکه‌های WBAN ممکن است قادر باشد داده‌ها را با سرعت تنها ۱ کیلوبیت بر ثانیه یا حتی کمتر منتقل کند. این مقدار، به مراتب پایین‌تر از سرعت انتقال داده در شبکه‌های اینترنتی پرسرعت است که معمولاً به مگابیت بر ثانیه می‌رسد. در صورتی که یک گره حسگر نیاز به ارسال داده‌های حجیم و پیچیده داشته باشد، سرعت پایین نرخ بیت می‌تواند باعث تاخیر و کاهش کارایی سیستم شود. به‌عنوان مثال، اگر یک گره حسگر قرار است هر چند ثانیه یک‌بار دما، ضربان یا موقعیت مکانی خود را به گره‌های دیگر ارسال کند، محدودیت‌های نرخ بیت باعث می‌شود که اطلاعات به کندی به مقصد برسند و یا گره‌ها نتوانند به‌موقع واکنش نشان دهند. بنابراین، برای مثال، یک گره ممکن است قادر به ارسال ۱ کیلوبیت داده در ثانیه باشد که نشان‌دهنده محدودیت سخت‌افزاری و ظرفیت پایین شبکه در مقایسه با شبکه‌های پرسرعت است.

۵. خود مختار بودن: هر گره بایستی از سایر گره‌ها مستقل باشد و بتواند وظایف خود را طبق تشخیص و شرایط خود، به انجام برساند.

۶. قابلیت انطباق: در طول انجام نظارت بر محیط ممکن است شرایط در هر زمانی دچار تغییر و تحول شود.

زمانی ایجاد می‌شود که چندین گره به‌طور همزمان برای استفاده از یک مسیر رقابت کنند، که نتیجه آن برخورد یا خطای بیت است. این نوع ازدحام باعث کاهش نرخ تحویل بسته‌ها به چاهک و کاهش بهره‌وری پیوند می‌شود. هر دو نوع ازدحام به بهره‌وری انرژی و QoS آسیب می‌زنند و ممکن است هم زمان رخ دهند، که تشخیص و مدیریت آن‌ها در مراحل اولیه ضروری است. شکل ۲ زیر بخش (a) ازدحام سطح گره را نشان می‌دهد و بخش (b) نشان می‌دهد که ازدحام سطح پیوند چگونه شبیه به آن است [۱۷].



شکل ۲: انواع ازدحام [۱].

جدول ۵: تفاوت شبکه حسگر بی‌سیم و شبکه حسگر بی‌سیم بدنی [۳۲]

ویژگی	شبکه حسگر بی‌سیم	شبکه حسگر بی‌سیم بدنی
مقیاس	نظارت محیط km/m	بدن انسان Cm/m
تعداد گره	تعداد گره‌های زیاد برای پوشش ناحیه‌ای وسیع	تعداد گره کم و محدود در فضا
اندازه گره	ترجیحاً کوچک ولی چندان اهمیت ندارد	کوچک
توپولوژی شبکه	ثابت	متغیر به علت حرکت بدن
نرخ داده	همگن	همگن
جایگزینی گره	آسان	مشکل
عمر گره	چند سال / ماه	چند سال / ماه (ظرفیت کمتر باتری)
منبع تغذیه	قابل دسترسی و جایگزینی	غیر قابل دسترسی و مشکل برای جایگزینی
سطح امنیت	پایین	بالا، برای حفاظت از اطلاعات بیمار
فناوری بی‌سیم	Zigbee, Bluetooth, WLAN, GPRS	IEEE 802.15

مثلاً بعضی از گره‌ها خراب شوند. لذا هر گره بایستی بتواند وضعیت خود را با شرایط به وجود آمده جدید تطبیق دهد [۳۱].

جدول ۳: کاربردها و نیازهای گره‌های حسگر در WBAN [۳۲]

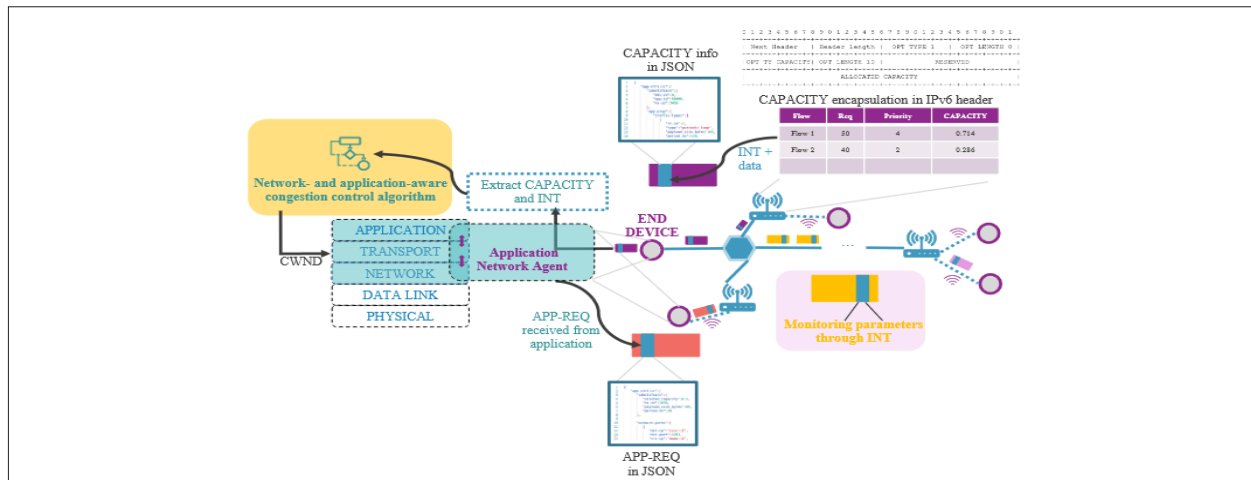
کاربرد / ویژگی	حداکثر فرکانس Hz	نرخ داده Mbps	نرخ خطای بیت	تعداد گره	تاخیر (ms)
ECG	۲۵۰	۶	<۱۰-۱۰	۶	<۲۵۰
EEG	۱۵۰	۳/۶	<۱۰-۱۰	<۶	<۲۵۰
EOG	۱۵۰	۳/۶	<۱۰-۱۰	<۶	<۲۵۰
EMG	۲۰۰۰	۴۸	<۱۰-۱۰	<۶	<۲۵۰
کپسول اندوسکوپ	-	۱	<۱۰-۱۰	۲	<۲۵۰
دما O ₂ /CO ₂ /تنفس، قند خون، شتاب سنج	-	<۱۰	<۱۰-۱۰	۱۲	<۲۵۰

جدول ۴: استاندارد لایه فیزیکی فناوری‌های مورد استفاده در WBAN [۳۲]

ویژگی / استاندارد	Zigbee IEEE 802.15.4	Bluetooth IEEE 802.15.1	WiFi IEEE 802.11
نرخ داده (Mbps)	۲۵۰ /	۳-۱	۵۴
توان خروجی (mW)	۲-۱	۱۰۰-۱	۴۰-۲۰۰
برد (m)	۱۰۰-۱۰	۱۰-۱	۳۰-۱۰۰
فرکانس (GHz)	۲/۴ / ۹۱۵	۲/۴	۲/۴
تعداد گره	<۶۵۰۰۰	۷	۳۰
زمان پیوستن به شبکه (s)	<<۱	<۱۰	<۳

۳-۴- انواع ازدحام

در WBAN، دو نوع ازدحام ممکن است رخ دهد: ازدحام سطح گره و ازدحام سطح پیوند. ازدحام سطح گره زمانی رخ می‌دهد که نرخ ورودی بسته‌ها بیشتر از نرخ خدمات‌دهی آن‌ها باشد، که منجر به سرریز میانگیر و از دست رفتن بسته‌ها می‌شود. این ازدحام به افزایش مصرف انرژی، کاهش قابلیت دسترسی شبکه، کاهش عمر شبکه و تأثیر منفی بر کیفیت سرویس منجر می‌شود. ازدحام سطح پیوند



شکل ۳: طبقه‌بندی پروتکل‌های کنترل ازدحام [۱].

۳-۵- دسته‌بندی پروتکل‌های کنترل ازدحام

پروتکل‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌طور گسترده‌ای مورد پژوهش قرار گرفته‌اند و بر اساس ویژگی‌ها و روش‌های عملکردشان به چند دسته تقسیم می‌شوند (شکل ۳). این پروتکل‌ها می‌توانند در لایه‌های مختلف شبکه فعالیت کنند و شامل پروتکل‌های MAC حساس به ازدحام (لایه ارتباطات داده)، طرح‌های مسیریابی حساس به ازدحام (لایه شبکه)، پروتکل‌های اختصاصی کنترل ازدحام (لایه حمل‌ونقل) و پروتکل‌های لایه‌های متقاطع (فعال در دو یا چند لایه) باشند. هر یک از این پروتکل‌ها روش‌هایی را برای مقابله با ازدحام به‌کار می‌گیرند تا عملکرد شبکه بهبود یابد و از مشکلات ناشی از ازدحام جلوگیری شود. در زیر برای هر یک از این پروتکل‌ها توضیح کوتاهی ارائه شده است.

۳-۵-۱- پروتکل‌های MAC حساس به ازدحام

پروتکل‌های کنترل دسترسی به رسانه (MAC) به منظور مدیریت زمان ورود گر‌ها به کانال و نحوه دسترسی به آن طراحی شده‌اند. پروتکل IEEE 802.15.4 از روش CSMA/CA برای کاهش تداخل و بهبود جریان استفاده می‌کند، اما در صورت وقوع تصادف، عملیات بازاریابی دوباره انجام می‌شود. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مصرف انرژی به دلیل محدودیت باتری حسگرها اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش عمر

شبکه از طریق رویکردهای خوشه‌بندی توزیع‌شده و تعادل بار مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر تحقیقات موجود بر کاهش تأخیر و مصرف انرژی تمرکز دارند تا حفظ عملکرد شبکه. در این راستا مزایا و معایب پروتکل‌های MAC حساس به ازدحام شامل Predictive CCMAC [۳۳]، Token based CLOMAC [۳۶]، C-MAC [۳۵]، Z-MAC [۳۴]، CH-MA [۳۸]، Coala [۳۹] و CCDC [۴۰]، در جدول ۶ نشان داده شده است.

در این بخش، مروری از پروتکل‌های MAC حسگر بی‌سیم حساس به ازدحام ارائه شد و تحلیل شد که چگونه این پروتکل‌ها می‌توانند با کاهش احتمال ازدحام و از دست رفتن بسته، افزایش کارایی شیار، تأخیر پشتیبانی، توازن بار و توزیع ترافیک، مفید باشند. بیشتر مطالعات در زمینه بهبود پروتکل‌های MAC برای کاهش مصرف انرژی و بهبود عمر شبکه تمرکز داشته‌اند.

۳-۵-۲- پروتکل‌های مسیریابی حساس به ازدحام

عموماً، لایه حمل‌ونقل در هر مدل شبکه استاندارد مسئولیت کنترل ازدحام را دارد، با این حال، چندین الگوریتم مسیریابی در لایه شبکه کار می‌کنند و به کاهش مشکلات مربوط به ازدحام کمک می‌کنند. آنها به‌عنوان پروتکل‌های مسیریابی حسگر بی‌سیم حساس به ازدحام شناخته می‌شوند. در این دسته از پروتکل‌ها، تصمیمات مسیریابی به گونه‌ای گرفته می‌شوند که به جلوگیری از

ازدحام و در صورت وقوع، کاهش تأثیر آن کمک کنند. در جدول ۷، تعدادی از پروتکل‌های محبوب مسیریابی حسگر بی‌سیم حساس به ازدحام بیان شده است.

جدول ۶: مقایسه پروتکل‌های MAC حساس به ازدحام

روش	مزایا	معایب
Predictive CCMAC [33]	- پیش‌بینی ازدحام و آغاز کنترل قبل از وقوع - بهره‌وری انرژی بالا با استفاده از کنترل توان پخش (DPS)	- پیچیدگی بالا به دلیل استفاده از رویکرد پیش‌بینی بر پایه لیاپانوف و تخمین گر کانال
Z-MAC [34]	- بهره‌برداری بالا از کانال در شرایط مختلف - کاهش تصادف‌ها و تأخیر در محیط‌های کم‌تداخل	- کارایی کمتر در محیط‌های با تداخل زیاد - نیاز به تنظیم دقیق ترکیب TDMA و CSMA
C-MAC [34]	- کاهش تأخیر و از دست رفتن بسته‌ها در شرایط ازدحام - جایگزینی پویا بین TDMA و CSMA/CA	- پیچیدگی در پیاده‌سازی به دلیل استفاده از چندین پروتکل به‌طور هم‌زمان
CLOMAC [36]	- بهبود احتمال جلوگیری از ازدحام - ایجاد مسیرهای جایگزین به سمت چاهک به‌صورت فعال	- استفاده از پریمبل می‌تواند منجر به افزایش تأخیر و مصرف انرژی شود
Token based MAC [37]	- افزایش عمر شبکه با مدیریت خواب گره‌ها - کاهش ترافیک و تصادف‌ها	- نیاز به هماهنگی دقیق در تخصیص و مدیریت توکن‌ها - ممکن است در شبکه‌های با تغییرات بالا کارآمد نباشد
CH-MAC [38]	- بهره‌وری انرژی بالا - کاهش ازدحام و تأخیر با استفاده از سیستم صف‌بندی	- کارایی بهینه ممکن است نیاز به تنظیم دقیق پارامترهای صف‌بندی داشته باشد
Coala [39]	- پیشگیری از ازدحام و ارائه مسیر جایگزین در صورت وقوع - کاهش از دست رفتن اطلاعات	- نیاز به محاسبات بیشتر به دلیل تابع هزینه تجمعی - احتمال افزایش تأخیر در انتخاب مسیر جایگزین
CCDC [40]	- کاهش از دست رفتن بسته‌ها و تأخیر با استفاده از زمان بیداری اضافی - شناسایی سریع ازدحام	- افزایش مصرف انرژی به دلیل بیداری‌های اضافی در صورت وقوع ازدحام

based [۵۳] نشان داده شده است. از پروتکل‌های مسیریابی حساس به ترافیک فوق، می‌توان مشاهده کرد که با وجود این که این پروتکل‌ها از رویکردهای مختلفی برای کنترل ازدحام استفاده می‌کنند، هدف مشترک آنها تصمیم‌گیری در مورد مسیریابی به گونه‌ای است که بهترین مسیر انتقال اطلاعات را با کمترین هدررفت انتقال و کمترین از دست دادن بسته‌ها و مصرف انرژی پیدا کنند.

۳-۵-۳ پروتکل‌های بین لایه‌ای آگاه از ازدحام در لایه‌های مسیریابی و MAC

TCP و UDP، پروتکل‌های استاندارد لایه انتقال، در اینترنت به طور رایج استفاده می‌شوند، اما برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مناسب نیستند، زیرا هیچ ارتباطی بین این پروتکل‌ها و لایه‌های پایینی مانند مسیریابی و MAC وجود ندارد. لایه‌های پایینی معمولاً اطلاعات کلی را به لایه‌های بالاتر ارائه می‌دهند که می‌تواند کارایی سیستم را بهینه‌سازی کند. در این راستا، مفهوم Cross Layer به‌عنوان روشی برای تعامل بین لایه‌ها به منظور جلوگیری از ترافیک زیاد و افزایش عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح می‌شود، که از طریق مدیریت و تبادل اطلاعات بین چند لایه، بهبود عملکرد را امکان‌پذیر می‌سازد بدون این که ساختار لایه‌ای به‌طور کامل حذف شود، بلکه مرزها را ضعیف‌تر می‌کند تا ارتباطات به حداکثر برسد.

XLP: پروتکل XLP با استفاده از تعامل لایه‌ای ابتکار، به مدیریت رقابت گیرنده، مسیریابی مبتنی بر ابتکار، و کنترل ترافیک محلی کمک می‌کند. این پروتکل باعث بهبود عملکرد ارتباطات و کاهش پیچیدگی شبکه در مقایسه با پروتکل‌های سنتی لایه‌ای می‌شود. مزیت آن بهبود عملکرد ارتباطی و کاهش پیچیدگی شبکه و عیب آن پیاده‌سازی این پروتکل نیازمند تنظیمات دقیق و پیچیده است [۵۴].

۱. HCCC: پروتکل HCCC با استفاده از اطلاعات لایه MAC مانند تراکم گره و میزان استفاده از میانگیر، دسترسی به کانال و نرخ انتقال داده را به صورت پویا تنظیم

مزایا و معایب پروتکل‌های مسیریابی حساس به ازدحام در SPEED [۴۱]، CAR [۴۲]، BGR [۴۳]، I2MR [۴۴]، HTECRP [۴۵]، TARP [۴۶]، LACAR [۴۷]، CCAR [۴۸]، CA- [۴۹]، RPL [۴۹]، CAW [۵۰]، CoAR [۵۱]، CCR [۵۲] و Gradient-

جدول ۷: مقایسه پروتکل‌های مسیریابی حساس به ازدحام

روش	مزایا	معایب
SPEED [41]	حفظ نرخ انتقال مطلوب و کاهش تأخیر انتها به انتها با ترکیب کنترل بازخورد و فورواردینگ جغرافیایی.	نیاز به هماهنگی بالا بین لایه‌های MAC و شبکه، پیچیدگی پیاده‌سازی.
CAR [42]	ارائه خدمات با اولویت داده و جلوگیری از افت تصادفی داده‌ها و افزایش عمر شبکه.	عدم استفاده از مدیریت صف فعال و محدودیت در سازگاری با شرایط تغییرپذیر شبکه.
BGR [43]	استفاده از دو الگوریتم IPS و EPS برای جلوگیری از ازدحام و بهبود مسیریابی بسته‌ها.	احتمال بالای پیچیدگی پردازش مسیرها و افزایش سربار محاسباتی.
I2MR [44]	توزیع یکنواخت ترافیک و تنظیم پویا نرخ بارگذاری برای جلوگیری از ازدحام.	نیاز به پایش مداوم منابع فعال و بار شبکه، که می‌تواند مصرف انرژی را افزایش دهد.
HTECRP [45]	کاهش ازدحام با تقسیم شبکه به خوشه‌ها و استفاده از الگوریتم دایکسترا برای مسیریابی.	پیچیدگی بالا در پیاده‌سازی و نیاز به هماهنگی خوشه‌ها برای عملکرد بهینه.
TARP [46]	استفاده از الگوریتم ژنتیک برای مدیریت ازدحام و بهینه‌سازی ارسال داده‌ها.	نیاز به پردازش زیاد برای محاسبه کروموزوم‌های بهینه و عملکرد ضعیف در شبکه‌های پرتراffic.
LACAR [47]	جلوگیری از ازدحام با انتخاب گره‌های با بار کمتر و مدیریت مسیرها به سوی چاهک.	کارایی پایین در شبکه‌های بزرگ و پویا.
CCAR [48]	تشخیص ازدحام، محاسبه مسیر جایگزین و هدایت بسته‌ها برای جلوگیری از ترافیک زیاد.	سربار محاسباتی زیاد و احتمال افزایش زمان تأخیر در محاسبه مسیرهای جایگزین.
CA-RPL [49]	استفاده از معیارهای ترکیبی برای مسیریابی بهینه و جلوگیری از ازدحام در شبکه‌های کم‌مصرف.	پیچیدگی بیشتر نسبت به پروتکل‌های ساده‌تر و عملکرد ضعیف در محیط‌های با تغییرات سریع.
CAW [50]	استفاده از اطلاعات ترافیک محلی برای انتخاب مسیر با کمترین احتمال ازدحام و تأخیر.	نیاز به پایش مداوم ترافیک محلی و وابستگی زیاد به اطلاعات لایه MAC.
CoAR [51]	انتخاب گره والد جایگزین بر اساس معیارهای چندگانه برای جلوگیری از ترافیک زیاد.	سربار پردازشی بالا برای انتخاب گره والد و محدودیت در شرایط پویا و پیچیده.
CCR [52]	کاهش تأخیر انتها به انتها و افزایش عمر شبکه با انتخاب مناسب سرپرست خوشه‌ها.	پیچیدگی بیشتر در انتخاب و مدیریت خوشه‌ها و نیاز به تنظیم دقیق پارامترهای شبکه.
Gradient-based [53]	توزیع ترافیک و بار بهینه با استفاده از تعداد هاب‌ها و بار ترافیک فعلی.	وابستگی به اطلاعات دقیق و به‌روز شبکه، که ممکن است در شبکه‌های غیرپایدار باعث کاهش کارایی شود.

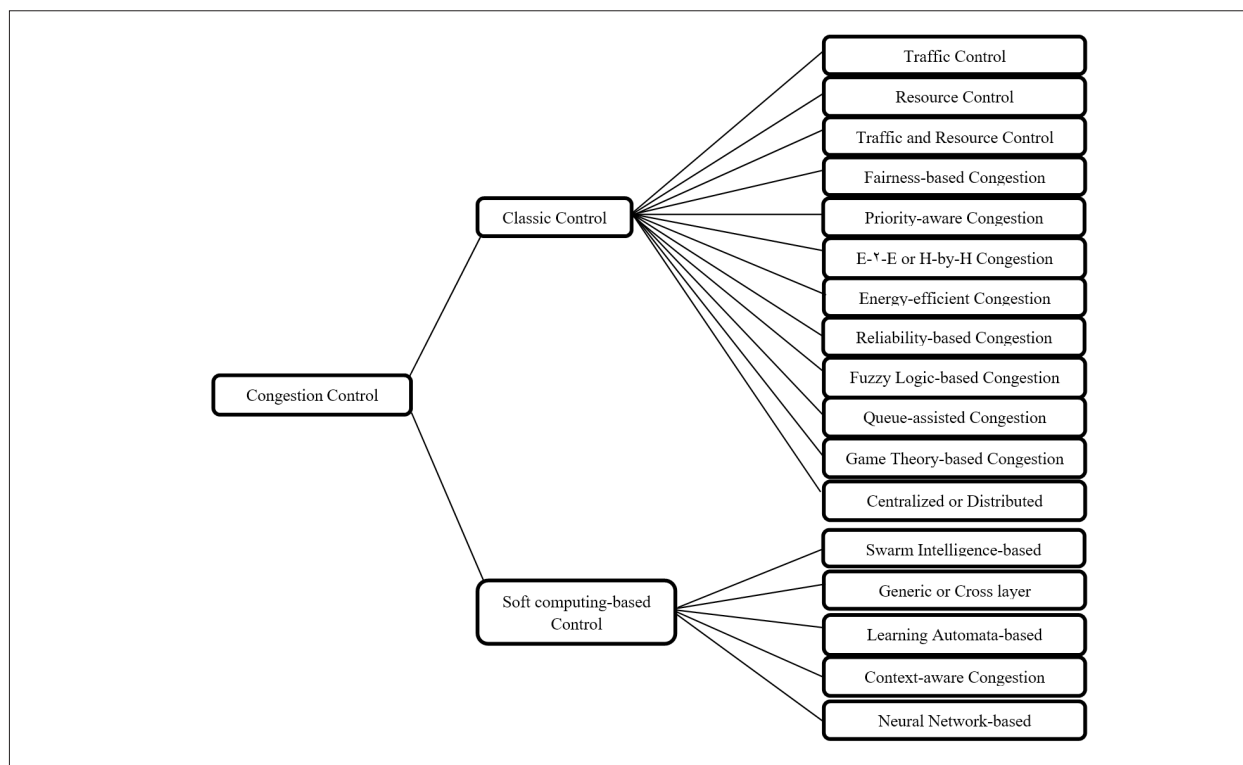
داده‌ها، به طور پویا اولویت ارسال داده را در شبکه تغییر می‌دهد. مزیت آن تضمین عدالت و به‌موقع بودن شبکه و بهبود مدیریت ترافیک و عیب آن پیاده‌سازی پیچیده برای مدیریت دقیق ترافیک در شبکه‌های پرتراکم است [۵۶].

۳-۶- طبقه‌بندی رویکرد کنترل ازدحام

روش‌های کنترل ازدحام به دو دسته کلی رویکردهای کلاسیک و روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم تقسیم می‌شوند. در این دسته‌بندی، با توجه به مدل بهینه‌سازی و رویکرد حل مسئله استفاده شده توسط این روش‌ها، صورت گرفته است. شکل ۴ تقسیم‌بندی جامع رویکردهای

می‌کند. این پروتکل با بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش درصد از دست دادن بسته‌ها در شبکه‌های بی‌سیم عملکرد بهتری نسبت به پروتکل‌های موجود دارد. مزیت آن بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش درصد از دست دادن بسته‌ها و عیب آن این است که ممکن است برای شرایط با تراکم بسیار زیاد گره‌ها بهینه‌سازی بیشتری نیاز داشته باشد [۵۵].

۲. CL-APCC: این پروتکل با استفاده از نظریه صف، وضعیت حافظه و ترافیک گره‌ها را تحلیل کرده و سرعت ارسال داده‌ها را به طور فعالانه تنظیم می‌کند. همچنین، این پروتکل براساس زمان انتظار و اولویت



شکل ۴: تقسیم‌بندی رویکردهای کنترل ازدحام [۱].

کنترل ازدحام را معرفی می‌کند. در بخش بعدی، شرح دقیقی از این روش‌ها و تکنیک‌ها ارائه می‌شود.

۳-۶-۱- رویکرد کلاسیک

روش‌های کلاسیک روش‌هایی هستند که هنوز هم توسط دانشمندان استفاده می‌شوند. با توجه به روش حل مسئله، این روش‌ها به چهار زیردسته ترافیکی، منابع، هیبریدی و اولویتی تقسیم می‌شوند. در ادامه، ایده و اصطلاحات این رویکردها و پروتکل‌های آن‌ها توضیح داده شده است.

۳-۶-۱-۱- روش کنترل ازدحام مبتنی بر اختلاف ترافیک

همان‌طور که از نامش پیداست، در این روش، ترافیک با کاهش نرخ انتقال بسته‌ها به مقصد تنظیم می‌شود. به عبارت دیگر، می‌توان گفت نرخ داده‌های جریان ورودی از گره‌های پایین جریان با توانایی ارسال گره بالادست، تنظیم می‌شود. نرخ بر اساس شدت و نوع اختلاف ترافیک تنظیم می‌شود. ایده کلی پشت این رویکرد، انتقال فشار

به عقب به منابع اطلاعات است تا نرخ داده‌ها تنظیم شود. این روش مدیریت اختلاف در طبیعت خود واکنشی است. در صورت برخورد با برنامه‌های جریان‌سازی^۸ و برای بار اضافی عابر، روش کنترل نرخ به‌عنوان مناسب‌ترین روش تلقی می‌شود. از سوی دیگر، این روش مناسب برای برنامه‌های مبتنی بر رویداد فرض می‌شود، زیرا کاهش ترافیک می‌تواند تأثیرات منفی بر بسته‌های داده‌ای مهمی که اطلاعات رویداد را حمل می‌کنند، داشته باشد. در جدول ۸، چندین پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر ترافیک برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل PSFQ [۵۷]، CODA [۵۸]، ARC [۵۹]، CCF [۶۰]، FUSION [۶۱]، ECODA [۶۲]، ESRT [۶۳]، SenTCP [۶۴]، CONSISE [۶۵]، FACC [۶۶]، PRRP [۶۷] و CCP [۶۸] نشان داده شده است.

۳-۶-۱-۲- روش‌های کنترل ازدحام مبتنی بر منابع

کنترل از طریق منابع گرفته شده از کنترل تراکم است که هدف آن مدیریت منابع شبکه به بهترین روش ممکن

جدول ۸: مقایسه روش‌های کنترل ازدحام مبتنی بر اختلاف ترافیک

روش	مزایا	معایب
PSFQ [57]	ارسال اطلاعات به صورت قابل اعتماد و مقیاس پذیر با مصرف انرژی کم.	حساس به شرایط پیچیده شبکه و مستعد خطاهای عملیاتی.
CODA [58]	بهبود انتشار داده و کاهش نقاط داغ با صرف انرژی کمتر.	ممکن است در محیط‌های با دقت بالا جریمه دقت بیشتری داشته باشد.
ARC [59]	عملکرد بالا و پشتیبانی از ترافیک چندرسانه‌ای در زمان واقعی.	نیازمند تنظیمات دقیق برای اطمینان از عدم نقض قوانین شهروندی اینترنت.
CCF [60]	دستیابی به نرخ انتقال بهینه و عدالت در توزیع نرخ انتقال.	پیاده‌سازی پیچیده در شبکه‌های بزرگ‌تر.
FUSION [61]	کنترل مؤثر ازدحام و اولویت‌دهی به گره‌های شلوغ.	بهینه‌سازی ناکافی برای شرایط با تداخل‌های زیاد.
ECODA [62]	کنترل مؤثر ازدحام و بهبود کارایی انرژی و کیفیت سرویس.	پیاده‌سازی پیچیده برای شبکه‌های پویا.
ESRT [63]	انتقال داده قابل اطمینان با کمترین مصرف انرژی.	محدود به شرایط شبکه‌های کوچک و نیازمند عملیات بیشتر در گره‌های سینک.
SenTCP [64]	کنترل مؤثر ازدحام هاپ-های-هاپ با استفاده از پارامترهای محلی.	ممکن است در محیط‌های پر تراکم بهینه‌سازی بیشتری نیاز داشته باشد.
CONSISE [65]	کنترل ازدحام با هزینه پایین و بدون نیاز به برنامه‌ریزی پیچیده.	عدم توجه به تداخل‌ها در شبکه‌های پر ترافیک.
FACC [66]	تخصیص پهنای باند عادلانه و کارایی انرژی بالا.	پیاده‌سازی پیچیده برای حفظ عدالت در شبکه‌های بزرگ.
PRRP [67]	بهبود عملکرد در ترافیک زمان واقعی و کاهش تأخیر و ازدحام.	پیچیدگی پیاده‌سازی در شرایط ترافیک ترکیبی.
CCP [68]	کاهش ازدحام با استفاده از کنترل سه مرحله‌ای.	مصرف انرژی زیاد در ترافیک سنگین.

۳-۶-۱-۳ روش کنترل ازدحام ترکیبی

پروتکل‌های کنترل ازدحام ترکیبی از رویکرد یکپارچه استفاده می‌کنند، به عبارت دیگر با دارا بودن ویژگی‌های مطلوب دو یا بیشتر پروتکل به تبعیت از نیاز برنامه‌های کاربردی، عمل می‌کنند. در زیر لیستی از برخی از پروتکل‌های کنترل ازدحام ترکیبی آمده است.

۱. HCCP: HCCP از نرخ انتقال بسته‌ها و اندازه میانگیر هر گره برای تشخیص اختلال استفاده می‌کند و پس از شناسایی ازدحام، از ریزش بسته‌ها جلوگیری می‌کند. این پروتکل عملکرد شبکه را بهبود می‌بخشد و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که از روش‌های قبلی بهتر عمل می‌کند. مزیت HCCP این است که از ریزش بسته‌ها جلوگیری کرده و عملکرد شبکه را بهبود می‌بخشد. عیب

برای مبارزه با تراکم است. در صورت بروز تراکم در شبکه، این روش سعی می‌کند از منابع شبکه آزاد استفاده کند یا منابع جدیدی را معرفی کند تا بار ترافیک را تعادل بخشد. به عنوان مثال، در صورت تراکم در شبکه، بسته‌های داده از مسیرهای جایگزینی برای رسیدن به مقصد استفاده می‌کنند یا برای انتقال بسته از جریان فعلی استفاده نشده‌اند. روش‌های کنترل تراکم براساس منابع ممکن است سرعت داده بیشتری را بدون خطر برای عمر شبکه ارائه دهند. این پروتکل‌ها عبارتند از HTAP [۶۹]، QoSACC [۷۰]، TADR [۷۱]، IFRC [۷۲]، TARA [۷۳]، Siphon [۷۴]، CCOR [۷۵]، DRCP [۷۶]، CRRT [۷۶]، WCCP [۷۷] و DAIPaS [۷۸] که در جدول ۹ مقایسه این پروتکل‌ها نشان داده شده است

جدول ۹: مقایسه روش‌های کنترل ازدحام مبتنی بر منابع

روش	مزایا	معایب
HTAP [69]	ساده و کارآمد، ایجاد مسیرهای جایگزین دینامیک	فاقد پیچیدگی‌های پیشرفته برای مدیریت ترافیک سنگین
QoSACC [70]	تضمین کیفیت خدمات (QoS)، پشتیبانی از داده‌های مختلف	مدیریت پیچیده QoS، هزینه انرژی بالا
TADR [71]	کاهش تراکم با استفاده از مسیرهای جایگزین، بهبود عملکرد نسبت به روش‌های قبلی	هزینه اضافی جزئی، ممکن است در شبکه‌های کوچک کارآمد نباشد
IFRC [72]	کنترل ترافیک منصفانه و کارآمد، هزینه کم	محدودیت در عملکرد در شبکه‌های با ترافیک سنگین
TARA [73]	بهره‌وری انرژی و توپولوژی، توزیع شده	ممکن است در شرایط با تغییرات سریع ترافیکی کند عمل کند
Siphon [73]	مدیریت کارآمد رشد ترافیک، توزیع شده	تأثیر منفی روی دقت در ترافیک سنگین
CCOR [74]	کاهش تراکم، حفظ انرژی شبکه	تضعیف عملکرد در ترافیک سنگین
DRCP [75]	کاهش تراکم با کنترل قدرت انتقال، صرفه‌جویی در انرژی	عملکرد بهینه در تراکم‌های متوسط، مشکل در ترافیک سنگین
CRRT [76]	انتقال داده کارآمد و هزینه کم، بازبانی داده‌های از دست رفته	ممکن است در شرایط شبکه با نوسانات زیاد عملکرد کاهش یابد
WCCP [77]	بهبود عملکرد ویدئو و شبکه، پیش‌بینی اختلال	نیاز به تنظیم دقیق پارامترهای شبکه، هزینه محاسباتی بالا
DAIPas [78]	انتقال داده قوی و قابل اعتماد، انتخاب مسیر بهینه	پیچیدگی بالا در شرایط شبکه‌های متراکم و پویا

آن این است که ممکن است در شرایط پیچیده‌تر ازدحام، همچنان بهینه نباشد [۷۹].

۲. HRTC: HRTC با ترکیب کنترل منابع و کنترل ازدحام عمل می‌کند و زمانی که کنترل منابع کافی نیست، از کنترل ازدحام استفاده می‌کند. این رویکرد ترکیبی باعث افزایش عمر و ترافیک شبکه در تغییرات مکرر هم‌بندی می‌شود. مزیت آن این است که انعطاف‌پذیری HRTC در انتخاب روش مناسب باعث بهبود ترافیک و عمر شبکه می‌شود. عیب آن این است که پیچیدگی ترکیب دو روش ممکن است در برخی شبکه‌ها به کارایی پایین منجر شود [۸۰].

۳. HOCA: HOCA برای برنامه‌های حسگری در سلامت طراحی شده و از مدیریت صف فعال (AQM) برای کنترل ازدحام استفاده می‌کند. این پروتکل داده‌ها را به دسته‌های حساس و غیرحساس تقسیم کرده و نرخ انتقال داده را بر اساس اولویت تنظیم می‌کند. مزیت آن این است که HOCA با توجه به نیاز داده‌ها، کیفیت سرویس را برای اطلاعات حساس بهبود می‌بخشد. عیب آن این است که تقسیم داده‌ها به دو دسته ممکن است برای برخی کاربردهای پیچیده‌تر کافی نباشد [۸۱].

۴. HTCCFL: HTCCFL یک پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر منطق فازی است که از طریق سه فاز شامل ساخت

درخت سلسله‌مراتبی، تشخیص ازدحام، و تنظیم نرخ پویا عمل می‌کند. در صورت عدم امکان تنظیم نرخ، از مسیرهای جایگزین برای جلوگیری از ازدحام استفاده می‌شود. مزیت آن این است که استفاده از منطق فازی باعث بهبود تشخیص و کنترل ازدحام می‌شود. عیب آن این است که فرآیند چندمرحله‌ای ممکن است پیچیدگی سیستم را افزایش دهد و به زمان بیشتری نیاز داشته باشد [۸۲].

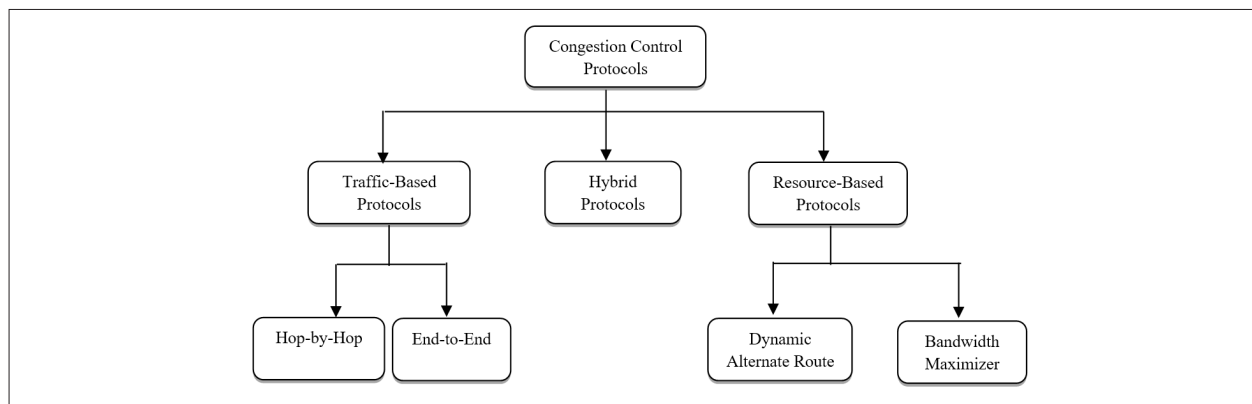
۵. CADA: CADA با انتخاب دقیق گره‌های نماینده برای کنترل منابع و استفاده از سه سازوکار اصلی، ازدحام را کاهش داده و کیفیت انتقال داده‌ها را حتی در شرایط تراکم بالا حفظ می‌کند. این سازوکارها شامل انتقال ترافیک منبع از منطقه رویداد، شناسایی مناسب ازدحام، و کنترل منابع یا ازدحام در مناطق ترافیک سنگین است. مزیت آن این است که CADA کیفیت انتقال داده‌ها را حتی در شرایط ازدحام بالا حفظ می‌کند. عیب آن این است که پیچیدگی این روش ممکن است باعث تأخیر در شناسایی و کنترل ازدحام شود [۸۳].

۳-۱-۴- روش کنترل ازدحام بر اساس اولویت

به‌عنوان بهترین انتخاب برای حفظ تعادل و عدالت بین بسته‌های مختلف، در WSNها استفاده می‌شود. در این رویکرد، مناطق یا منابع شبکه مختلف، بر اساس فراوانی

جدول ۱۰: مقایسه روش‌های کنترل ازدحام بر اساس اولویت

روش	مزایا	معایب
PCCP [84]	بهینه‌سازی لایه‌های متقابل برای کنترل ازدحام و بهره‌وری انرژی بیشتر و بهبود کیفیت خدمات (QoS).	ممکن است در شبکه‌های با تغییرات سریع ترافیکی کارایی مطلوبی نداشته باشد.
ACT [59]	فشرده‌سازی تطبیقی برای کاهش تعداد بسته‌ها و بهبود کارایی شبکه و تضمین عدالت بین گروه‌ها.	پیچیدگی فرآیند فشرده‌سازی می‌تواند منجر به تأخیر در ارسال داده شود.
DPCC [33]	پیش‌بینی فاصله back-off برای کاهش احتمال اختلال و تضمین کیفیت خدمات (QoS) و عدالت وزنی.	پیچیدگی الگوریتم پیش‌بینی ممکن است در شرایط خاص کارایی کاهش یابد.
PHTCCP [85]	تنظیم نرخ پویا برای تضمین بهره‌وری لینک و کنترل ازدحام ناهمگن با اولویت‌بندی بسته‌ها.	ممکن است در شرایط شبکه‌های بسیار پیچیده کارایی بهینه نداشته باشد.
PCCDC [86]	کاهش بسته‌های از دست رفته، هزینه کنترل و تأخیر، افزایش نسبت تحویل بسته و عمر شبکه با خوشه‌بندی پویا.	پیچیدگی محاسباتی برای خوشه‌بندی پویا و برنامه‌ریزی اولویت‌ها ممکن است مصرف انرژی را افزایش دهد.
QCCP-PS [87]	تنظیم نرخ منبع بر اساس وضعیت ازدحام در گره‌های بالادست و کاهش احتمال از دست رفتن بسته‌ها.	وابستگی زیاد به نشانگر ازدحام و ممکن است در شبکه‌های با ترافیک بسیار بالا بهینه نباشد



شکل ۵: مدل بهینه‌سازی چندهدفه به منظور کنترل ازدحام [۱]

دارد که عملکرد سیستم شبکه را با بهبود استفاده از پهنای باند، کاهش تأخیر و مدیریت ترافیک بهینه می‌کند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلفی مانند استقرار گره، تنظیم هم‌بندی و بهینه‌سازی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا کارایی و طول عمر شبکه افزایش یابد. در بهینه‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم، توازن بین معیارهای مختلف مانند مصرف انرژی، قابلیت اعتماد و زمان تأخیر ضروری است. بهینه‌سازی چندهدفه (MOO) ° راه‌حلی مناسب برای این شبکه‌ها است، زیرا دستیابی به یک هدف منفرد در تضاد با اهداف دیگر است و برای تعادل بین اهداف متضاد در شبکه‌های پرتراکم

وقوع ازدحام در آن منطقه یا گره، اولویت‌بندی می‌شوند. وقتی ازدحام واقعاً رخ می‌دهد، با در نظر گرفتن سطح اولویت آن منبع، به کنترل ازدحام پرداخته می‌شود. منابع با اولویت بالا اولین بار مدیریت می‌شوند و به همین ترتیب. به این ترتیب، می‌توان گفت که این رویکرد عدالت را فراهم می‌کند. در جدول ۱۰، برخی از پروتکل‌های کنترل ازدحام بر اساس اولویت مورد استفاده پرترفدار شامل PCCP [۸۴]، ACT [۵۹]، DPCC [۳۳]، PHTCCP [۸۵]، PCCDC [۸۶] و QCCP-PS [۸۷] نشان داده شده است.

۳-۶-۲- مدل بهینه‌سازی برای کنترل شبکه‌های پرتراکم
مدل بهینه‌سازی شبکه به مجموعه‌ای از روش‌ها اشاره

استفاده می‌شود.

اولیه و تنظیمات دقیق است [۹۰].

۴. الگوریتم رقابت استعماری (ICA^1): الگوریتم ICA از فرآیند رقابت سیاسی بین مستعمره‌ها الهام گرفته شده است که در آن مستعمره‌های ضعیف حذف و مستعمره‌های قوی تقویت می‌شوند. این الگوریتم برای خوشه‌بندی و بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مناسب است. مزایای آن توانایی حل مسائل چندهدفه و معایب آن پیچیدگی محاسباتی بالا در مسائل بزرگ است [۹۱].

۵. بهینه‌سازی متقابل لایه‌ای (CLO^2): این روش، ارتباط بین لایه‌های مختلف شبکه را بهبود می‌بخشد و اطلاعات لایه‌ها را به اشتراک می‌گذارد تا بهینه‌سازی کلی به دست آید. با حذف محدودیت‌های سنتی بین لایه‌ها، بهبود عملکرد شبکه امکان‌پذیر می‌شود. مزایای آن بهبود کارایی و کاهش تأخیر و معایب آن نیاز به هماهنگی دقیق بین لایه‌های مختلف است [۹۲].

۴- کارهای مرتبط

نمونه اولیه شبکه حسگر بدن، شبکه ناحیه شخصی (PAN^{11}) است که توسط زیمرمن در مارس سال ۱۹۹۶ پیشنهاد شد. شبکه حسگر بدن برای پایش اطلاعات مختلف به منظور اهداف مختلف و برای دستیابی به ارتباطات مابین ماشین و انسان توسط تغییر اطلاعات با ابزار خارجی است. هدف اصلی برای این شبکه‌ها مراقبت سلامت پزشکی است [۹۳]. همچنین در همان سال یک طرح دولتی، قانون انتقال و پاسخگویی الکترونیکی بیمه سلامت)، مجموعه‌ای از قوانین حفظ حریم خصوصی اجباری را برای حفاظت از اطلاعات شخصی بهداشتی حساس و قابل شناسایی مشخص کرده است همچنین توسعه فناوری‌های بی‌سیم تحقیق و توسعه را برای آنها برانگیخته است. در مارس ۱۹۹۹، مجمع جهانی مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک استاندارد IEEE 802.15 را جهت این نوع شبکه‌ها ایجاد و در سال ۲۰۰۱ تئوری شبکه حسگر بدنی و مفاهیم وابسته به آن را ارائه کرد. در [۹۴]

یک شکل کلی از MOO برای کنترل ازدحام در شکل ۵ نشان داده شده است که نشان‌دهنده این است که مسئله پرتراکم با بهینه‌سازی چهار هدف مرتبط شامل پارامترهای شبکه، انرژی، مسیر و بهینه‌سازی ترافیک قابل بهبود است. ما مقالات تحقیقاتی زیادی را بررسی کردیم و دریافتیم که با وجود این که بسیاری از محققان روش‌های بهینه‌سازی مختلفی برای مسیریابی، پوشش، موقعیتیابی، برنامه‌ریزی زمانبندی و صف‌ها ارائه داده‌اند، با این حال، در حال حاضر، بسیار کمتر به بهینه‌سازی مدل برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توجه شده است. در بخش بعدی، فهرستی از مدل‌های بهینه‌سازی را که در حوزه کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرتعداد هستند، ارائه داده‌ایم.

۱. بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO^6): این تکنیک، که از رفتار گل‌های پرندگان الهام گرفته است، با استفاده از جمعیت ذرات به جستجوی راه‌حل‌های بهینه می‌پردازد. در روش PSO، هر ذره با تجربیات خود و دیگران، سرعت خود را تغییر داده و به بهینه‌سازی نزدیک‌تر می‌شود. مزایای آن بهینه‌سازی سریع و ساده و معایب آن این است که ممکن است در مسائل پیچیده به دام بهینه‌های محلی بیفتد [۸۸].

۲. بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO^7): این الگوریتم از رفتار مورچه‌ها در یافتن مسیر بهینه برای رسیدن به منابع غذایی الهام گرفته است. مورچه‌ها با ترشح فرمون و پیروی از آن، به تدریج مسیر کوتاه‌تر را شناسایی می‌کنند. مزایای آن مناسب بودن برای مسائل پیچیده مسیریابی و معایب آن زمان همگرایی طولانی در مسائل بزرگ است [۸۹].

۳. جستجوی فاخته (CS^8): این الگوریتم از رفتار فاخته‌ها در قرار دادن تخم‌های خود در لانه پرندگان دیگر الهام گرفته و برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این روش، نرخ سهام کاهش یافته و ازدحام شبکه‌های حسگری بهینه‌سازی می‌شود. مزایای آن کنترل موثر ازدحام شبکه و معایب آن وابستگی به پارامترهای

9-Imperialist Competitive Algorithm
10-Cross Layer Optimization
11-Personal Area Network

6-Particular Swarm Optimization
7-Ant Colony Optimization
8-Cuckoo search

جدول ۱۱: مقایسه روش‌های مرتبط

عنوان	ایده بیان شده	نتایج به دست آمده	نحوه عملکرد
هوشمندسازی شبکه حسگر بی‌سیم بدن [۹۳] ۲۰۲۰	تخصیص زمان مناسب بین گره‌های شبکه	بهینه شدن مصرف انرژی	نیازمند داده‌های هوشمند بوده و برای پیاده‌سازی این مسئله پایگاه داده وسیعی وجود داشته باشد که از محدودیت‌های این مقاله به شمار می‌آید.
تئوری شبکه حسگر بی‌سیم بدن [۹۴] ۲۰۱۹	استفاده از IEEE802.15, برای این نوع شبکه	بهبود امنیت شبکه‌های حسگر بدن	نویسنده این مقاله اذعان کرده است که این روش در مقایسه با سایر فناوری‌های شبکه بی‌سیم بدن از کارایی کمتری برخوردار است.
فناوری‌های به کار رفته در شبکه حسگر بی‌سیم بدن [۹۶] ۲۰۱۸	فناوری‌های پوشیدنی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن	محدودیت انرژی یک عامل بازدارنده برای شبکه بی‌سیم بدن معرفی شده است	در این حالت به دلیل ازدحام و تضعیف ارتباطات بین گره‌های حسگر شبکه باعث عدم کارایی کل شبکه می‌شود.
شبکه حسگر بی‌سیم بدن [۹۷] ۲۰۱۷	هدف اصلی برای این شبکه‌ها مراقبت سلامت پزشکی است	دستیابی به ارتباطات مابین ماشین و انسان	وقتی بین گره‌های شبکه ازدحام رخ دهد منجر به از دست رفتن داده‌های حساس شبکه می‌شود که ممکن است سلامت بیمار به خطر بیفتد
حفظ حریم خصوصی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن [۹۸] ۲۰۱۶	استفاده از بیمه سلامت برای بیماران	توسعه فناوری‌های بی‌سیم	عدم توانایی تعامل با بسته‌های مختلف اطلاعاتی از قبیل بسته‌های پروتکل مسیریابی باعث کاهش تحمل خرابی افزایش هزینه در این راستا می‌شود.
استفاده از مدل آگاه برای شبکه حسگر بی‌سیم بدن [۹۹] ۲۰۱۶	کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر گره‌های شبکه	اتلاف بی‌مورد انرژی گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم	رسیدن به کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه باعث صرف هزینه هم از جهت سخت‌افزاری و هم از جهت نرم‌افزاری خواهد شد
بهینه‌سازی هم‌بندی و لایه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن [۱۰۰] ۲۰۱۵	استفاده از متد لایه‌بندی شبکه جهت کاهش مصرف انرژی و بهبود امنیت	بهینه‌سازی روش لایه‌بندی و بهینه‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم بدن	یکی از محدودیت‌های این روش این مسئله خواهد بود که هر لایه نیازمند پروتکل جداگانه جهت مدیریت و نظارت بر بسته‌های ارسالی در شبکه خواهد داشت.

بدن و گره‌های حسگری که روی بدن وجود دارند. مقاله [۹۷] به استفاده از رله‌ها برای کاهش مصرف انرژی اشاره کرده است که این روش با جلوگیری از قطع جریان سعی در کاهش مصرف انرژی را دارد.

ولی ممکن است رله بر عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن تاثیر گذاشته و سرعت عمل آن را محدود کند. مقاله [۹۸] مدل انرژی آگاه برای شبکه بی‌سیم بدن پیشنهاد داده است که در این روش سعی شده بر مشکل موقعیت گره‌ها فائق آمده و با در نظر گرفتن شبکه به‌عنوان یک لایه عظیم، طرح کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر گره‌های شبکه را اجرا می‌کند. یکی از مشکلات مطرح شده در این مقاله این است که با در نظر گرفتن شبکه به‌عنوان یک لایه ممکن است انرژی یک گره به شدت مورد استفاده قرار بگیرد ولی انرژی گره دیگر بی‌استفاده باقی بماند که این مسئله باعث اتلاف انرژی می‌شود. مقاله [۹۹] روش هوشمندسازی

BSN را ارائه نمودند که شامل پردازش و ارتباطات با توان بسیار پایین جهت به‌دست آوردن اطلاعات و تبادل توزیع شده و پردازش حسگر هوشمند و یکپارچه بی‌سیم است. در سال ۲۰۰۷، IEEE، استاندارد IEEE 802.15.6 را برای شبکه حسگر بدن ایجاد کرد که این استاندارد یک استاندارد ارتباطی بهینه شده برای ابزارهای با توان پایین است. عملکرد آن روی بدن، اطراف یا درون بدن انسان برای سرویس‌دهی به انواع گوناگون کاربردها شامل پزشکی و غیره است [۹۵]. استاندارد ارتباطی BAN برای IEEE 802.15.6 نیز در سال ۲۰۱۰ منتشر شده است. در [۹۶] از فناوری‌های پوشیدنی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن استفاده کردند که با استفاده از فناوری بلوتوث و بی‌سیم به انتقال داده و اطلاعات بیماران می‌پرداخت.

در مقاله محدودیت انرژی یک عامل بازدارنده برای شبکه بی‌سیم بدن معرفی شده است که به دلیل حجم روی

در نهایت، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب کنترل ازدحام با فناوری‌های جدید مانند SDN و طراحی پروتکل‌های اختصاصی با توجه به نوع داده‌ها و کاربردهای خاص شبکه، می‌تواند راهکارهای مؤثری برای بهبود عملکرد WBAN ارائه دهد. این رویکردها تضمین می‌کنند که داده‌های حیاتی در حوزه مراقبت‌های بهداشتی، با سرعت و دقت بالا انتقال یابند، که این امر به طور مستقیم بر تصمیم‌گیری‌های درمانی و ایمنی بیماران تأثیرگذار است. از این رو، طراحی و پیاده‌سازی راهبردهای پیشرفته در کنترل ازدحام، یکی از اولویت‌های مهم پژوهش در این حوزه به شمار می‌رود.

استفاده از الگوریتم‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن، با چالش‌هایی همراه است. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

۱. پیچیدگی محاسباتی: برای کنترل ازدحام در شبکه، باید الگوریتم‌های پیچیده‌ای از جمله الگوریتم‌های توزیع منابع و کنترل ترافیک استفاده شود. این الگوریتم‌ها نیاز به پردازش محاسباتی بالایی دارند که می‌تواند منجر به مصرف بیشتر انرژی در شبکه شود.

۲. پایداری: الگوریتم‌های کنترل ازدحام باید به گونه‌ای طراحی شوند که پایداری شبکه را حفظ کنند. به عنوان مثال، اگر الگوریتم‌های توزیع منابع نامناسب باشند، ممکن است باعث شود که برخی از گره‌ها در شبکه به دلیل کمبود منابع به مشکل برخورد کنند و در نتیجه، پایداری شبکه تحت تأثیر قرار گیرد.

۳. تأخیر: استفاده از الگوریتم‌های کنترل ازدحام ممکن است باعث افزایش تأخیر در ارسال و دریافت داده‌ها شود. برای مثال، در الگوریتم‌های توزیع منابع، زمانی که منابع به صورت پویا توزیع می‌شوند، ممکن است تأخیر در ارسال داده‌ها افزایش یابد.

۴. امنیت: همان‌طور که قبلاً گفته شد، شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن شامل اطلاعات حساسی هستند. بنابراین، الگوریتم‌های کنترل ازدحام باید به گونه‌ای طراحی شوند

گره‌های شبکه را مطرح کرده است که از آن طریق بر اساس زمان و تخصیص زمان و انرژی هوشمند بین گره‌ها باعث بهینه شدن مصرف انرژی در کل شبکه ایجاد کند [۱۰]. در جدول ۱۱ مقایسه روش‌های مرتبط نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناحیه بدن (WBANS) مجموعه‌ای از حسگرهای بی‌سیم هستند که در اطراف یا بر روی بدن انسان قرار می‌گیرند و وظیفه جمع‌آوری و ارسال اطلاعات فیزیولوژیکی نظیر ضربان قلب، فشار خون، یا دمای بدن را به یک گیرنده مرکزی بر عهده دارند. این شبکه‌ها به دلیل کاربردهای مهم در حوزه سلامت، از جمله نظارت مداوم بر بیماران، جراحی‌های از راه دور، و مراقبت از سالمندان، اهمیت زیادی دارند. با این حال، محدودیت‌های انرژی و پهنای باند، که از ویژگی‌های ذاتی این شبکه‌ها است، چالش‌های قابل توجهی مانند احتمال وقوع ازدحام شبکه را ایجاد می‌کند. ازدحام می‌تواند به کاهش کیفیت خدمات (QoS) منجر شود و پیامدهایی چون تأخیر در انتقال داده‌ها، از دست رفتن بسته‌های اطلاعاتی، و اختلال در عملکرد حسگرها را به همراه داشته باشد.

برای مقابله با این چالش‌ها، روش‌های کنترل ازدحام در WBAN توسعه یافته‌اند. از جمله این روش‌ها، رویکردهای ترکیبی مبتنی بر مدیریت هوشمند داده‌ها، مانند استفاده از کنترل‌کننده‌های شبکه نرم‌افزار محور (SDN) و پروتکل‌های بهینه‌سازی شده، عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. این روش‌ها با مدیریت متمرکز و دینامیک داده‌ها، امکان استفاده بهینه از پهنای باند و کاهش مصرف انرژی را فراهم می‌کنند. به طور مثال، SDN با تفکیک لایه‌های کنترل و داده، توانایی بهینه‌سازی مسیرهای انتقال اطلاعات را دارد و می‌تواند با توجه به شرایط لحظه‌ای شبکه، ترافیک را به شکلی هوشمند توزیع کند. این راهکارها نه تنها از وقوع ازدحام جلوگیری می‌کنند، بلکه کیفیت خدمات را بهبود می‌بخشند و قابلیت اطمینان شبکه را افزایش می‌دهند.

- pp. 26-31.
11. Bhat, R. V., Haxhibeqiri, J., Moerman, I. & Hoebeke, J. 2024. "Network-and application-aware adaptive congestion control algorithm," *Journal of Communications and Networks*, Vol. 26, No. 3, pp. 344-355.
 12. Rezayi, S., Safaei, A. A. & Mohammadzadeh, N. 2018. "The Usages of Body Sensor Networks: Review on References," *Payavard Salamat*, Vol. 11, No. 6, pp. 694-703.
 13. Kamruzzaman, M. & Alruwaili, O. 2022. "Energy efficient sustainable wireless body area network design using network optimization with smart grid and renewable energy systems," *Energy Reports*, Vol. 8, pp. 3780-3788.
 14. Hasan, K., Chowdhury, M. J. M., Biswas, K., Ahmed, K., Islam, M. S. & Usman, M. 2022. "A blockchain-based secure data-sharing framework for Software Defined Wireless Body Area Networks," *Computer Networks*, vol. 211, p. 109004.
 15. Preveze, B., Alkhayyat, A., Abedi, F., Jawad, A. M. & Abosinnee, A. S. 2022. "SDN-Driven Internet of Health Things: A Novel Adaptive Switching Technique for Hospital Healthcare Monitoring System," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, no. 1, p. 3150756.
 16. Bedi, P., Das, S., Goyal, S., Shukla, P. K., Mirjalili, S. & Kumar, M. 2022. "A novel routing protocol based on grey wolf optimization and Q learning for wireless body area network," *Expert Systems with Applications*, Vol. 210, p. 118477.
 17. Ghaffari, A. 2015. "Congestion control mechanisms in wireless sensor networks: A survey," *Journal of network and computer applications*, vol. 52, pp. 101-115.
 18. Rupa, P., Singh, S., Arvind, S. & Johri, P. 2020. "A comprehensive survey on applications of wireless sensor networks and approaches to control congestion," in *ICDSM-LA 2019: Proceedings of the 1st International Conference on Data Science, Machine Learning and Applications*, pp. 805-812: Springer.
۱۹. خرمی اعزازی، ر. ۱۴۰۳. «بررسی و مقایسه روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم»، اولین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات، مدیریت و کامپیوتر.
 ۲۰. روژین، ش. ۱۳۹۴. «کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از منطق فازی»، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی.
 ۲۱. سعید، ب. و. اردشیر، آ. ۱۳۹۸. «بهبود مسیریابی جهت کنترل ازدحام در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار با استفاده از کنترلرهای توزیع شده»، فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران، جلد ۱۱، شماره ۳۹-۴۰، ص. ۷۲-۴۹.
 22. Association, I. S. 2008. "IEEE 802.15: WPAN™ task group 6 (TG6) body area networks," ed.
 23. Movassaghi, S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith, D. & Jamalipour, A. 2014. "Wireless body area networks: A survey," *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1658-1686.
 24. Coello, C. C. & Lechuga, M. S. 2002. "MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization," in *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation. CEC'02 (Cat. No. 02TH8600)*, vol. 2, pp. 1051-1056: IEEE.
- که امنیت اطلاعات را حفظ کنند و جلوی نفوذ افراد ناشناس به داده‌های حساس را بگیرند.
- با توجه به این چالش‌ها، طراحی الگوریتم‌های کنترل ازدحام در شبکه حسگر بی‌سیم ناحیه بدن یکی از مسائل پرمخاطب در حوزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و برای پژوهش‌های آتی نیز از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود.
- ## ۶- مراجع
1. Pandey, D. & Kushwaha, V. 2020. "An exploratory study of congestion control techniques in Wireless Sensor Networks," *Computer communications*, vol. 157, pp. 257-283.
 2. Yaghoubi, M., Ahmed, K. & Miao, Y. 2022. "Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 11, no. 4, p. 67.
 3. Pramanik, P. K. D., Solanki, A., Debnath, A., Nayyar, A., El-Sappagh, S. & Kwak, K.-S. 2020. "Advancing modern healthcare with nanotechnology, nanobiosensors, and internet of nano things: Taxonomies, applications, architecture, and challenges," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 65230-65266.
 4. Aski, V. J., Dhaka, V. S., Parashar, A. & Rida, I. 2023. "Internet of Things in healthcare: A survey on protocol standards, enabling technologies, WBAN architectures and open issues," *Physical Communication*, Vol. 60, p. 102103.
 5. Asam M. et al., 2019. "Challenges in wireless body area network," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 10, No. 11.
 6. Bangash, J. I., Abdullah, A. H., M. H. Anisi, & A. Khan, W. 2014. "A survey of routing protocols in wireless body sensor networks," *Sensors*, vol. 14, no. 1, pp. 1322-1357.
 7. Mainanwal, V., Gupta, M. & Upadhayay, S. K. 2015. "A survey on wireless body area network: Security technology and its design methodology issue," in 2015 international conference on innovations in information, embedded and communication systems (ICIIECS), pp. 1-5: IEEE.
 8. Mekathoti, V. & Nithya, B. 2021. "A survey on congestion control algorithms of wireless body area network," *Advances in Computing and Network Communications: Proceedings of CoCoNet 2020, Volume 1*, pp. 373-387.
 9. Kiran, M. V. & Nithya, B. 2020. "Network Status Aware Congestion Control (NSACC) Algorithm for Wireless Body Area Network," *Procedia Computer Science*, vol. 171, pp. 42-51.
 10. Mkongwa, K. G., Liu, Q., Zhang, C. & Siddiqui, F. A. 2019. "Reliability and quality of service issues in wireless body area networks: a survey," *IJSPS*, Vol. 7, No. 1,

- tion control hybrid MAC for wireless sensor network,” in 2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCC-NT), pp. 1-6: IEEE.
39. Kandris, D., Tselikis, G., Anastasiadis, E., Panaousis, E. & Dagiuklas, T. 2017. “COALA: a protocol for the avoidance and alleviation of congestion in wireless sensor networks,” *Sensors*, vol. 17, no. 11, p. 2502.
 40. Jang, B. & Yoon, W. 2017. “CCDC: A Congestion Control Technique for Duty Cycling WSN MAC Protocols,” *KSI Transactions on Internet & Information Systems*, vol. 11, no. 8.
 41. He, T., Stankovic, J. A., Lu, C. & Abdelzaher, T. 2003. “SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks,” in 23rd International Conference on Distributed Computing Systems, Proceedings, pp. 46-55: IEEE.
 42. Kumar, R., Rowaihy, H., Cao, G., Anjum, F., Yener, A. & Porta, T. 2006. “Congestion aware routing in sensor networks,” Department of Computer Science and Engineering, Pennsylvania State University, Technical Report, vol. 36.
 43. Popa, L., Raiciu, C., Stoica, I. & Rosenblum, D. S. 2006. “Reducing congestion effects in wireless networks by multipath routing,” in Proceedings of the 2006 IEEE international conference on network protocols, pp. 96-105: IEEE.
 44. Teo, J.-Y., Ha, Y. & Tham, C.-K. 2008. “Interference-minimized multipath routing with congestion control in wireless sensor network for high-rate streaming,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, no. 9, pp. 1124-1137.
 45. Mohajerzadeh, A. H. & Yaghmaee, M. H. 2010. “Tree based energy and congestion aware routing protocol for wireless sensor networks,” *Wireless Sensor Network*, vol. 2, no. 02, p. 161.
 46. Park, C., Kim, H. & Jung, I. 2012. “Traffic-aware routing protocol for wireless sensor networks,” *Cluster Computing*, vol. 15, no. 1, pp. 27-36.
 47. Li, M., Jing, Y. & Li, C. 2013. “A robust and efficient cross-layer optimal design in wireless sensor networks,” *Wireless Personal Communications*, vol. 72, pp. 1889-1902.
 48. Kittali, R. M., Mahabaleshwar, S. & Sutagundar, A. 2016. “Congestion controlled adaptive routing in wireless sensor network,” in 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES), pp. 1528-1532: IEEE.
 49. Tang, W., Ma, X., Huang, J. & Wei, J. 2016. “Toward improved RPL: A congestion avoidance multipath routing protocol with time factor for wireless sensor networks,” *Journal of Sensors*, vol. 2016.
 50. Tang, D., Li, T. & Ren, J. 2017. “Congestion-Aware Routing Scheme based on Traffic Information in Sensor Networks,” *Ad Hoc Sens. Wirel. Networks*, vol. 35, No. 3-4, pp. 281-300.
 51. Shirao, S. M., Shinde, G. R., Mahalle, P. N. Sable, N. P. & Deshpande, V. S. 2024. “Navigating Congestion in Wireless Sensor Network: A Comprehensive Survey. *International Journal of Computer Networks and Applications*, vol. 11, pp. 428-448.
 52. Gupta, M., Tanwar, S., Rana, A., & Walia, H. 2021. “Smart healthcare monitoring system using wireless body area network,” in 2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO), pp. 1-5: IEEE.
 53. Kushwaha, V. & Gupta, R. 2014. “Congestion control for high-speed wired network: A systematic literature review,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 45, pp. 62-78.
 54. Jan, M. A., Jan, S. R. U., Alam, M., Akhunzada, A. & Rahman, I. U. 2018. “A comprehensive analysis of congestion control protocols in wireless sensor networks,” *Mobile networks and applications*, vol. 23, pp. 456-468.
 55. Zheng, J. & Jamalipour A. 2009. *Wireless sensor networks: a networking perspective*. John Wiley & Sons, Sep 28. ISBN: 978-0-470-44351-4 p. 528.
 56. Filipe, L., Fdez-Riverola, F., Costa, N. & Pereira, A. 2015. “Wireless body area networks for healthcare applications: Protocol stack review,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 10, p. 213705.
۳۱. ریاحی، ا. ۱۳۹۵. «ارائه معماری و ساختار برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی بدون نیاز به باتری»، نخستین کنفرانس ملی تحقیقات بین رشته‌ای در مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک و مکترونیک.
۳۲. ربیع‌پور، م. قسوری، ح. و خنشان، ا. ۱۳۹۵. «بررسی تحلیلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی و مقایسه تکنولوژیهای گوناگون جهت ارتباطات در شبکه»، سومین کنفرانس ملی مهندسی برق و کامپیوتر سیستمهای توزیع شده و شبکه‌های هوشمند.
33. Zawodniok, M. & Jagannathan, S. 2007. “Predictive congestion control protocol for wireless sensor networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 6, no. 11, pp. 3955-3963.
 34. Rhee, I., Warrier, A., Aia, M. & Min, J. 2005. “Z-MAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks,” in Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 90-101.
 35. Liang, L., Gao, D., Qin, Y. & Zhang, H. 2010. “An adaptive congestion-aware MAC protocol for wireless sensor networks,” in 2010 3rd IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), pp. 1074- 1078: IEEE.
 36. Roth, D., Montavont, J. & Noël, T. 2011. “Overhearing for congestion avoidance in wireless sensor networks,” in Ad-hoc, Mobile, and Wireless Networks: 10th International Conference, ADHOC-NOW, Paderborn, Germany, July 18-20, Proceedings 10, pp. 131-144: Springer.
 37. Ray, S., Dash, S., Tarasia, N., Ajay, A. & Swain, A. R. 2011. “Congestion-less energy aware token based mac protocol integrated with sleep scheduling for wireless sensor networks,” in Proceedings of the World Congress on Engineering, vol. 2, pp. 6- 8.
 38. Priya, B. & Manohar, S. S. 2013. “CH-MAC: Conges-

- "Sink-to-sensors congestion control," *Ad Hoc Networks*, vol. 5, No. 4, pp. 462-485.
66. Yin, X., Zhou, X., Huang, R., Fang, Y. & Li, S. 2009. "A fairness-aware congestion control scheme in wireless sensor networks," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 58, No. 9, pp. 5225-5234.
 67. Tshiningayamwe, L., Lusilao-Zodi, G. A. & Dlodlo, M. E. 2015. "A priority rate-based routing protocol for wireless multimedia sensor networks," in *Advances in Nature and Biologically Inspired Computing: Proceedings of the 7th World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2015) in Pietermaritzburg, South Africa, held December 01-03*, pp. 347-358: Springer.
 68. Anil Kumar, K., Krishna, A. V. & Shahu Chatrapati, K. 2016. "Congestion control in heterogeneous wireless sensor networks for high-quality data transmission," in *Proceedings of the International Congress on Information and Communication Technology: ICICT, Vol 2*, pp. 429-437: Springer.
 69. Sergiou, C., Vassiliou, V. & Paphitis, A. 2013. "Hierarchical Tree Alternative Path (HTAP) algorithm for congestion control in wireless sensor networks," *Ad hoc networks*, vol. 11, no. 1, pp. 257-272.
 70. Rahman, M. O., Monowar, M. M. & Hong, C. S. 2008. "A QoS adaptive congestion control in wireless sensor network," in *2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*, vol. 2, pp. 941-946: IEEE.
 71. Ren, F., He, T., Das, S. K. & Lin, C. 2011. "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.
 72. Rangwala, S., Gummadi, R., Govindan, R. & Psounis, K. 2006. "Interference-aware fair rate control in wireless sensor networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 36, No. 4, pp. 63-74.
 73. Kang, J., Zhang, Y. & Nath, B. 2007. "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.
 74. Ding, W., Tang, L. & Ji, S. 2016. "Optimizing routing based on congestion control for wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 22, pp. 915-925.
 75. Farzaneh, N., Yaghmaee, M. H. & Fooladi, M. D. T. 2014. "Drcp: A dynamic resource control protocol for alleviating congestion in wireless sensor networks," in *7th International Symposium on Telecommunications (IST'2014)*, pp. 1088-1093: IEEE.
 76. Alam, M. M. & Hong, C. S. 2009. "CRRT: congestion-aware and rate-controlled reliable transport in wireless sensor networks," *IEICE transactions on communications*, vol. 92, No. 1, pp. 184-199.
 77. Aghdam, S. M., Khansari, M., Rabiee, H. R. & Salehi, M. 2014. "WCCP: A congestion control protocol for wireless multimedia communication in sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 13, pp. 516-534.
 51. Bhandari, K. S., Hosen, A. S. & Cho, G. H. 2018. "CoAR: Congestion-aware routing protocol for low power and lossy networks for IoT applications," *Sensors*, vol. 18, No. 11, p. 3838.
 52. Farsi, M., Badawy, M., Moustafa, M., Ali, H. A. & Abdulazeem, Y. 2019. "A congestion-aware clustering and routing (CCR) protocol for mitigating congestion in WSN," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105402-105419.
 53. Gholipour, M., Haghighat, A. T. & Meybodi, M. R. 2015. "Hop-by-hop traffic-aware routing to congestion control in wireless sensor networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2015, No. 1, pp. 1-13.
 54. Vuran, M. C. & Akyildiz, I. F. 2010. "XLP: A cross-layer protocol for efficient communication in wireless sensor networks," *IEEE transactions on mobile computing*, vol. 9, no. 11, pp. 1578-1591.
 55. Wu, G., Xia, F., Yao, L., Zhang, Y. & Zhu, Y. 2011. "A hop-by-hop cross-layer congestion control scheme for wireless sensor networks," *arXiv preprint arXiv:1201.0207*.
 56. Wan, J., Xu, X., Feng, R., & Wu, Y. 2009. "Cross-layer active predictive congestion control protocol for wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 9, no. 10, pp. 8278-8310.
 57. Wan, C. Y., Campbell, A. T. & Krishnamurthy, L. 2005. "Pump-slowly, fetch-quickly (PSFQ): a reliable transport protocol for sensor networks," *IEEE Journal on selected areas in Communications*, vol. 23, No. 4, pp. 862-872.
 58. Wan, C.Y., Eisenman, S. B. & Campbell, A. T. 2003. "CODA: Congestion detection and avoidance in sensor networks," in *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 266-279.
 59. Lee, J.H. & Jung, I. B. 2010. "Adaptive-compression based congestion control technique for wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 2, No. 4, pp. 2919-2945.
 60. Ee, C. T. & Bajcsy, R. 2004. "Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks," in *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 148-161.
 61. Hull, B., Jamieson, K. & Balakrishnan, H. 2004. "Mitigating congestion in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 134-147.
 62. Tao, L. Q. & Yu, F. Q. 2010. "ECODA: enhanced congestion detection and avoidance for multiple class of traffic in sensor networks," *IEEE transactions on consumer electronics*, vol. 56, No. 3, pp. 1387-1394.
 63. Sankarasubramaniam, Y., Akan, Ö. B. & Akyildiz, I. F. 2003. "ESRT: Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, pp. 177-188.
 64. Wang, C., Sohraby, K. & Li, B. 2005. "SenTCP: A hop-by-hop congestion control protocol for wireless sensor networks," in *IEEE INFOCOM*, pp. 107-114: IEEE.
 65. [65] Vedantham, R., Sivakumar, R. & Park, S. J. 2007.

- routing in wireless sensor network,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, pp. 1325-1338.
91. Parsavand, H. & Ghaffari, A. 2018. “Controlling congestion in wireless sensor networks through imperialist competitive algorithm,” *Wireless Personal Communications*, vol. 101, pp. 1123-1142.
 92. Li, M., Jing, Y. & Li, C. 2013. “A Robust and Efficient Cross-Layer Optimal Design in Wireless Sensor Networks,” *Wireless Personal Communications*, vol. 72, no. 4, pp. 1889-1902.
 93. Pasandideh, F. & Rezaee, A. A. 2018. “A fuzzy priority based congestion control scheme in wireless body area networks,” *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, vol. 14, no. 1, pp. 1-15.
 94. Gambhir, S., Tickoo, V. & Kathuria, M. 2015. “Priority based congestion control in WBAN,” in 2015 Eighth International Conference on Contemporary Computing (IC3), pp. 428-433:IEEE.
 95. RavinderKaur, H. 2017. “Priority based congestion control and bandwidth normalisation in WBAN,” *Int. J. Electron. Commun. Technol. (IJECT)*, vol. 2, pp. 1-5.
 96. Jaramillo, R., Quintero, A. & Chamberland, S. 2016. “Rate control scheme for congestion control in wireless body area networks,” in 2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 1-6:IEEE.
 97. Anwar, M., Abdullah, A. H., Saedudin, R. R., Masud, F. & Ullah, F. 2018. “CAMP: congestion avoidance and mitigation protocol for wireless body area networks,” *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 10, no. 6.
 98. Patil, D. & Dhage, S. N. 2012. “Priority-based congestion control protocol (PCCP) for controlling upstream congestion in wireless sensor network,” in 2012 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), pp. 1-6:IEEE.
 99. Monowar, M. M. & Bajaber, F. 2017. “Towards differentiated rate control for congestion and hotspot avoidance in implantable wireless body area networks,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 10209-10221.
 100. Zhou, Yang., Sheng, Zhengguo., Mahapatra, Chinmaya., Leung, Victor C.M. & Servati, Peyman. 2017. “Topology design and cross-layer optimization for wireless body sensor networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 01, p. 15.
 78. Sergiou, C. & Vassiliou, V. 2011. “DAIPaS: A performance aware congestion control algorithm in Wireless Sensor Networks,” 18th International Conference on Telecommunications, pp. 167-173: IEEE.
 79. Sheu, J. P. & Hu, W. K. 2008. “Hybrid congestion control protocol in wireless sensor networks,” in VTC Spring 2008-IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 213-217: IEEE.
 80. Sergiou, C. & Vassiliou, V. 2014. “Hrtc: a hybrid algorithm for efficient congestion control in wireless sensor networks,” in 2014 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp. 1-5: IEEE.
 81. Rezaee, A. A., Yaghmaee, M. H., Rahmani, A. M. & Mohajerzadeh, A. H. 2014. “HOCA: Healthcare aware optimized congestion avoidance and control protocol for wireless sensor networks,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 37, pp. 216-228.
 82. Sayyada, J. & Choudhari, N. 2014. “Hierarchical tree based congestion control using fuzzy logic for heterogeneous traffic in WSN,” *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 4, No. 6, pp. 4136-4143.
 83. Fang, W.-w., Chen, J.-m., Shu, L., Chu, T.-s. & Qian, D.-p. 2010. “Congestion avoidance, detection and alleviation in wireless sensor networks,” *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, vol. 11, no. 1, pp. 63-73.
 84. Wang, C., Li, B., Sohraby, K., Daneshmand, M. & Hu, Y. 2007. “Upstream congestion control in wireless sensor networks through cross-layer optimization,” *IEEE Journal on selected areas in Communications*, vol. 25, no. 4, pp. 786-795.
 85. Monowar, M. M., Rahman, M. O., Pathan, A.-S. K. & Hong, C. S. 2008. “Congestion control protocol for wireless sensor networks handling prioritized heterogeneous traffic,” *arXiv preprint arXiv:0812.2288*.
 86. Beulah Jayakumari, R. & Jawahar Senthilkumar, V. 2015. “Priority based congestion control dynamic clustering protocol in mobile wireless sensor networks,” *The Scientific World Journal*, vol. 2015.
 87. Ghanavati, S., Abawaji, J. & Izadi, D. 2015. “A congestion control scheme based on fuzzy logic in wireless body area networks,” in 2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications, pp. 235-242:IEEE.
 88. Singh, K., Singh, K. & Aziz, A. 2018. “Congestion control in wireless sensor networks by hybrid multi-objective optimization algorithm,” *Computer Networks*, vol. 138, pp. 90-107.
 89. Dhurandher, S. K., Misra, S., Mittal, H., Agarwal, A. & Woungang, I. 2009. “Ant colony optimization-based congestion control in ad-hoc wireless sensor networks,” in 2009 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, pp. 492-497:IEEE.
 90. Srivastava, V., Tripathi, S., Singh, K. & Son, L. H. 2020. “Energy efficient optimized rate based congestion control