

تحلیل بهبود دسترسی به رسانه در شبکه‌های هوشمند مبتنی بر IEEE 802.15.4

با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی

مهدیه قزوینی^{۱*}، امیر رضایی^۲

۱- استادیار، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۲- کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت (دریافت: ۹۶/۱۰/۰۳، پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۱)

چکیده

نیاز به صرفه‌جویی در انرژی و تطابق زیست محیطی، سبب گردیده تا دولت‌ها و صنایع برق در سراسر جهان، شبکه‌های برق موجود خود را به شبکه برق هوشمند یا به اختصار شبکه هوشمند تبدیل نمایند. در این بین، شبکه‌های مخابراتی نقش مهمی را در تبدیل شبکه برق فعلی به شبکه هوشمند ایفا می‌کنند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) شامل تعداد بسیار زیاد گره‌های عملگر و حسگرهای ارزان قیمت، کم‌توان، کوچک و چندتابعی می‌باشند که به صورت بی‌سیم با یکدیگر در ارتباطند و به دلایلی همچون قابلیت اجرا در شرایط محیطی خاص، قابلیت تحمل خطا، مصرف انرژی کمتر، پیکربندی خودکار، توسعه سریع و کم‌هزینه به‌عنوان یک فناوری توانا جهت کاربردهای گوناگون شبکه هوشمند مورد توجه قرار گرفته‌اند. در کنار مزایای فوق این نوع شبکه با محدودیت مهم تأخیر ارسال داده مواجه است که دلیل آن استفاده از پیوندهای ارتباطی کم‌توان در محیط‌های متراکم است. شناخت روش‌های آگاه به اولویت و تأخیر برای دسترسی به رسانه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم در شبکه هوشمند هدف اصلی در این پژوهش است که با ارائه روشی آگاه به اولویت و تأخیر همراه با بهبود قابلیت اطمینان بوسیله تنظیم پویای پارامترهای زیرلایه کنترل دسترسی به رسانه در WSN محقق گردیده است. پارامترهای زیرلایه کنترل دسترسی به رسانه شامل تعداد دفعات عقبگرد، عقبگرد نامی، تعداد دفعات ارسال مجدد و پنجره رقابت می‌باشند که منطبق بر تغییرات دوره ارزیابی کانال به صورت بهینه تنظیم می‌شوند. در روش پیشنهادی استفاده از روش بهینه‌سازی دسته ذرات به منظور تعیین مقادیر مناسب پارامترهای زیرلایه کنترل دسترسی به رسانه پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های هوشمند، شبکه حسگر بی‌سیم، کنترل دسترسی به رسانه، IEEE802.15.4، بهینه‌سازی دسته‌ذرات

۱- مقدمه

هوشمند ایفا می‌کنند. آنها علاوه بر ایجاد ارتباطات بین تمام اجزای شبکه (مثلاً ژنراتورها، ایستگاه‌های برق، سامانه‌های ذخیره انرژی، کنتورهای هوشمند و غیره) امکان تبادل حجم زیادی از اطلاعات را فراهم می‌کنند [۱-۳].

شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌عنوان یک فناوری توانا جهت کاربردهای گوناگون شبکه هوشمند نظیر سنجش از راه دور، کنترل مستقیم بار، یکپارچگی انرژی تجدیدپذیر، نظارت بر ایستگاه‌های برق و غیره در نظر گرفته می‌شود؛ اما مسائلی مانند ویژگی‌های الکتریکی شبکه، الگوهای ترافیکی کاربردهای گوناگون شبکه‌های هوشمند، نیازمندی‌های متفاوت کیفیت خدمات^۱ (QoS) به‌ویژه از نظر تأخیر و قابلیت اطمینان، سبب گردیده تا استفاده از WSN‌ها در شبکه‌های هوشمند، چالش‌های جدید را به‌وجود آورد.

پژوهش‌های اخیر نشان داده که فناوری‌ها و استانداردهای

شبکه‌های برق موجود از مشکلاتی مانند اتکا بر منابع انرژی فسیلی و غیرقابل تجدید، عدم تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی، فقدان نظارت از راه دور و عدم تشخیص بلادرنگ وضعیت شبکه رنج می‌برند. شبکه هوشمند، نسل بعدی شبکه برق است که با هدف استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای رفع مشکلات ذکر شده پدید آمده است. شبکه هوشمند با استفاده از فناوری دیجیتال دوطرفه انرژی را از تولیدکنندگان به مشتریان منتقل می‌نماید تا با کنترل وسایل منازل مصرف‌کنندگان علاوه بر، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، هزینه‌ها کاهش یافته و قابلیت اطمینان و شفافیت بالا رود [۱]. در این بین، شبکه‌های مخابراتی نقش مهمی را در تبدیل شبکه برق فعلی به شبکه

* رایانامه نویسنده مسئول: Mghazvini@uk.ac.ir

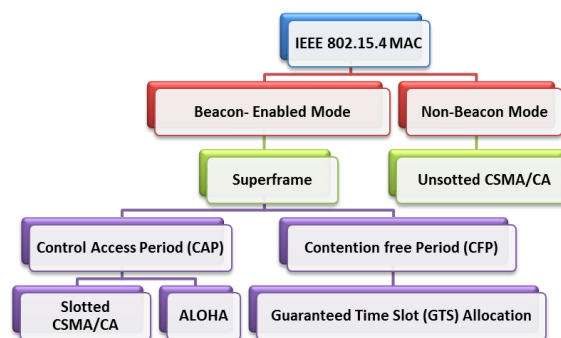
¹ Quality of Service

در دوره CFP از تخصیص شیارهای زمانی تضمین شده^۹ (GTS) استفاده می‌شود که می‌تواند QoS را برای کاربردهای بلندترنگ پشتیبانی نماید. یک گره می‌تواند برای کاربردهای حساس به تأخیر، به هماهنگ کننده، درخواست تخصیص GTS دهد. در حین GTS، گره‌ها مجازند بدون هیچ گونه رقابتی با سایر گره‌ها به ارسال داده‌های خود بپردازند [۷].

در دوره CAP، زیرلایه MAC از چهار متغیر برای تنظیم دسترسی کانال استفاده می‌کند. این متغیرها شامل تعداد دفعات عقبگرد^{۱۰} (NB)، پنجره رقابت^{۱۱} (CW)، عقبگرد نمایی^{۱۲} (BE) و تعداد دفعات ارسال مجدد^{۱۳} (RT) هستند. متغیر NB بیانگر تعداد دفعاتی است که یک گره برای ارسال بسته جاری، عقبگرد می‌کند و مقدار اولیه آن قبل از هر تلاش برای ارسال یک بسته جدید صفر می‌شود. متغیر CW نشانگر تعداد دوره‌های متوالی است که پس از اجرای عقبگرد، کانال باید آزاد باشد تا ارسال آغاز گردد. پارامتر BE، حداکثر محدوده اعداد تصادفی جهت تأخیر قبل از ارسال برای هر بسته را مشخص می‌کند و در صورتی که به صورت بهینه تعیین شود میزان انتظار گره به منظور دسترسی به کانال به صورت قابل توجهی کاهش خواهد یافت. در نهایت پارامتر RT، حداکثر تعداد دفعاتی را که گره به دلیل عدم دریافت ACK، برای ارسال مجدد بسته تلاش می‌کند را مشخص می‌نماید. قبل از هر ارسال، زیرلایه MAC این چهار متغیر را بدین صورت مقداردهی اولیه می‌کند: NB=0، CW=2، BE=minBE و RT=0. در مرحله بعدی، زیرلایه MAC، یک دوره تصادفی NB بین ۰ تا $(2^{BE} - 1)$ صبر می‌کند. هنگامی که دوره عقبگرد صفر شود، گره مربوطه می‌تواند اولین دوره ارزیابی کانال^{۱۴} (CCA) را برای بازه مشخصی از زمان انجام دهد. سازوکار CCA برای تعیین آزاد بودن رسانه است. همان‌طور که در استاندارد مشخص شده است، CCA را می‌توان با استفاده از سه روش مختلف، یعنی تشخیص انرژی، سنجش حامل یا ترکیبی از دو مورد انجام داد. استاندارد همچنین مدت زمان تشخیص CCA را برابر با طول هشت نماد تعریف می‌کند. این بدین معنی است که لایه PHY باید در مدت زمان هشت نماد که برابر با $128 \mu s$ (هر دوره نماد $16 \mu s$) است CCA را به پایان رسانده و نتایج آن را به MAC گزارش دهد. در CCA، امکان هشدار اشتباه به علت نویز و تداخل وجود دارد که مانع ارسال داده می‌شود. خطا در

شناخته شده‌ای مانند IEEE 802.11، IEEE 802.15.4، AODV به خودی خود برای کاربردهای شبکه هوشمند مناسب نبوده و نیازمند تغییرات و بهینه‌سازی‌هایی می‌باشند تا بر چالش‌ها و محدودیت‌های شبکه‌های هوشمند مبتنی بر WSNها فائق آیند [۱، ۴، ۵].

استاندارد IEEE 802.15.4 برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم با نرخ بیت کم طراحی شده و در دو لایه PHY و MAC عمل می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است در این استاندارد، دسترسی به رسانه می‌تواند در یکی از دو حالت راهنما فعال^۱ یا راهنما غیرفعال^۲ انجام شود. حالت راهنما غیرفعال برای ترافیک سبک در بین گره‌های شبکه مفید است. در این حالت دسترسی به کانال براساس رقابت و با استفاده از روش CSMA/CA شیاریبندی نشده^۳ انجام می‌شود. در حالت راهنما فعال با استفاده از کنترل مدت زمان روشن و خاموش بودن گره‌ها، مصرف انرژی مدیریت می‌شود. در یک شبکه راهنما فعال، هماهنگ کننده^۴ به صورت دوره‌ای راهنماهای حاوی اطلاعات هماهنگ سازی را به گره‌های شبکه ارسال می‌کند. در این حالت، گره‌ها از طریق ساختار یک ابرقاب^۵ ارتباط برقرار می‌کنند. هر ابرقاب یک دوره فعال دارد که طی آن گره‌ها می‌توانند با استفاده از CSMA/CA شیاریبندی شده^۶ ارتباط برقرار نموده و در حین دوره غیرفعال دستگاه‌ها می‌توانند به منظور صرفه‌جویی در انرژی خاموش شوند. دوره فعال از سه بخش تشکیل شده است: راهنما، دوره دسترسی با رقابت^۷ (CAP) و دوره عاری از رقابت^۸ (CFP) [۶].



شکل (۱): دسترسی به رسانه در IEEE 802.15.4 [۶]

^۹ Guaranteed Time Slot

^{۱۰} Number of Backoff (NB)

^{۱۱} Contention Window

^{۱۲} Backoff Exponent (BE)

^{۱۳} Retransmission Times (RT)

^{۱۴} Clear Channel Assessment

^۱ Beacon enabled mode

^۲ Non-Beacon enabled mode

^۳ Un slotted CSMA/CA

^۴ Coordinator

^۵ Superframe

^۶ Slotted CSMA/CA

^۷ Contention Access Period

^۸ Contention Free Period

بهینه سراسری می‌گردد. نقطه قوت این الگوریتم‌ها عدم نیاز به کنترل سراسری است. در واقع هر عامل، خود مختاری نسبی دارد که در سراسر فضای جواب حرکت کرده و با سایر عامل‌ها همکاری داشته باشد. نمونه الگوریتم هوش جمعی که در این مقاله به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای زیرلایه MAC مورد استفاده قرار گرفته است الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات است.

در ادامه این مقاله و در بخش دوم به مرور کارهای مرتبط و معرفی روش آگاه از تأخیر و اولویت DRX (که در روش پیشنهادی بهبود داده شده است) پرداخته می‌شود. در بخش ۳، روش پیشنهادی با نام PSO-DRX معرفی و بررسی می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی در بخش ۴ آمده است. در نهایت، مقاله در بخش ۵ با نتیجه‌گیری به پایان می‌رسد.

۲- کارهای مرتبط

کاربردهای شبکه‌های هوشمند مبتنی بر WSN متنوع هستند (مانند خواندن هوشمند کنتورها، اطلاعات قیمت گذاری زمان واقعی، نظارت دوره‌ای قطعات الکتریکی و غیره) که این امر منجر به وجود ترافیک‌های مختلف با نیازمندی‌های QoS متفاوتی می‌شود. تفکیک سرویس سازوکاری است که اجازه می‌دهد کلاس‌های ترافیکی مختلف که هر کدام دارای نیازمندی‌های و اولویت‌های QoS خاص خود می‌باشند (از لحاظ قابلیت اطمینان، زمان تأخیر، گذردهی و غیره) از یکدیگر متمایز شوند؛ بنابراین، تفکیک کیفیت خدمات در برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند مبتنی بر WSN در طراحی قراردادهای ارتباطی جهت تضمین QoS قابل قبول متناسب با هر کاربرد یا کلاس ترافیکی ضروری می‌نماید. تفکیک QoS را می‌توان در لایه‌های مختلف از جمله شبکه [۱۰-۱۱] و دسترسی به رسانه [۱۵-۱۲] و همچنین به صورت بین لایه‌ای انجام داد [۱۷-۱۵].

استاندارد IEEE 802.15.4 با تعریف لایه فیزیکی و MAC شبکه حسگر بی‌سیم با مصرف توان پایین، زیر ساخت اساسی را بدین منظور فراهم می‌نماید. حالت راهنما فعال در استاندارد IEEE802.15.4 به دلیل قابلیت‌ها و مزایایی از جمله بهینه‌سازی مصرف انرژی و گذردهی زیاد، گزینه مناسبی برای شبکه‌های هوشمند مبتنی بر WSN است. الگوریتم CSMA/CA با کمک روش عقبگردنمایی^۱ (BEB) به عنوان راهی برای به اشتراک گذاری رسانه مشترک بی‌سیم و جلوگیری از برخورد در میان گره‌های

تشخیص آزاد بودن کانال نیز سبب ایجاد تصادم و در نهایت کاهش کارایی کلی سامانه می‌شود. روش‌های CCA در میزان توانایی شناخت سیگنال و مصرف انرژی با یکدیگر متفاوتند. در حالی که خود CCA در لایه PHY اجرا می‌شود، اما انتخاب روش و پارامترهای CCA تاثیر قابل توجهی بر عملکرد پارامترهای زیرلایه MAC نظیر تأخیر، گذردهی و بهره‌وری انرژی دارد. بنابراین، در انتخاب روش مناسب CCA و پارامترهای آن، بر اساس شرایط و محیط، آزادی وجود دارد [۸].

اگر برای دو CCA متوالی، کانال آزاد باشد، گره مجاز است که ارسال بسته را آغاز نماید. از سوی دیگر، اگر هر یک از CCAها به علت مشغول بودن کانال با شکست مواجه شوند، زیرلایه MAC مقدار NB و BE را یک واحد افزایش می‌دهد. این فرآیند تا زمانی که NB یا BE به بیشترین مقدار خود برسند، تکرار می‌شود و در این صورت، بسته موردنظر دور ریخته شده و شکست دسترسی به کانال اعلام می‌شود. از سوی دیگر، اگر دسترسی به کانال موفق باشد، گره ارسال بسته را آغاز می‌کند. اگر شیوه تصدیق (ACK) فعال باشد، گره منتظر یک پیام ACK که نشان‌دهنده ارسال موفقیت آمیز بسته است، می‌ماند. اگر گره فرستنده در مدت زمان مشخصی پیام ACK را دریافت نکند، RT یک واحد اضافه می‌شود تا به مقدار حداکثر خود یعنی (MaxFrameRetries) برسد. اگر RT کمتر از MaxFrameRetries باشد، زیرلایه MAC دو متغیر BE، CW را به صورت زیر مقداردهی نموده و فرآیند فوق را تکرار می‌کند: $CW = 0$ و $BE = \text{MinBE}$. در غیر این صورت بسته به دلیل تجاوز از حد ارسال مجدد، دور ریخته می‌شود. مقدار پیش فرض پارامترهای MAC در استاندارد IEEE 802.15.4 بدین شرح است: $\text{MaxBackoff}=4$ ، $\text{MaxFrameRetries}=3$ ، $\text{MaxBE}=5$ و $\text{MinBE}=3$ [۹].

تمرکز این مقاله بر روی تنظیم پویای پارامترهای زیرلایه MAC در دوره CAP از حالت راهنما فعال در استاندارد IEEE802.15.4 است. همان‌طور که ذکر گردید تعداد دفعات عقبگرد، پنجره رقابت، عقبگرد نمایی و تعداد دفعات ارسال مجدد، چهار پارامتری هستند که زیرلایه MAC از آنها برای تنظیم دسترسی به کانال استفاده می‌کند. در روش پیشنهادی این مقاله، استفاده از روش‌های هوش جمعی به منظور تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها جهت بهبود کنترل دسترسی به کانال پیشنهاد شده است. رفتارهای دسته‌جمعی در طبیعت، اساس بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری بوده که به عنوان الگوریتم‌های هوش جمعی از آنها یاد می‌شود. در این روش‌ها، عامل‌ها (ذرات) به طور محلی با یکدیگر همکاری نموده و رفتار جمعی تمامی عامل‌ها، سبب همگرایی در نقطه‌ای نزدیک به جواب

¹ Binary Exponential Backoff

به حداقل برساند. در [۱۴] دو روش با نام‌های (AQoS)^۴ و (AGTS)^۵ برای شبکه‌های حسگر مبتنی بر IEEE 802.15.4 ترافیک بالا پیشنهاد شد که هدف از آنها کاهش تأخیر آنها به آنها در کاربردهای نظارتی شبکه‌های هوشمند بود. طرح کیفیت خدمات AQoS برای WSNهای با خوشه‌های درختی می‌تواند تأخیر بیش از حد آستانه را با اختصاص GTS بر اساس درخواست‌های ارسالی پس از تخمین شرایط شبکه کاهش دهد. طرح AGTS به‌صورت پویا تعدادی شیار زمانی را به گره‌های حسگر با داده‌های اولویت بالا اختصاص می‌دهد تا حداقل تأخیر به‌دست آید. علاوه بر این، یک گره حسگر نیز می‌تواند به‌صورت تطبیقی، شیاهای زمانی استفاده نشده را به هماهنگ کننده خود تسلیم کند [۱۴].

روش SS-MAC، با سرقت شیاهای زمانی، ارتباطات به موقع و قابل پیش‌بینی را برای کاربردهای حساس به تأخیر در WSNهای صنعتی فراهم می‌نماید. این روش پیشنهادی به دنبال یک روش قطعی جهت دسترسی به کانال است که براساس زمانبندی پویا و آگاه به مهلت زمانی عمل می‌نماید [۲۴]. روش RE-MAC، شیوه‌ای بلادرنگ و سبک وزن برای پشتیبانی از کاربردهای شبکه هوشمند است که ترکیبی از روش تعیین اولویت گره‌ها از طریق سرکشی و زمانبندی TDMA می‌باشد [۲۵]. در این روش آستانه تأخیر بسته‌ها با استفاده از روش زنجیره مارکوف مشخص می‌شود. طرح سرکشی^۶ کارایی بالایی را حتی در ترافیک بالا فراهم نموده و TDMA زمانبندی برای انتقال بلادرنگ اطلاعات اضطراری استفاده می‌شود. الگوریتم PASAGA^۷، روشی مبتنی بر اولویت برای تنظیم وفقی ابرقاب و تخصیص GTS است که با تقسیم طول GTS با توجه به اندازه بسته‌ها و همچنین تنظیم پارامترهای BO^۸ و SO^۹ متناسب با بار شبکه، سبب بهبود تأخیر و گذردهی ترافیک‌های اولویت بالا می‌شود [۲۶]. رویکرد پیشنهادی در [۷] با هدف ارسال قابل اعتماد بسته‌های داده در شبکه‌های چند گامی^{۱۰} ابتدا ترافیک مسیرهای طولانی در شبکه‌های چند گامی را تحویل می‌دهد. بدین منظور در این روش، فرض می‌شود که گره‌هایی که داده‌های خود را در پنجره CAP و بر اساس رقابت ارسال می‌کنند، نسبت به گره‌های دیگر اولویت کمتری دارند. به محض

حسگر استفاده می‌شود. با این حال، این الگوریتم، گوناگونی کاربردها با ویژگی‌های ترافیکی متفاوت که از لحاظ میزان تحویل بسته و تأخیر زمانی که به‌طور مستقیم بر عملکرد شبکه هوشمند تأثیر منفی می‌گذارند را در نظر نمی‌گیرد. لذا پژوهش‌هایی در راستای بهینه‌سازی IEEE 802.15.4 و جداسازی خدمات در MAC انجام شده تا این مشکل مرتفع گردد. برخی از مطالعات با پیگیری پارامترهای MAC (مانند NB، CW، BE) بر اساس IEEE 802.15.4، تفکیک خدمات را انجام داده‌اند. به‌عنوان مثال، کوبه و همکاران [۱۸] اولویت را با تخصیص مقادیر مختلفی از macMin BE، macMax BE و CW برای کلاس‌های مختلف به نوعی جداسازی سرویس را رعایت نموده‌اند. ندی و همکاران [۱۹] و محمد و همکاران [۲۰] خدمات متفاوت را با تنظیم مقادیر مختلف CW و BO انجام داده‌اند. در [۲۱] با تنظیم CW و macMinBE از جداسازی سرویس حمایت شده است. الگوریتم SDA-CSMA/CA^۱ [۲۲]، روشی دو مرحله‌ای برای حمایت از جداسازی خدمات است. در مرحله اول با استفاده از یک سازوکار جداسازی سرویس مبتنی بر اولویت پارامترهای MAC با توجه به کاربردهای متفاوت شبکه هوشمند تنظیم می‌شوند. در مرحله دوم، عقبگرد نامی متناسب با شرایط فعلی ترافیکی شبکه تنظیم می‌شود. در [۲۳] یک روش عقبگرد ماریچ جدید ارائه شده است که کاربردهای ترافیکی متفاوت را برای بهبود عملکرد شبکه مورد توجه قرار می‌دهد. در این روش، پارامتر جدیدی به نام شماره ماریچ^۲ (SN) معرفی و در الگوریتم عقبگرد، جهت دسترسی به رسانه لحاظ گردیده است. بدین ترتیب بسته‌های دریافت شده از لایه بالاتر به دو دسته بسته‌های بلادرنگ و غیربلادرنگ تقسیم شده و با توجه به این تقسیم‌بندی، SNهای متفاوتی دریافت نموده و سپس برای دسترسی به رسانه بر اساس الگوریتم عقبگرد پیشنهادی به رقابت می‌پردازند. شبیه‌سازی‌ها حاکی از بهبود تأخیر آنها به آنها و نسبت تحویل بسته^۳ (PDR) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هوشمند هستند [۲۳].

نویسندگان در [۱۲] یک طرح تفکیک QoS را معرفی کرده‌اند که تأخیر آنها به آنها ترافیک‌های اولویت بالا را به‌همراه تأخیر بسته‌های حیاتی کاهش می‌دهد. راه حل معرفی شده مبتنی بر مدل بهینه‌سازی تأخیر IEEE 802.15.4 برای شبکه‌های هوشمند با خوشه‌های درختی است. این مدل اجازه می‌دهد تا هر سرخوشه با تنظیم دو پارامتر دوره دسترسی مبتنی بر رقابت (CAP) و دوره عاری از رقابت (CFP)، تأخیر داخل خوشه‌ای را

⁴ Adaptive Quality of Service scheme

⁵ Adaptive Guaranteed Time Slot (GTS) allocation scheme

⁶ Polling

⁷ Priority-based algorithm for Adaptive Super frame Adjustment and GTS Allocation (PASAGA)

⁸ Beacon Order

⁹ Super frame Order

¹⁰ Multi hop

¹ Service Differentiated and Adaptive CSMA/CA Algorithm

² Spiral Number

³ Packet Delivery Rate

است، ابتدا برآوردی از تأخیر انجام می‌دهد. اگر این تأخیر تخمین زده نتواند الزامات تأخیر در کاربرد مورنظر را برآورده نماید؛ دسترسی گره به کانال با کاهش مدت زمان CCA در IEEE802.15.4 تسریع می‌شود. هدف نویسندگان [۱۳] این بوده که با تخمین تأخیر ارسال داده‌های مهم و استفاده از آن در زمانبندی بسته‌ها، تأخیر کاهش یابد اگرچه طرح DRX مسئله تأخیر ارسال داده‌ها را تا حدودی مرتفع نموده اما توجهی به تنظیم پارامترهای زیرلایه کنترل دسترسی رسانه که باید منطبق بر تغییرات دوره ارزیابی کانال باشند نداشته است. به دلیل تأثیر زیرلایه MAC بر عملکرد DRX، در روش پیشنهادی طرح تنظیم بهینه پارامترهای زیرلایه MAC با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی ارائه شده است تا با تنظیم پارامترهای زیرلایه MAC بتوان طرح DRX را به سمت قابلیت اعتماد بیشتر در زمان ارسال داده هدایت نمود.

۲-۱- روش آگاه از تأخیر و اولویت DRX

هدف از روش آگاه از تأخیر و اولویت DRX [۱۳]، کاهش تأخیر انتها به انتها با کمک تخمین تأخیر داده‌های ضروری و مهم و اطمینان از حداقل تأخیر دریافت بسته توسط مقصد می‌باشد. روش DRX از اولویت‌دهی داده‌ها در لایه کاربرد به منظور مهار دسترسی حسگرها و گره‌های عملگر رسانه استفاده می‌نماید. بدین صورت که هر گره ابتدا با استفاده از مدل مارکوف، میزان تأخیر را برآورد نموده و سپس با توجه به این تأخیر پیش‌بینی‌شده و نوع کاربرد تصمیم‌گیری می‌کند. در DRX، جهت تخمین تأخیر انتها به انتها از روابط تخمینی پارک [۳۰] که در زیر آمده، استفاده شده است:

$$E[D] = P^T D \quad (1)$$

که در این رابطه، $P = [\Pr(\Psi_0|\Psi_t) \dots \Pr(\Psi_n|\Psi_t)]^T$ ، $D = [d_0 \dots d_n]^T$ ، و $d_j = L_s + jL_c + (j+1)E[T]$ می‌باشند. پارامتر $E[T]$ ، متوسط زمان عقبگرد بوده و $\Pr(\Psi_t|\Psi_t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Pr(\Psi_t|\Psi_t) = \frac{(1 - P_{co}(1 - a^{m+1}))P_{co}^j(1 - a^{m+1})^j}{1 - (P_{co}(1 - a^{m+1}))^{n+1}} \quad (2)$$

در اینجا، L_s و L_c به ترتیب نشانگر مدت زمان ارسال موفق و یا با تصادم یک بسته داده می‌باشد. متغیر N نشان‌دهنده تعداد گره‌ها و P_{co} احتمال آن که حداقل یکی از $N-1$ گره در بازه زمانی مشابه ارسال نماید می‌باشد. $M = \text{MaxBackoff}$ و $n = \text{MaxFrameRetrie}$ می‌باشند. معرفی سایر پارامترها به همراه جزئیات بیشتر در [۳۰-۳۱] آمده است.

الگوریتم (۱) شبه‌کد طرح DRX را نشان می‌دهد که در آن

پایان یافتن دوره CAP، دوره بدون رقابت CFP شروع شده و داده‌های اولویت بالا در این بازه ارسال می‌شوند. شبیه‌سازی‌ها نشان داده که در این روش نسبت تحویل بسته تقریباً ۶٪ بهبود یافته است.

برخی پژوهش‌ها با بهره‌گیری از اطلاعات لایه‌های مختلف، سعی در بهبود وضعیت ترافیک‌های حساس به تأخیر دارند. یک طبقه‌بندی از رویکردهای بین لایه‌ای به منظور فراهم سازی QoS در WSNها در [۱۶] آمده است. علاوه بر این، چالش‌های فراهم‌سازی QoS در WSNها بررسی و مروری کلی بر روی کاربردهای آگاه از QoS با اهمیت تأخیر و قابلیت اطمینان ارائه گردیده است. نویسندگان [۱۷] تلاش نموده‌اند با کمک مدل مارکوف و در نظرگرفتن کانال با محوشدگی رایلی، تعامل بین لایه‌های فیزیکی، MAC، شبکه و کاربرد را بهبود بخشیده و در نتیجه تأخیر انتها به انتها را کاهش دهند. همچنین در [۲۷] یک شیوه ارتباطی مبتنی بر رویداد و اولویت پیشنهاد شده است. بدین منظور بر اساس بار مورد تقاضا و اولویت آنها گره‌ها به کلاس‌های مختلفی گروه‌بندی می‌شوند. سیاست پردازش تقاضا بر اساس اولویت‌های پویا با استفاده از پارامترهای عملکرد تأخیر و عدالت تحلیل می‌شود. بدین منظور یک مساله بهینه‌سازی برای رسیدن به موازنه بین تأخیر تجربه‌شده توسط کلاس‌های مختلف تقاضای بار و هزینه پردازش سامانه مدیریت انرژی (EMS) فرموله شده است. در [۲۸] یک طرح تفکیک QoS برای داده‌های اولویت بالا در WSNهای چندگامی بر اساس روش‌های بهینه‌سازی ارائه گردیده است. طرح ارائه‌شده پارامترهای زیرلایه MAC را به صورت وقتی تغییر می‌دهد تا به کاهش کاهش تأخیر کمک کند و در صورتی که هیچ داده با اولویت بالایی وجود نداشته باشد به تنظیمات عادی MAC IEEE 802.15.4 برمی‌گردد. نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این طرح با حفظ نرخ تحویل داده و انرژی شبکه، تأخیر را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

برای رفع نیازهای تأخیر و QoS در برنامه‌های نظارت بر شبکه‌های هوشمند، روش $DPMAC^1$ با توجه به تأخیر برآورد شده و اولویت بسته‌ها که توسط لایه کاربرد مشخص می‌شوند و همچنین شرایط شبکه، مدت زمان ارزیابی کانال (CCA) را تغییر می‌دهد [۲۹]. نویسندگان در [۱۳] روشی آگاه از تأخیر و اولویت با نام DRX^2 پیشنهاد داده‌اند که از اولویت‌دهی داده‌ها در لایه کاربرد به منظور کنترل دسترسی گره‌ها به رسانه استفاده می‌نماید. روش DRX که مبتنی بر CSMA/CA شیاریبندی شده

¹ Delay and Priority MAC protocol

² Delay-Responsive cross-layer

کاهش می‌یابد. در صورتی که مقدار تأخیر تخمینی کمتر از حدآستانه قابل قبول باشد لایه کاربرد داده‌های دریافتی را ارزیابی و تشریح نماید.

در صورتی که اولویت مقدار پارامتر مانیتور شده Φ کمتر از یک حدآستانه قابل قبول باشد لایه کاربرد داده‌های دریافتی را ارزیابی و تشریح نماید.

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات (PSO)

الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات بر اساس رفتار جمعی حیوانات ارائه شده است که در آن اجتماعی از ذرات به همراه خصوصیات مربوطه نگهداری می‌شود. هر ذره در جمعیت یک راه‌حل بالقوه در فضای مسئله محسوب می‌شود که شامل دو فاکتور سرعت و موقعیت است. در یک فضای چندبعدی سرعت و موقعیت هر ذره، توسط دانش خود ذره و دانش همسایگانش تنظیم می‌شود. به بیان دیگر الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات برای اصل استوار است که در هر لحظه موقعیت و سرعت هر ذره در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون تجربه کرده است (P_{best}) و بهترین مکانی که جمعیت ذرات وجود دارد (G_{best})، تنظیم می‌گردد.

برای هر ذره ابتدا سرعت به‌روزرسانی می‌شود و در مرحله دوم موقعیت آن ذره براساس سرعت به‌روزر شده تغییر می‌یابد. معادله تغییر سرعت ذرات در (۳) تعیین شده است [۳۲].

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + C_1R_{ij}^1(P_{best_{ij}}(t) - x_{ij}(t)) + C_2R_{ij}^2(G_{best_j}(t) - x_{ij}(t)) \quad (3)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_{i,j}(t+1) \quad (4)$$

در معادله فوق v_{ij} سرعت ذره نام در بعد j ام در دوره $t+1$ را نشان می‌دهد که بر اساس وضعیت و اطلاعات دوره t ام به‌روزرسانی می‌شود. همچنین پارامتر w وزن اینرسی است که در تغییر موقعیت ذرات در طبیعت تاثیر دارد. C_1 و C_2 ضرایب شتاب بوده و R_{ij}^1 و R_{ij}^2 اعداد تصادفی هستند و x_{ij} بعد از j ام از موقعیت ذره نام را نشان می‌دهد که در دوره t به‌روزر شده و در معادله به‌روزرسانی سرعت ذره در دوره $t+1$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از به‌روزرسانی سرعت ذره در دوره $t+1$ ، موقعیت ذره در دوره $t+1$ و بر اساس سرعت به‌روزر شده به‌صورت (۴) به‌روزرسانی می‌شود [۳۲]. پس از به‌روزرسانی سرعت و موقعیت ذرات، کیفیت راه‌حل پیشنهادی هر ذره ارزیابی می‌شود که بدین منظور از تابع ارزیابی استفاده می‌شود که این تابع با توجه به مسئله و کاربرد مورد نظر تعریف می‌شود. در مرحله بعد اطلاعات مربوط به بهترین تجربه شخصی ذره و بهترین تجربه جمعیت به‌روزرسانی می‌شود که برای این منظور در صورتی که مقدار برازندگی ذره در موقعیت فعلی بهتر از مقدار برازندگی آن ذره در

الگوریتم (۱). شبه‌کد روش DRX
Goal: Measuring the value of Φ
1: if $\Phi > \Phi_{TH}$ then
2: $E[D] = P^T D$
3: if $E[D] > \tau_{TH}$ then
4: APP Header = APP Header;
5: CCAduration = CCAduration/2;
6: Calling the CSMA Function ;
7: else
8: CCAduration = 8 symbol durations
9: Calling the CSMA Function ;
10: end if
11: else
12: CCAduration = 8 symbol durations;
13: Calling the CSMA Function ;
14: if CCA = successful then
15: Transmit Packet;
16: else
17: if NB < macMaxBE
18: Go to 5 // repeat the CSMA-CA
19: else
20: Drop Packet;
21: end if
22: end if
23: end if

در روش DRX، اگر گره‌ای که قصد ارسال داده دارد متوجه شود که تأخیر تخمین زده شده بیشتر از یک حدآستانه (t_{TH}) است آنگاه لایه کاربرد با تعریف یک پرچم در بسته داده موردنظر، به لایه‌های زیرین خود اطلاع می‌دهد که برهمن اساس با بسته داده موردنظر برخورد نمایند. بنابراین، زیرلایه MAC با دریافت بسته و اطلاع از تأخیر آن، از لایه فیزیکی درخواست می‌نماید که مدت زمان ارزیابی کانال CCA را از ۸ دوره به ۴ دوره کاهش دهد (از $128 \mu s$ به $64 \mu s$). در مرحله بعد لایه فیزیکی CCA را به نصف کاهش داده و سپس گره‌ای که قصد ارسال داده داشته باشد، در صورتی که متوجه شود که خط مشغول است الگوریتم عقبگرد فراخوانی می‌شود. در مرحله بعد الگوریتم فرآیند تخمین تأخیر فراخوانی می‌شود و در صورتی که مشخص شود که تأخیر تخمینی بزرگ‌تر از حدآستانه t_{th} است دوره ارزیابی کانال به نصف

تعداد گره‌ها، نرخ ارسال، میزان محدودیت‌های زمانی برای ارسال و دریافت بسته و غیره، در روش پیشنهادی این پژوهش که PSO-DRX نام دارد، استفاده از روش‌های هوش جمعی به منظور تعیین مقادیر بهینه متغیرهای فوق پیشنهاد شده است.

الگوریتم‌های هوش جمعی براساس جمعیتی از راه‌حل‌ها در فضای مسئله تعریف می‌شوند که این راه‌حل‌ها در فضای مسئله با یکدیگر در ارتباط بوده و در هر مرحله پیش‌روی و جستجو در فضای مسئله موقعیت خود را بهبود می‌دهند تا در نهایت به جواب مسئله که همان نقطه بهینه مسئله است دست یابند. ویژگی مهم الگوریتم‌های هوش جمعی این است که عوامل به تنهایی قادر به تفکر و تصمیم‌گیری کامل نبوده و تصمیم‌گیری به صورت جمعی انجام می‌شود. نمونه الگوریتم هوش جمعی که در این مقاله به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای زیرلایه MAC در طرح DRX مورد استفاده قرار گرفته است الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات است.

۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات در روش پیشنهادی PSO-DRX

در روش PSO-DRX ابعاد هر ذره برابر با تعداد پارامترهای لایه MAC یعنی چهار است که مقدار هر بُعد به یکی از پارامترهای این لایه اشاره دارد. در الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات ابتدا جمعیتی از ذرات به صورت تصادفی تولید می‌شوند. پس از تولید مقادیر پیشنهادی، هر ذره باید ارزیابی شود که برای همین منظور بر اساس مقادیر پیشنهادی برای متغیرهای مورد نظر در زیرلایه MAC، تابع برازندگی برای هر ذره محاسبه و ذخیره می‌گردد. در روش پیشنهادی از قابلیت اطمینان و اعتماد^۱ (R) در تعریف تابع برازندگی استفاده شده است. قابلیت اعتماد، احتمال موفقیت‌آمیز بودن دریافت بسته است. به عبارت دیگر قابلیت اعتماد احتمال آن است که بسته ارسالی به دلیل خرابی کانال و یا تجاوز از حد ارسال مجدد، دور ریخته نشود و به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۳۰]:

$$R = (1 - P_{cr} - P_{cf}) \quad (5)$$

که در این رابطه، P_{cr} و P_{cf} به ترتیب، احتمال دور ریخته شدن بسته به دلیل خرابی دسترسی کانال^۲ و احتمال دور ریخته شدن بسته به دلیل تجاوز از حد ارسال مجدد در اثر تصادم می‌باشند. خرابی دسترسی کانال زمانی اتفاق می‌افتد که یک بسته در $m+1$ عقب‌گرد، نتواند در دو CCA متوالی، کانال را آزاد

بهترین موقعیتی که لحظه قبلی تجربه کرده بود، باشد موقعیت فعلی ذره به عنوان بهترین موقعیتی که ذره تاکنون تجربه نموده است به‌روزرسانی می‌شود. به‌منظور به‌روزرسانی بهترین تجربه جمعیت، مقدار برازندگی ذره موردنظر با مقدار برازندگی بهترین ذره در جمعیت مقایسه شده و در صورت بهتر بودن، موقعیت ذره مورد نظر به‌عنوان بهترین موقعیتی که جمعیت تجربه نموده است انتخاب خواهد شد. پس از اتمام فرآیند جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات، بهترین ذره به‌عنوان راه‌حل نهایی در فضای مسئله انتخاب خواهد شد [۳۲].

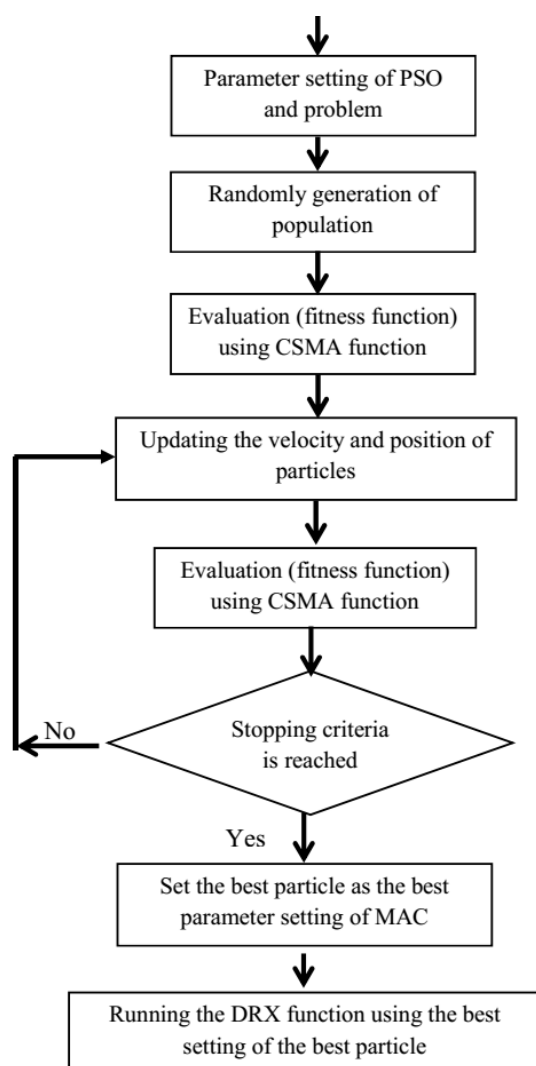
۳- روش پیشنهادی PSO-DRX

یکی از مسائلی که در طرح DRX [۱۳] لحاظ نشده تنظیم پارامترهای زیرلایه MAC منطبق بر استاندارد IEEE802.15.4 است که باید منطبق بر تغییرات دوره ارزیابی کانال بوده و به صورت بهینه تنظیم شوند. همان‌طور که ذکر گردید زیرلایه MAC شامل چهار متغیر با نام‌های تعداد دفعات عقب‌گرد (NB)، عقب‌گرد نمایی (BE)، تعداد دفعات ارسال مجدد (RT) و پنجره رقابت (CW) است که بایستی مقداردهی اولیه شوند. هر یک از این مقادیر در عملکرد شبکه، نرخ تأخیر آنها به انتها، نرخ دسترسی به شبکه، نرخ ارسال داده و غیره تأثیرگذار است. متغیر NB بیانگر تعداد دفعاتی است که یک گره برای ارسال بسته جاری، عقب‌گرد می‌کند و مقدار اولیه آن قبل از هر تلاش برای ارسال یک بسته جدید صفر می‌شود. اگر مقدار این پارامتر به صورت بهینه تعیین شود موجب می‌شود تا تعداد دفعاتی که کانال باید بررسی شود کاهش یافته و در نتیجه میزان مصرف انرژی گره به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. متغیر CW نشانگر تعداد دوره‌های متوالی است که پس از اجرای عقب‌گرد، کانال باید آزاد باشد تا ارسال آغاز گردد. در استاندارد مقدار اولیه این پارامتر به صورت پیش فرض برابر ۲ می‌باشد. با تنظیم بهینه این پارامتر نیز میزان تأخیر ارسال و دریافت داده و مصرف انرژی به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. پارامتر BE، حداکثر محدوده اعداد تصادفی جهت تأخیر قبل از ارسال هر بسته را مشخص می‌کند و در صورتی که به‌صورت بهینه تعیین شود میزان انتظار گره به منظور دسترسی به کانال به‌صورت قابل توجهی کاهش خواهد یافت و در نتیجه میزان تأخیر در ارسال داده و مصرف انرژی به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. پارامتر RT، حداکثر تعداد دفعاتی را که گره به دلیل عدم دریافت ACK، برای ارسال مجدد بسته تلاش می‌کند را مشخص می‌نماید. در روش DRX این چهار پارامتر به‌صورت ثابت مقداردهی شده‌اند در حالی که تنظیم این پارامترها متناسب با شرایط شبکه نتایج بهتری را به همراه خواهد داشت. برای تطبیق این مقادیر با شرایط شبکه همچون

¹ Reliability

² Channel access failure

است که مقدار N در هر شبیه‌سازی از ۵ تا ۴۰ متغیر است. در پیاده‌سازی روش پیشنهادی فرض شده است استاندارد IEEE 802.15.4 با پهنای باند ۲/۴ GHz و حداکثر نرخ ارسال ۲۵۰ Kbps اجرا می‌شود. تمامی گره‌ها با نرخ بیت ثابت اطلاعات خود را ارسال می‌کنند. همچنین دامنه انتقال ۵۰m در نظر گرفته شده است و تمامی گره‌ها در یک شبکه شخصی قرار گرفته‌اند. هر شبیه‌سازی برای زمان ۳۰۰ s اجرا شده و نتایج از میانگین ۱۰ مرتبه اجرا به دست آمده‌اند. در شبیه‌سازی‌های حدآستانه تأخیر t_{TH} برابر با ۰/۴ s در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که هیچ گره‌ای با مشکل توان (انرژی) مواجه نبوده و بسته‌ها با توان کامل ارسال شده و تمامی گره‌ها توانایی دسترسی به گره مرکزی را دارند.



شکل (۲): روندنمای روش پیشنهادی PSO-DRX

جدول (۱) تنظیمات مربوط به پارامترهای پیش فرض مسئله و روش پیشنهادی را ارائه می‌دهد.

بیاید. جزییات و نحوه محاسبه این احتمالات در [۳۰] آمده است.

در نهایت تابع برازندگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Fitness = \lambda LR = \lambda L(1 - P_{cr} - P_{cf}) \quad (۶)$$

در اینجا L ، میزان بار مفید یا همان Payload و λ نرخ ورود بسته می‌باشد. هدف پیشنه نمودن تابع برازندگی تا جایی است که حد آستانه تأخیر (t_{TH}) رعایت شود. بدین منظور در مرحله بعد الگوریتم بهینه‌سازی دست‌درزات وارد روال بهینه‌سازی شده و در هر مرحله موقعیت و سرعت ذرات به روز شده و مقادیر پیشنهادی آن‌ها بهبود می‌یابد. همچنین در هر مرحله اطلاعات مربوط به بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه جمعیت به روزرسانی می‌شوند. پس از اتمام فرآیند جستجو، بردار بهترین تجربه جمعیت به عنوان بهترین بردار انتخاب شده و مقادیر آن به عنوان بهترین مقادیر برای پارامترهای MAC در نظر گرفته می‌شوند.

شبه‌کد روش پیشنهادی در الگوریتم (۲) آمده است. روندنمای مربوط به روش پیشنهادی نیز در شکل (۲) نمایش داده شده است.

الگوریتم (۲): شبه‌کد روش پیشنهادی PSO-DRX

Goal: Achieving the best parameter setting for MAC layer.

1: Parameter setting of PSO; // Length of each particle is equal to the 4 variables of MAC layer

2: **for** $i=1$ to Population Size **do**

3: Randomly initialization i^{th} particle position;

4: Setting the velocity of i^{th} particle to zero;

5: Computation of fitness value of i^{th} particle using **Fitness Function**;

6: Updating of P_{best} and G_{best} ;

7: **end for**

8: **for** $i=1$ to MaxIter **do**

9: **for** $j=1$ to Population Size **do**

10: Updating the velocity of i^{th} particle;

11: Updating the position of i^{th} particle;

12: Computation of fitness value of i^{th} particle using **Fitness Function**;

13: Updating of P_{best} and G_{best} ;

14: **end for**

15: **end for**

16: Setting the G_{best} as the best parameter setting of MAC layer's variables;

17: Running DRX scheme based on the G_{best} information using **DRX Function**;

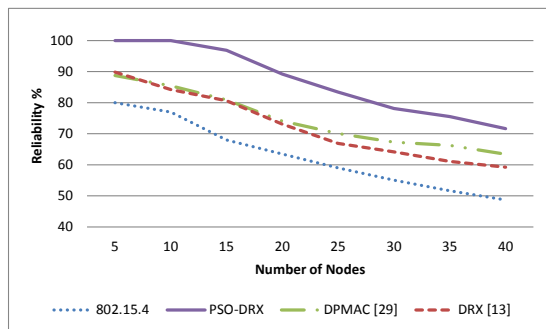
۴- نتایج شبیه‌سازی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی PSO-DRX از تعداد N گره حسگر و یک گره مرکزی به منظور مدیریت شبکه استفاده شده

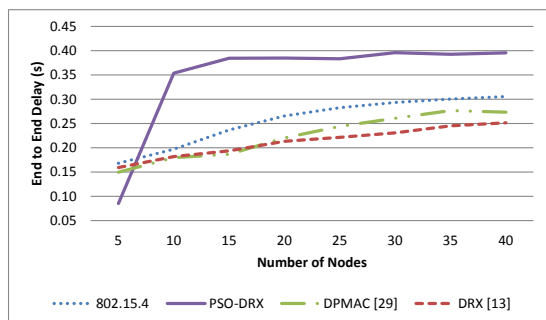
تحویل بسته با حفظ محدودیت تأخیر است. از این رو میزان تأخیر در روش پیشنهادی با افزایش تعداد گره‌ها، میزان تأخیر تا حد آستانه تعریف شده ۴۰۰ ms افزایش می‌یابد تا هدف مورد نظر به دست آید. اما در سه روش دیگر به دلیل ثابت بودن پارامترهای دسترسی به رسانه در تمامی شرایط، در صورتی که بسته‌ای با موفقیت ارسال نگردد آن بسته حذف گردیده و تأخیر آن نیز در محاسبه تأخیر انتها به انتها محاسبه نمی‌گردد. بیشترین و کمترین تأثیر در میزان تأخیر انتها به انتها را پارامترهای CW و BE دارند.

جدول (۱): تنظیمات پارامترهای اصلی روش پیشنهادی

مقدار	پارامتر	نوع پارامتر
۱۲۸ B	اندازه بسته داده	پارامترهای شبکه
۵۰ frames	اندازه‌ی بافر	
۱ frame/s	نرخ ورود داده	
۲۵۰ Kbps	نرخ ارسال داده	
۱۰۰	اندازه جمعیت ذرات	پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات
۴	ابعاد هر ذره	
۲۰۰	حداکثر تکرار الگوریتم	
۱	وزن اینرسی	
۲	ضریب شتاب C_1	
۲	ضریب شتاب C_2	



شکل (۳): مقایسه قابلیت اعتماد

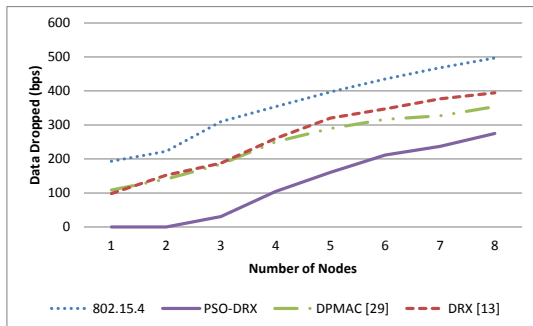


شکل (۴): مقایسه قابلیت اعتماد در سه نرخ ورود متفاوت

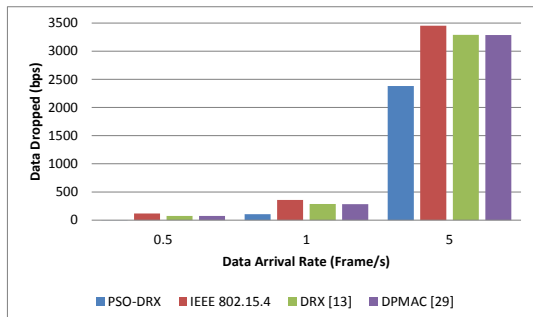
نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی با نتایج روش‌های DRX [۱۳] و DPMAC [۲۹] که امکان پشتیبانی از کیفیت سرویس را دارند براساس معیارهای قابلیت اعتماد، تأخیر انتها به انتها و نرخ از دست رفتن بسته‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. در اولین مرحله از ارزیابی، نتایج مقایسه روش پیشنهادی PSO-DRX و سه روش دیگر براساس معیار قابلیت اعتماد در شکل (۳) آمده است که نشان دهنده نرخ تحویل بسته نیز می‌باشد. براساس نتایج شکل (۳) برتری روش پیشنهادی برای تمامی تعداد گره‌های شبکه دیده می‌شود که دلیل این برتری تعیین مقادیر مناسب برای پارامترهای RT، CW، NB و BE با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات و مطابق با شرایط شبیه‌سازی و تعداد گره‌های شبکه است. هدف روش پیشنهادی افزایش قابلیت اعتماد شبکه و بالابردن نرخ تحویل بسته با حفظ محدودیت تأخیر است. در نتیجه در روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم PSO، پارامترهای دسترسی به رسانه به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که با رعایت تأخیر کمتر از ۴۰۰ ms، بیشترین قابلیت اعتماد به دست آید. به دلیل وظایف نظارتی این پارامترها، تنظیم مقادیر آن‌ها موجب افزایش دقت ارسال و دریافت بسته می‌شود. اما در روش‌های دیگر مورد مقایسه، مقدار این پارامترها برای تمامی شرایط شبکه ثابت و یکسان است. البته در تمامی روش‌ها با افزایش تعداد گره‌ها، میزان برخورد نیز افزایش یافته و از قابلیت اعتماد کاسته می‌شود. در شکل (۴)، مقایسه قابلیت اعتماد در هر کدام از این روش‌ها با سه نرخ ورود ۰/۵، ۱ و ۵ قاب در ثانیه با حضور ۲۰ گره فعال آمده است. بدیهی است که با افزایش نرخ ورود داده، شبکه به حالت اشباع رفته و از قابلیت اعتماد آن کاسته می‌شود.

مقایسه میانگین تأخیر انتها به انتها در شکل‌های (۵-۶) نمایش داده شده است. تأخیر انتها به انتها، حاصل جمع تأخیرهای صف‌بندی، رقابت و ارسال است. در واقع این تأخیر را می‌توان برابر با متوسط زمان از زمان ایجاد یک بسته تا لحظه دریافت تصدیق ارسال آن بسته در نظر گرفت. حال اگر بسته‌ای دور انداخته شود، زمان تأخیر برای چنین بسته‌ای در محاسبه متوسط تأخیر بسته، محسوب نمی‌شود. در این نمودار محور افقی تعداد گره‌ها و محور عمودی میانگین نرخ تأخیر انتها به انتها را نشان می‌دهند. براساس نتایج این نمودار با افزایش تعداد گره‌ها نرخ تأخیر انتها به انتها افزایش می‌یابد که در این حالت میزان افزایش برای روش پیشنهادی بیشتر از سایر روش‌هاست. روش پیشنهادی به دنبال افزایش قابلیت اعتماد شبکه و بالابردن نرخ

فرض بر آن گذاشته می‌شود که ارسال آن بسته با مشکل روبه‌رو شده و بایستی مجدداً ارسال شود. این ارسال مجدد آن قدر تکرار می‌شود تا آن بسته یا با موفقیت ارسال شود و یا تعداد تکرارها از حد مجاز سعی مجدد، تجاوز نموده و در این صورت بسته، دور انداخته می‌شود. موثرترین عوامل در میزان از دست رفتن بسته‌ها به دلیل ارسال مجدد، اندازه پنجره رقابت، تعداد دفعات عقب‌گرد و تعداد دفعات ارسال مجدد هستند. اندازه پنجره رقابت بسیار مهم بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در احتمال از دست رفتن بسته‌ها دارد. چرا که اندازه پنجره رقابت بایستی متناسب با تعداد گره‌ها افزایش یابد و ارسال‌های مجدد با دوره طولانی‌تری تکرار شوند تا احتمال ریزش بسته‌ها به دلیل برخورد‌های متوالی به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. اما افزایش این پارامتر، افزایش تأخیر را به دنبال دارد. لذا بایستی این سه پارامتر متناسب با یکدیگر به گونه‌ای تنظیم شوند که آستانه تأخیر مطلوب برآورده گردد. بدیهی است در روش PSO-DRX به دلیل افزایش قابلیت اطمینان، تعداد بسته‌های بیشتری به‌طور صحیح به مقصد رسیده و در نتیجه میزان ریزش بسته‌ها کاهش می‌یابد. هر چند که با افزایش نرخ ورود داده، به دلیل اشباع شدن شبکه در تمامی روشها، ریزش بسته‌ها شدت می‌یابد.

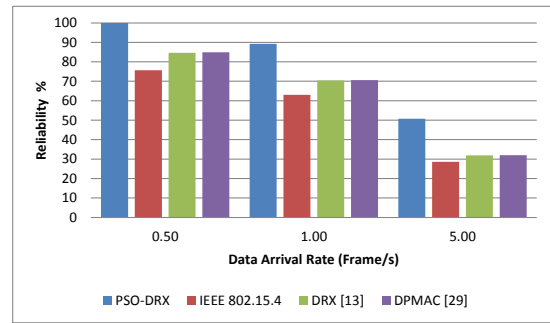


شکل (۷): مقایسه میزان از دست رفتن بسته‌ها

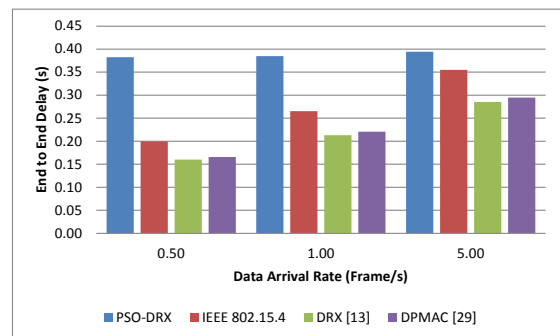


شکل (۸): مقایسه میزان از دست رفتن بسته‌ها در سه نرخ ورود متفاوت

براساس نتایج فوق تاثیر الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات در بهبود کیفیت الگوریتم DRX مشخص می‌شود. بر همین اساس



شکل (۵): مقایسه تأخیر آنها به انتها



شکل (۶): مقایسه تأخیر آنها به انتها در سه نرخ ورود متفاوت

در گام بعدی به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی، میزان از دست رفتن بسته‌ها در روش‌های مذکور در شکل‌های (۸-۷) با یکدیگر مقایسه شده است. یک بسته، هنگامی دور انداخته می‌شود، که به آخرین مرحله عقب‌گرد خود رسیده باشد و برخورد یا خطای دیگری را تجربه نماید. در شبکه‌های بی‌سیم، بسته‌ها به سه دلیل عمده از دست رفته یا به اصطلاح دچار ریزش می‌شوند: سرریز بافر در زیرلایه MAC، تجاوز از حد ارسال مجدد و خطای کانال. آنچه که الگوریتم‌های زمان‌بندی در آن دخیل است؛ دو مورد اول یعنی سرریز بافر و تجاوز از حد ارسال مجدد می‌باشند. سرریز بافر زمانی رخ می‌دهد که بسته‌ای از لایه بالاتر به MAC برسد و فضای کافی برای ذخیره آن به‌منظور زمان‌بندی برای ارسال یافت نشود. در شرایط ترافیک عادی و غیر اشباع بایستی شرایط به‌گونه‌ای باشد که همواره فضای کافی برای دریافت بسته‌های دریافتی از لایه‌های بالاتر در بافر گره‌ها وجود داشته باشد. هر چند می‌توان با تخصیص فضای بیشتری به بافر گره‌ها، میزان سرریز بافر را کاهش داد اما به‌دلیل این‌که بسته‌ها به موقع سرویس دهی نمی‌شوند؛ تأخیر صف‌بندی بسته‌ها افزایش یافته و در نهایت بسته با تأخیر زیادتری به مقصد می‌رسند که برای ترافیک‌های حساس به تأخیر این وضعیت منجر به ریزش بسته در مقصد می‌گردد. بنابراین اندازه بافر بایستی متناسب نوع ترافیک انتخاب شود. دلیل دیگر برای از دست رفتن بسته‌ها، ریزش بسته‌ها به‌دلیل تجاوز از آستانه سعی مجدد است. در صورتی که پیام تصدیق بسته‌ای توسط فرستنده دریافت نشود،

- Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Batumi, Georgia, pp. 50-53, 2013.
- [6] Y. Kabalci, "IEEE 802.15. 4 Technologies for Smart Grids," in Smart Grids and Their Communication Systems, ed Singapore: Springer, pp. 531-550, 2019.
- [7] S. Sarode and J. Bakal, "A Slotted CSMA/CA of IEEE 802.15. 4 Wireless Sensor Networks: A Priority Approach," International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), vol. 44, pp. 33-38, 2017.
- [8] I. Ramachandran and S. Roy, "WLC46-2: On the impact of clear channel assessment on MAC performance," in Global Telecommunications Conference, GLOBECOM'06. IEEE, San Francisco, pp. 1-5, 2006.
- [9] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "A Delay Mitigation Scheme for WSN-based Smart Grid Substation Monitoring," in 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Sardinia, Italy, pp. 1470-1475, 2013.
- [10] G. Rajalingham, Y. Gao, Q.-D. Ho, and T. Le-Ngoc, "Quality of service differentiation for smart grid neighbor area networks through multiple RPL instances," in Proceedings of the 10th ACM symposium on QoS and security for wireless and mobile networks, pp. 17-24, 2014.
- [11] D. Sahin, V. C. Gungor, T. Kocak, and G. Tuna, "Quality-of-service differentiation in single-path and multi-path routing for wireless sensor network-based smart grid applications," Ad Hoc Networks, vol. 22, pp. 43-60, 2014.
- [12] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "QoS-aware inter-cluster head scheduling in WSNs for high data rate smart grid applications," in Global Communications Conference (GLOBECOM), Atlanta, GA, USA, pp. 2628-2634, 2013.
- [13] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "Priority-and delay-aware medium access for wireless sensor networks in the smart grid," IEEE Systems Journal, vol. 8, pp. 608-618, 2014.
- [14] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "Delay critical smart grid applications and adaptive QoS provisioning," IEEE Access, vol. 3, pp. 1367-1378, 2015.
- [15] W. Sun and J. Wang, "Cross-layer QoS optimization of wireless sensor network for smart grid," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, p. 327067, 2014.
- [16] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "A survey on cross-layer quality-of-service approaches in WSNs for delay and reliability-aware applications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, pp. 525-552, 2016.
- [17] I. Hosni and N. Hamdi, "Cross layer optimization of end to end delay in WSN for smart grid communications," in Signal, Image, Video and Communications (ISIVC), International Symposium on, pp. 217-223, 2016.
- [18] [18] A. Koubaa, M. Alves, B. Nefzi, and Y.-Q. Song, "Improving the IEEE 802.15. 4 slotted CSMA/CA MAC for time-critical events in wireless sensor networks," 2006.
- [19] E. N. Ndihi, N. Khaled, and G. De Micheli, "An analytical model for the contention access period of the slotted IEEE 802.15. 4 with service differentiation," in International Conference on Communications, ICC'09. , Dresden, Germany, pp. 1-6, 2009.
- [20] A. Mohameden, L. Boukhatem, and G. Pujolle, "Class aware duty cycle (CADC) to improve QoS of IEEE 802.15. 4 networks," in 2nd IFIP Wireless Days (WD), Paris, France, pp. 1-6, 2009.
- [21] E.-J. Kim, M. Kim, S.-K. Youm, S. Choi, and C.-H. Kang, "Priority-based service differentiation scheme for IEEE

الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات موجب می‌شود تا با یافتن تنظیمات مناسب برای پارامترهای زیرلایه MAC، کیفیت پاسخ‌دهی زیرلایه MAC به شرایط مختلف شبیه‌سازی شبکه‌های WSN افزایش یافته و در نتیجه با حفظ آستانه تأخیر، و همچنین افزایش قابلیت اطمینان، سرویس‌دهی بهتری در شبکه انجام می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی کارا به‌منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای زیرلایه MAC در طرح DRX ارائه شد که مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات است. می‌توان از روش پیشنهادی به‌عنوان یک طرح کارا در شبکه‌های WSN بهره برد و مشکلاتی همچون تأخیر و قابلیت اعتماد را مرتفع نمود. روش پیشنهادی قادر است مقادیر مناسب را برای پارامترهای NB، BE، RT و CW منطبق با شرایط مسئله، تعداد گره‌ها و میزان ترافیک پیشنهاد دهد. بر اساس نتایج ارائه‌شده تأثیر روش پیشنهادی در کاهش نرخ خطای دسترسی به کانال، افزایش قابلیت اعتماد و افزایش توان عملیاتی در مقایسه با نتایج روش‌های مشابه تأیید می‌شود. در کنار مزایای فوق روش پیشنهادی با مشکل بهینه محلی که توسط الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات ایجاد می‌شود مواجه است. به بیان دیگر این الگوریتم ممکن است در بهینه محلی قرار گرفته و در نتیجه پاسخ مناسب مسئله که همان مقادیر متناسب پارامترهای زیرلایه MAC هستند به‌دست آورده نشود. در ادامه این پژوهش می‌توان از سایر روش‌های هوش جمعی به‌منظور تنظیم پارامترهای زیرلایه MAC استفاده کرده، نتایج آن را با الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات مقایسه نمود.

۶- منابع

- [1] S. Rekik, N. Baccour, M. Jmaiel, and K. Drira, "Wireless sensor network based smart grid communications: Challenges, protocol optimizations, and validation platforms," Wireless Personal Communications, vol. 95, pp. 4025-4047, 2017.
- [2] F. Charfi and M. Bouyahi, "Performance evaluation of beacon enabled IEEE 802.15. 4 under NS2," International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPSS), vol. 3, pp. 67-79, 2012.
- [3] A. B. Mirghadri, R. Shirbanian, and A. Mirghadri, "A New Lightweight Authentication Scheme for Wireless Sensor Networks," Journal Of Electronical & Cyber Defence, vol. 4, pp. 1-10, 2016.
- [4] E. Fadel, V. C. Gungor, L. Nassef, N. Akkari, M. A. Malik, S. Almasri, et al., "A survey on wireless sensor networks for smart grid," Computer Communications, vol. 71, pp. 22-33, 2015.
- [5] M. Yigit, E. A. Yoney, and V. C. Gungor, "Performance of MAC protocols for wireless sensor networks in harsh smart Grid environment," in First International Black Sea

- [27] M. Tahir and S. K. Mazumder, "Event-and Priority-Driven Coordination in Next-Generation Grid," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, pp. 1186-1194, 2016.
- [28] I. Al-Anbagi, M. Erol-Kantarci, and H. T. Mouftah, "Delay-aware medium access schemes for WSN-based partial discharge measurement," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 63, pp. 3045-3057, 2014.
- [29] F. Alassery, "Quality of Service (QoS)-Aware Wireless Sensor Networks (WSNs) MAC Protocol for Time-Critical Smart Grid Applications," Journal of Computations & Modelling, vol. 6, pp. 107-132, 2016.
- [30] P. G. Park, P. Di Marco, P. Soldati, C. Fischione, and K. H. Johansson, "A Generalized Markov Chain Model for Effective Analysis of Slotted IEEE 802.15. 4," in 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, MASS'09, Macau, China, pp. 130-139, 2009.
- [31] P. Chatzimisios, V. Vitsas, and A. C. Boucouvalas, "Throughput and Delay Analysis of IEEE 802.11 Protocol," in 5th International Workshop on Networked Appliances, Liverpool, pp. 168-174, 2002.
- [32] M. Clerc, "Particle Swarm Optimization," John Wiley & Sons, 2010.
- 802.15. 4 sensor networks in non-saturation environments," AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 61, pp. 69-81, 2007.
- [22] F. Xia, J. Li, R. Hao, X. Kong, and R. Gao, "Service differentiated and adaptive CSMA/CA over IEEE 802.15. 4 for cyber-physical systems," The Scientific World Journal, vol. 2013, pp. 1-12, 2013.
- [23] M. M. Ahmed and S. S. Bari, "A Novel Spiral Back-off Mechanism for Wireless Sensor Networks MAC Protocol in Smart Grid System," in IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, DC, USA, pp. 1-5, 2015.
- [24] H. Farag, M. Gidlund, and P. Österberg, "A Delay-Bounded MAC Protocol for Mission-and Time-Critical Applications in Industrial Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol. 18, pp. 2607-2616, 2018.
- [25] Q. Liu, D. Chen, F. Gao, and G. Pang, "A Real-Time and Efficient MAC Protocol for Smart Grid Wireless Communications," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, pp. 1-8, 2014.
- [26] B.-H. Lee, H.-K. Wu, and N.-C. Yu, "A Priority Based Algorithm for Adaptive Superframe Adjustment and GTS Allocation (PASAGA) in IEEE 802.15. 4 LR-WAN," in International Conference on Applied System Invention (ICASI), Chiba, Japan, pp. 318-320, 2018.