

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

## روشی برای افزایش کیفیت سرویس در شبکه‌های درمانی حسگر بی سیم بدنی با ارائه پروتکلی در لایه پیوند مبتنی بر اینترنت اشیا

محبوبه شمسی<sup>۱\*</sup>، مریم سیدی<sup>۲</sup>، عبدالرضا رسولی کناری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

shamsi@qut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

seyedi.m@qut.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

rasouli@qut.ac.ir

**چکیده:** با توسعه فناوری، استفاده از شبکه‌های مخابراتی بی سیم برای امور مختلف امری ضروری شده است. این شبکه‌ها یکی از امن‌ترین و پرکاربردترین شبکه‌های موجودند که یک نمونه از کاربرد این شبکه‌ها، شمایی از مراقبت‌های پزشکی و نظارت بر بیمار از راه دور است. آنچه حائز اهمیت است مقوله کیفیت سرویس در این شبکه‌هاست. هدف این مقاله افزایش گذردهی بسته‌ها در شبکه حسگر بی سیم بدنی است و فرض شده استفاده از روش پروتکل دسترسی به زمانی (TDMA) در عدالت بسته‌های ارسالی و افزایش کیفیت سرویس شبکه مؤثر است. لذا با ارائه پروتکلی در لایه پیوند مبتنی بر اینترنت اشیا سعی شد برخی از پارامترهای کیفیت سرویس بهبود داده شود که حاصل نتایج بررسی و مقایسه این پروتکل با پروتکل‌های معروف در این حوزه، مشخص شد که پروتکل ارائه شده، نتایج بسیار بهتری در فاکتورهای میزان تأخیر، مصرف انرژی و توان گذردهی دارد. میزان بهبودی الگوریتم پیشنهادی در زمینه تأخیر ۲۳/۶۷ درصد و در زمینه انرژی ۲۷/۱۲ درصد و در زمینه گذردهی ۱۰ درصد بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** اینترنت اشیا، کیفیت سرویس، شبکه‌های حسگر بی سیم بدنی، پروتکل دسترسی به چندین بخش زمانی.

## ۱. مقدمه

از محیط‌های بیمارستانی به محیط‌های خانگی برای بیماران، فرصت منحصربه‌فردی را به وجود می‌آورد که موجب استفاده بهینه از منابع بیمارستانی و تشخیص زودتر علائم پزشکی و در نهایت کاهش هزینه‌های مراقبت می‌شود. امروزه بحث سیستم‌های کنترل و نظارت از راه دور، یکی از مباحث پرچالش است. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مواردی چون تداخل، ایجاد ارتباطی یکپارچه برای انتقال اطلاعات بیمار در حین حرکت، تضمین کیفیت سرویس، برآوردن امنیت اطلاعات تبادل، پروتکل‌های ارتباطی مختلف و شیوه‌های کاهش انرژی در ارتباطات، از جمله موضوعات کلیدی محسوب می‌شود که در مقالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۲. کارهای مرتبط

### ۲-۱. شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی

شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی<sup>۲</sup> شبکه‌هایی هستند که با به‌کارگیری گره‌های حسگر بی‌سیم در محدوده بدن فرد، اندازه‌گیری پارامترهای بیولوژیکی وی را انجام می‌دهند و مانیتورینگ<sup>۳</sup> سلامت او را از راه دور میسر می‌سازند که به دو نوع پوشیدنی و کاشتنی در دسترس‌اند [۲]. در این شبکه، گره‌های حسگر بسته به اطلاعات مورد نیاز در داخل بدن و یا روی بدن فرد قرار می‌گیرند و دارای محدوده ارسال و دریافت کوتاهی هستند [۳ و ۷].

این شبکه‌ها مشتمل بر تعدادی حسگر است که این حسگرها در کنار هم امکان دریافت و پردازش و ارتباط را فراهم می‌کنند. در این شبکه‌ها یک ایستگاه پایه وجود دارد که اطلاعات دریافتی از گره‌های حسگر را دریافت و برای مراکز راه دور ارسال می‌کند. هر نود حسگر معمولاً توانایی دریافت یک یا تعداد بیشتری از علائم حیاتی و سپس پردازش این علائم و ذخیره‌سازی اطلاعات و انتقال اطلاعات به سایر نودها و یا سرور شبکه را داراست. شبکه حسگر بدنی دارای تعداد نود کوچک‌تری نسبت به شبکه حسگر بی‌سیم است. نودهای کوچک‌تر باتری‌های کوچک‌تری دارند و این مسئله در کاهش

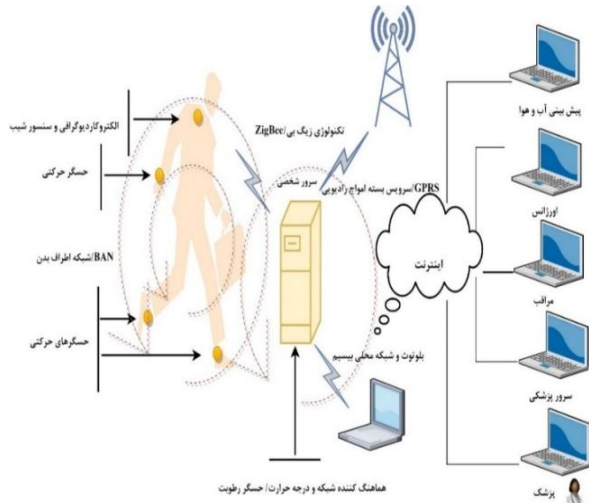
اینترنت اشیا مفهومی رایج است برای توصیف آینده‌ای که در آن اشیای فیزیکی یکی پس از دیگری به اینترنت وصل می‌شوند و با اشیای دیگر در ارتباط هستند. در اینترنت اشیا، همه تجهیزات مکانیکی، حافظه ذخیره‌سازی و قدرت محاسبات دارند که باعث آرامش و راحتی انسان‌ها می‌شود و نیازهایی را که مردم قبل از آن تصور نمی‌کردند، برطرف می‌کند. این فناوری محاسبات موازی، محاسبات توزیع‌شده و محاسبات شبکه<sup>۱</sup> را ترکیب می‌کند. توسعه اینترنت اشیا بستگی به ذخیره‌سازی، کارایی و قدرت محاسبات بالا دارد. به همین دلیل است که فناوری محاسبات ابری پایه اینترنت اشیا شده است [۵]. فناوری اینترنت اشیا که محاسبات ابری را ترکیب می‌کند، با استفاده از سنسور بی‌سیم و شناسایی فرکانس رادیویی، داده‌ها و اطلاعات را جمع‌آوری و سازماندهی می‌کند، سپس آن را به لایه کاربرد از پلتفرم محاسبات ابری انتقال می‌دهد. در این لایه، داده می‌تواند به اشتراک‌گذاری و تبادل پردازد و در نتیجه کاربران می‌توانند کل سیستم را کنترل و مدیریت کنند [۶].

شبکه‌های حسگر نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که به‌طور معمول، از تعداد زیادی گره ارزان‌قیمت تشکیل شده‌اند، شبکه‌های حسگر به شدت با محیط فیزیکی اطراف تعامل دارد و از طریق حسگرها اطلاعات محیط را دریافت کرده و در صورت نیاز پس از اعمال پردازش ساده، آن‌ها را ارسال می‌کنند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم شبکه‌هایی بر اساس همکاری گره‌های حسگر می‌باشند. ارتباط این گره‌ها به صورت بی‌سیم برقرار شده و هرکدام از آن‌ها به صورت مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کنند. هدف اصلی در این شبکه‌ها، جمع‌آوری اطلاعاتی درباره محیط پیرامون حسگرهای شبکه است. فناوری شبکه‌های حسگر بی‌سیم یکی از فناوری‌های کلیدی است به گونه‌ای که کاربردهای آن در بخش‌های علمی، بازرگانی، نظارت ترافیکی و... مورد بررسی قرار گرفته و صدمات کاربردی آن در زمینه پزشکی بسیار قابل توجه است [۲]. انتقال مراقبت‌های پزشکی

2. Wireless Body Area Networks  
3. Monitoring

1. Grid Computing

یک بازخورد بلادرنگ برای کاربر فراهم می‌کند که کاربر به‌واسطه آن می‌تواند پیشرفت بیماری خود را مشاهده و پیشگیری‌های لازم را انجام دهد. شبکه‌های حسگر بدنی امکان نظارت طولانی‌مدت را برای بیماران فراهم می‌کنند بدون اینکه فعالیت‌های روزمره آنها را محدود کنند [۸ و ۹]. نمایی از این شبکه در شکل (۲) نشان داده شده است.



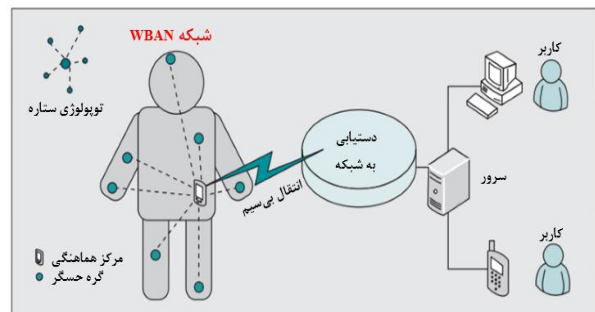
شکل (۲): مثالی از شبکه WBAN [۲]

## ۲-۲. کنترل دسترسی به رسانه در شبکه‌های سلامت

در حوزه سلامت نیاز به پروتکلی است که مسئله تصادم بسته‌های کانال را پوشش دهد و از طرفی بین قابلیت اطمینان، انتقال و بهره‌وری، تناسب برقرار کند [۳]. ایجاد دسترسی به یک رسانه مشترک به‌منظور اجتناب از تصادم گره‌های مختلف و در نظر گرفتن پدیده محوشدگی کانال، از عملکردهای اصلی پروتکل MAC است. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده، در محیط درمانی برای پایش علائم حیاتی از سامانه‌های بی‌سیم استفاده شده است. با افزایش تعداد نفرات در این سامانه، پدیده تداخل بسته‌های ارسالی به‌عنوان مسئله اصلی بیان می‌شود. در این مقاله، پروتکل دسترسی به رسانه‌ای (MAC) ارائه خواهد شد که وظیفه کاهش تصادم بسته‌های ارسالی در شبکه را بر عهده دارد.

مصرف انرژی، دقت، گذردهی و تأخیر تأثیر شگرفی دارد [۸ و ۹]. از عمده‌ترین مزیت‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم این است که می‌تواند حرکت کند و همراه با بیمار باشد [۳]. این سیستم‌ها با ارائه سرویس‌هایی نظیر نظارت پزشکی، ارائه اطلاعات دارویی، کنترل دستگاه‌های خانگی و برقراری ارتباط در شرایط اورژانسی می‌توانند کمک قابل توجهی به افراد کنند [۴]. مانیتورینگ مداوم شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدنی امکان تشخیص زودهنگام شرایط اورژانسی را در بیماران افزایش می‌دهد و محدوده وسیعی از سرویس‌های سلامت را فراهم می‌کند [۴]. اطلاعات پایش‌شده علائم حیاتی بدن انسان از جمله وضعیت تنفس، ضربان قلب، دمای بدن و... پس از جمع‌آوری برای گره هماهنگ‌کننده مرکزی، ارسال می‌شوند و این فرایند می‌تواند بدون وقفه صورت گیرد [۳ و ۷].

یک نمونه از کاربرد این شبکه‌ها که شمایی از مراقبت‌های پزشکی و نظارت بر بیمار از راه دور است، در شکل (۱) نشان داده شده است. این شبکه‌ها تحت شبکه‌های ابری<sup>۱</sup> و اینترنت اشیا<sup>۲</sup> می‌توانند خدماتی خاص به مشتریان ارائه دهند [۴].



شکل (۱): اجزای تشکیل‌دهنده گره حسگر [۲]

در شبکه‌های حسگر بدنی برای نظارت بر علائم حیاتی بیمار و یا تشخیص حرکت، حسگرهایی مانند حسگرهای حرکتی و حسگرهای الکتروکاردیوگرام روی بدن بیماران نصب می‌شود. در حقیقت، شبکه حسگر بدنی از چندین حسگر زیستی تشکیل شده است. یک شبکه حسگر بدنی بی‌سیم ضمن آنکه می‌تواند بر علائم حیاتی نظارت داشته باشد

1. Cloud computing  
2. Internet of Things

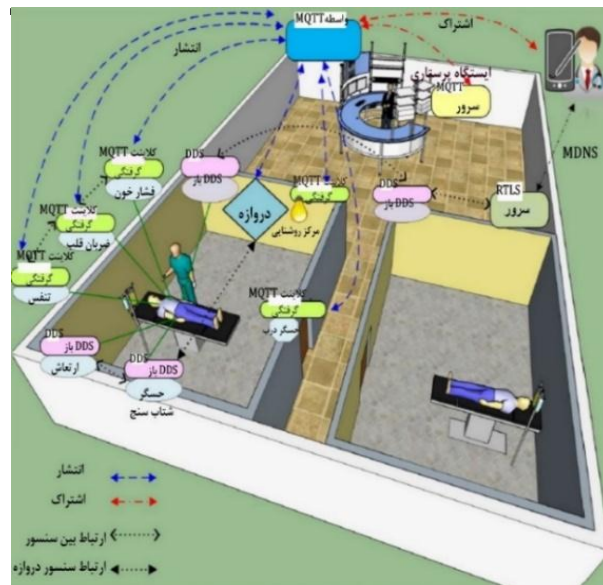
داده‌های اضطراری مؤثر نیست، درحالی‌که در دوره CFP، هماهنگ‌کننده زمان تضمینی «دسترسی چندگانه تقسیم زمانی» را برای گره‌های دارای پهنای باند مشخص تعیین می‌کند. هر گره، داده‌های خود را در زمان خود انتقال می‌دهد. این حالت نیز نمی‌تواند مشکل انتقال داده‌های اضطراری را حل کند؛ فشار خون و ضربان قلب در طول موقعیت‌های بحرانی، از جمله مواردی هستند که بسیار قابل توجه است. مشکل دیگر در رابطه با حالت مبتنی بر تقسیم زمانی این است که چون گره دارای یک زمان با طول ثابت است [۱۱]، داده‌های حسّی نیازمند زمان بیشتری برای انتقال می‌باشند. در این موقعیت، گره‌ها انرژی بیشتری را در طول فرایند همزمان‌سازی مصرف می‌کنند. تمام گره‌ها در دوره CFP، بسته‌های کنترل دوره‌ای را برای به‌روزرسانی ساعت خود دریافت می‌کنند که در نهایت، منجر به افزایش مصرف انرژی اضافی می‌شود [۱۱].

### ۲-۳. پروتکل‌های دسترسی به رسانه برای شبکه‌های WBAN

در این قسمت به بررسی پروتکل‌های دسترسی به رسانه در حوزه سلامت پرداخته می‌شود. پروتکل MAC به دو دسته رقابتی و زمانی تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته اول، پروتکل‌های مبتنی بر رقابت هستند. در این پروتکل‌ها، گره‌ها برای دسترسی به رسانه بدون اینکه از قبل برای آن‌ها رسانه ذخیره شده باشد، تلاش می‌کنند که رسانه را تصاحب کنند و داده خود را ارسال کنند. دسته دوم پروتکل‌های بدون رقابت هستند که از قبل برای یک گره یا یک ایستگاه مرکزی یک واحد زمانی، فرکانسی و یا کد را ذخیره می‌کنند و گره فقط در این واحد می‌تواند داده خود را ارسال کند.

#### ۲-۳-۱. پروتکل‌های MAC مبتنی بر رقابت برای WBAN

در پروتکل‌های مبتنی بر رقابت، گره‌ها با یکدیگر به رقابت می‌پردازند و بین گره‌ها ممکن است برخورد بسته‌ها صورت گیرد [۱۲]. برای جلوگیری از بروز تصادم، پروتکل کنترل دسترسی به رسانه بر پایه رقابت در کاهش تصادم نقش مهمی دارند. از نسل اولیه این دسته پروتکل‌ها می‌توان پروتکل



شکل (۳): محیط درمانی و پایش علائم حیاتی [۴]

در پروتکل MAC باید فاکتورهای دیگری را به‌منظور ارتقا کارایی شبکه و تأمین سرویس‌هایی متناسب با کاربردهای مختلف، در طراحی خود در نظر گرفت. این عوامل عمدتاً شامل مواردی چون بهره‌وری انرژی، مقیاس‌پذیری، بهره‌وری کانال، تأخیر، گذردهی و تسهیم عادلانه و... است [۱۰].

پروتکل‌های سنتی MAC، کاربرد پهنای باند را از طریق افزایش و کاهش تأخیر انتقال، مورد بررسی قرار می‌دهند. مواردی که گذردهی بالا در پروتکل‌های MAC را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، گوش دادن بیهوده، انتقال مجدد بسته، دسترسی کانال مشخص (CCA)، زمان ورود درونی بسته و برخورد می‌باشند. لایه MAC، نقش مهمی در فائق آمدن بر این مسائل دارد که در نهایت موجب افزایش کیفیت سرویس شبکه می‌شوند. استاندارد برای لایه MAC دارای سه دوره است: دوره دسترسی رقابت (CAP) و دوره رقابت آزاد (CFP) و یک دوره غیرفعال اختیاری (IP).

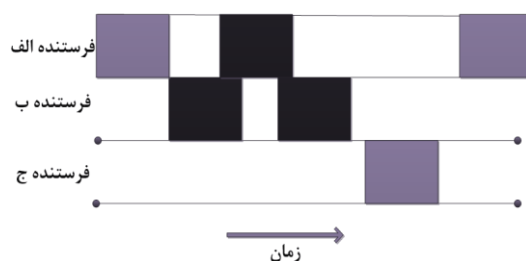
در CAP، گره‌ها برای انتقال برای دسترسی به کانال با یکدیگر رقابت می‌کنند [۱۰]. هر گره دارای احتمال برابر برای دسترسی به کانال است، اما مکانیسم CAP در خصوص

1. Clear Channel Assessment
2. contention access period
3. Contention Free Period

ALOHA و پروتکل CSMA<sup>۱</sup> را نام برد که در شبکه‌های WBAN استفاده شده‌اند [۱۳ و ۱۴].

• پروتکل ALOHA مبتنی بر رقابت

در پروتکل ALOHA، گره‌های حسگر در هر زمان که بخواهند می‌توانند داده‌های خود را ارسال کنند. در این پروتکل، گره‌های حسگر قابلیت گوش کردن به کانال<sup>۲</sup> را ندارند و در صورتی که تصادم بین بسته‌های ارسالی صورت گیرد، فرستنده برای ارسال مجدد تلاش می‌کند. همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، فرستنده‌ها اقدام به ارسال بسته‌های خود می‌کنند. در بسته‌های فرستنده «الف» و «ب» دچار تصادم شده‌اند که هرکدام مدت زمان تصادفی را صبر کرده و دوباره اقدام به ارسال کرده‌اند. با توجه به بازدهی پایین ۱۸ درصدی این پروتکل، استفاده از آن در شبکه‌های WBAN سلامت مناسب نیست [۱۵].

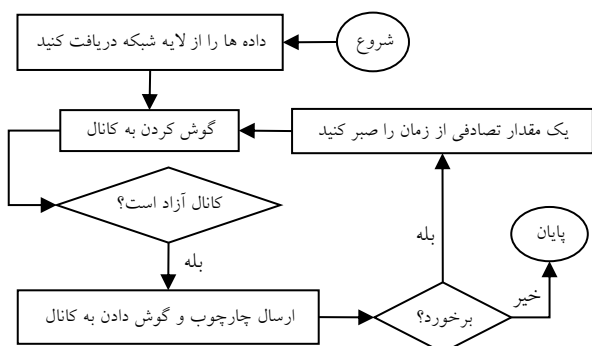


شکل (۴): پروتکل ALOHA خالص [۱۵]

• پروتکل CSMA

در پروتکل CSMA، گره حسگر قبل از ارسال داده خود، توانایی گوش کردن به کانال را دارد. این قابلیت به گره حسگر اجازه می‌دهد در صورت مشغول بودن کانال، داده خود را ارسال نکند و مجدد به گوش کردن کانال ادامه دهد. در صورتی که متوجه آزاد بودن کانال شود، اقدام به ارسال داده خود می‌کند. پروتکل CSMA دارای مدل‌های غیرمقاوم<sup>۳</sup>، صددرصد مقاوم<sup>۴</sup> و p درصد مقاوم<sup>۵</sup> است. در CSMA غیرمقاوم، چنانچه یک گره تشخیص دهد کانال رسانه مشغول است، مدت زمان تصادفی منتظر می‌ماند و مجدد به کانال

گوش می‌کند. در CSMA صددرصد مقاوم، گره به گوش کردن خود ادامه می‌دهد تا زمانی که رسانه بیکار شود. در CSMA، p درصد مقاوم، همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده است اگر گره رسانه را بیکار تشخیص دهد، با احتمال p انتقال را انجام می‌دهد و با احتمال (1-p) ارسال را به برش بعدی موکول می‌کند. استفاده از پروتکل CSMA در حوزه سلامت برای کارهایی که به صورت برخط<sup>۶</sup> پیاده‌سازی شده باشند مناسب نیست؛ زیرا ممکن است گره‌های موجود در شبکه افزایش پیدا کنند و با گوش کردن به کانال و تشخیص تصادم، گره حسگر نتواند داده خود را ارسال کند [۱۶].



شکل (۵): پروتکل CSMA [۱]

• پروتکل IEEE 802.15.4

این پروتکل در حوزه سلامت استفاده شده است که دارای نرخ داده (سرعت انتقال داده‌ها) پایین، مصرف انرژی پایین، دوره آزاد<sup>۷</sup> و دارای دوره رقابت<sup>۸</sup> است. برای همزمان‌سازی بین فرستنده و گیرنده، بسته‌ها از گره مرکزی دریافت اطلاعات فرابخش<sup>۹</sup> می‌شوند و برای انتقال اطلاعات از دوره رقابت استفاده می‌کنند. این پروتکل به سبب اینکه دارای نرخ داده پایین و مسافت انتقال کم است و نمی‌تواند برنامه‌های کاربردی با نرخ داده بالا را پشتیبانی کند، برای WBAN مناسب نیست [۱۷]. استفاده از پروتکل IEEE 802.15.4 بهترین راه‌حل برای WBAN نیست؛ زیرا توانایی اجرای برنامه‌های کاربردی دارای نرخ داده بالاتر از ۲۵۰ کیلوبیت بر ثانیه و انتقال بسته در

6. Online  
7. Free period  
8. Contention period  
9. Broadcast

1. Carrier sense multiple access  
2. Carrier sense  
3. Non-persistent  
4. 1-persistent  
5. P-persistent

فواصل نسبتاً طولانی (۱۰ متر) را ندارد.

• پروتکل S-MAC<sup>۱</sup>

یک پروتکل MAC بهینه در مصرف انرژی است که به طور خاص برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم طراحی شده است. S-MAC درباره شبکه حسگری بیان شده است که در آن قسمت اعظم ارتباطات بین گره‌ها در حالت نظیر به نظیر رخ می‌دهد و ایستگاه مرکزی وجود ندارد. بنابراین کاربردهای آن دارای دوره‌های بیکار طولانی هستند. S-MAC می‌تواند تأخیر ایجاد شده در زمان ارسال پیام را تحمل کند. هدف اصلی از طراحی پروتکل S-MAC، افزایش بهره‌وری انرژی، در عین حال حفظ مقیاس‌پذیری و اجتناب از تصادم است. برای دستیابی به این هدف، پروتکل S-MAC تلاش می‌کند مصرف انرژی را از تمام منابعی که سبب استفاده غیرمؤثر از انرژی می‌شوند، کاهش دهد. در مقابل، امکان تنزل عملکرد در تسهیم عادلانه و تأخیر در هر پوشه وجود دارد. این کار با ترکیب چندین مکانیزم پروتکل مؤثر در یک پروتکل MAC رقابتی صورت می‌گیرد که بر پایه استاندارد IEEE 802.11 ساخته شده است. این مکانیزم‌ها عبارت‌اند از: گوش دادن و بیکاری به صورت دوره‌ای، اجتناب از تصادم، همزمان‌سازی هماهنگ و عبور پیام [۱۸]

• پروتکل T-MAC<sup>۲</sup>

یک پروتکل MAC کارآمد از نظر انرژی تطبیقی است. ایده مقدماتی T-MAC کاهش مدت‌زمان گوش دادن در حالت بیکاری با استفاده از دوره کاری پویاست. علاوه بر این در این پروتکل، ارسال تمام پیام‌ها در حالت انفجاری با اندازه متغیر در دوره‌های فعال انجام می‌گیرد و گره‌ها در فواصل زمانی بین دوره‌های فعال به حالت بیکار می‌روند. برای حفظ دوره فعال بهینه تحت بار ترافیک متغیر، در صورتی که هیچ چیزی شنیده نشود، T-MAC به صورت پویا طول دوره فعال را صرفاً با رسیدن به مهلت زمانی تعیین می‌کند [۱۹].

• پروتکل CICADA

این پروتکل برای حل مشکل وقفه و ارسال بسته به شکل

پیوسته، از درخت جمع‌آوری استفاده می‌کند. درخت جمع‌آوری، روشی ساده برای جست‌وجوی فضای حالت است؛ فضای حالت مجموعه‌ای از حالت‌هاست که از حالت اولیه می‌توان به آن‌ها رسید. در این پروتکل از مکانیزم بسته‌های MTS<sup>۳</sup> به منظور کاستن مشکل مرتبط با رقابت و تصادم کانال استفاده شده است. در این مکانیزم از یک زمانبندی فعالیت-استراحت استفاده می‌شود که به طور متناوب قابل تنظیم است و ارسال پیوسته داده روی یک مسیر را امکان‌پذیر می‌سازد. در این پروتکل، مکانیزمی به نام پیش‌بینی داده به کار گرفته می‌شود تا زمانی که چند فرزند از یک گره بسته‌هایی برای ارسال در یک شکاف زمانی یکسان داشته باشند، بازه زمانی فعالیت افزایش یابد. همچنین زمانی که گره‌های یک سطح یکسان از درخت جمع‌آوری داده با گره‌های ریشه متفاوت برای دسترسی به کانال رقابت می‌کنند از بسته MTS استفاده می‌شود. ایده کلیدی در طراحی این پروتکل، یک الگوی بیدار کردن با قابلیت تنظیم به طور متناوب است، به طوری که بسته‌ها به صورت پیوسته از گره‌های حسگر به گره مرکزی دریافت اطلاعات فرستاده شوند. یک بازه زمانی به سه قسمت دریافت کردن، فرستادن و استراحت تقسیم می‌شود [۲۰].

برای کاهش تصادم در زمان ارسال گره‌هایی که در یک سطح درخت قرار دارند، برای یک دوره زمانی دست از ارسال می‌کشند که به این دوره BP<sup>۴</sup> گفته می‌شود. این زمان با یک زمان تصادفی در پنجره رقابت<sup>۵</sup> قبل از ارسال بسته جمع می‌شود. در این پروتکل، از یک پنجره رقابت با اندازه ثابت استفاده می‌شود؛ زیرا طول شکاف زمانی ارسال فقط برای یک بسته کافی است. زمانی که یک گره، بسته‌ای را دریافت می‌کند، برای یک دوره کوتاه که SP<sup>۶</sup> نامیده می‌شود، صبر می‌کند و سپس بسته تأییدیه (ACK) را برای فرستنده ارسال می‌کند [۲۰].

3. More-To-Send  
4. Back off period  
5. Contention window  
6. Short period

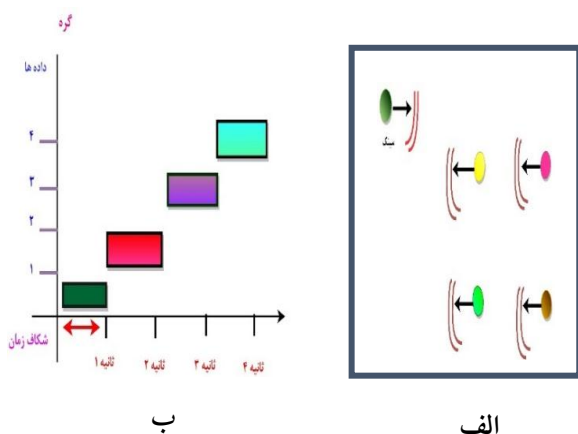
1. Sensor-MAC  
2. Timeout MAC

## ۲-۳-۲. پروتکل های MAC بدون رقابت برای WBAN

## • پروتکل تقسیم زمانی (TDMA)

پروتکل TDMA رسانه را به شکاف های زمانی یکسان قسمت کرده و آن ها را به گونه ای تنظیم می کند که به صورت متناوب تجدید شوند. در این حالت، دسترسی به کانال بدون تصادم امکان پذیر می شود و اتلاف انرژی هم کاهش می یابد [۱۱]. در این پروتکل، هر گره حسگر دارای بازه زمانی مختص به خود است و داده خود را در آن بازه انتقال می دهد. بر اساس شکل (۶) در بخش الف، تعدادی گره می خواهند با استفاده از پروتکل TDMA به سینک (گره مرکزی دریافت اطلاعات) دسترسی داشته باشند. در بخش ب، به هر گره زمانی اختصاص داده می شود تا از رسانه مشترک استفاده کنند و هر گره در هر بخش زمانی، اجازه استفاده از رسانه را دارند. پروتکل TDMA برای تمامی گره ها، حق یکسانی در نظر می گیرد و عدالت را به صورت کامل رعایت می کند [۲۱]. لذا یکی از مزیت های پروتکل TDMA رعایت انصاف برای گره های موجود در شبکه است. هر گره در زمانی مشخص اجازه ارسال و دریافت اطلاعات را دارد. این پروتکل به عنوان پروتکل بدون تصادم<sup>۱</sup> معرفی می شود. پروتکل MAC مبتنی بر TDMA یک پروتکل فاقد تداخل است؛ زیرا در شکاف های زمانی مشخص اطلاعات ارسال می شود. با همین استدلال می توان پروتکل TDMA را پروتکلی مناسب برای حوزه سلامت در نظر گرفت. ولی مشکلی که این پروتکل دارد با ارسال بسته های به صورت پشت سرهم همزمان سازی بین فرستنده اطلاعات و گیرنده اطلاعات دچار مشکل شده و این بحث پروتکل با تخصیص اسلات های ثابت زمانی نمی تواند بهینه عمل کرده و از بروز محوشدگی<sup>۳</sup> جلوگیری کند [۲۲]. پس در پروتکل TDMA به دلیل ناهمزمان سازی بین فرستنده و گیرنده، احتمال بروز محوشدگی در رسانه وجود دارد. پس این پروتکل به تنهایی برای در نظر گرفتن این پدیده مناسب نیست.

محوشدگی به تغییرات میزان تضعیف یک سیگنال مدوله شده مخابراتی در هنگام عبور از یک محیط مشخص گفته می شود. محوشدگی ممکن است با زمان، مکان و یا فرکانس تغییر کند و معمولاً به صورت یک فرایند تصادفی مدل می شود. کانال محوشده کانالی است که محوشدگی را تجربه می کند. در سیستم های بی سیم محوشدگی ممکن است مربوط به انتشار چندمسیری (محوشدگی چندمسیری) و یا در اثر سایه (موانعی که در انتشار موج اثر می گذارند) باشد.



شکل (۶): پروتکل TDMA [۳]

• پروتکل H-MAC<sup>۴</sup>

پروتکل H-MAC مربوط به ریتم ضربان قلب مبتنی بر پروتکل TDMA برای کاهش برخورد بسته های ارسالی و انرژی ارائه شده است. این پروتکل برای شبکه های سنسوری در کاربرد پزشکی یا برای ضربان قلب ارائه شده است؛ به ویژه اینکه نیازها و ویژگی های کاربرد پزشکی، از جمله امکان ارسال بهینه داده ها در زمان های مشخص، دریافت سریع رویدادها و در نظر داشتن ارسال بسته ها، امکان انطباق به تغییرات ناگهانی ترافیک و شرایط بحرانی، محدودیت های خاصی را بر پروتکل اعمال می کند که آن را از دیگر روش ها متمایز می سازد. برای هر گره حسگر، شکافی در نظر گرفته شده است و علاوه بر آن در صورت بروز مشکل به هر گره شکاف اضافی برای فرستادن بسته خود داده می شود. شکاف های ذخیره شده برای ارسال مجدد با توجه به

1. Collision Free  
2. media access control  
3. fading

4. Heart media access control

خواب بیدار کند ولی در هنگام اتفاق افتادن حوادث اضطراری این روش مناسب نیست. در شبکه‌های WBAN زمانی که شرایط بحرانی برای بیمار به وجود می‌آید، مسئله محو شدن کانال، امری بسیار مهم محسوب می‌شود. سیگنال‌های WBAN با جابه‌جایی و تغییر وضعیت مکرر بدن دچار محوشدگی می‌شوند. دلیل دیگر محو شدن سیگنال، جذب آن توسط بدن انسان است، پس باید پروتکل مورد استفاده دارای قابلیت اطمینان بالایی باشد. لذا در جدول (۱) به بررسی مسئله محوشدگی، در پروتکل‌های استفاده‌شده در حوزه سلامت پرداخته شد. پروتکل IEEE 802.15.04 و پروتکل‌های رقابتی به دلیل عدم کارایی، عدم قابلیت اطمینان و بهره‌وری، حل نکردن مسئله محو شدن کانال، مناسب برای این حوزه شناخته نشدند. تعدادی پروتکل MAC برای شبکه‌های پزشکی تاکنون ارائه شده‌اند که مهم‌ترین نیازهای آن‌ها قابلیت اطمینان، سطح کارایی بالا و تأخیر کم است. پروتکل TDMA به شدت نیازمند یک همزمان‌سازی دقیق است. الگوریتم‌های رقابتی مانند ALOHA و CSMA برای چند کاربرد شبکه‌های بی‌سیم معرفی شدند. این پروتکل‌ها به واحد کنترل مرکزی نیاز ندارند و کمترین تأخیر انتقال بسته‌ها را زمانی که تحت میزان بار کم یا نرمال هستند، ارائه می‌کنند. توان عملیاتی این پروتکل، زمانی که بار کاری زیاد است می‌تواند به شدت افت کند. پروتکل CSMA می‌تواند از مکانیزم عدم تصادم (CA) برای جلوگیری از تصادم بسته‌ها استفاده کند. این الگوریتم در استانداردهای IEEE802.11 و WPAN<sup>۱</sup>‌های مبتنی بر IEEE802.15.4 به کار گرفته شده است. این الگوریتم برای انتقال مطمئن در شبکه‌های سائز کوچک نظیر WBAN مناسب خواهد بود.

بر خلاف سایر کاربردهای شبکه‌های حسگر، در یک سیستم WBAN نیازی نیست که همه سیگنال‌های حسگرها پایش شوند. برای مثال ریتم تنفس هر یک ساعت گرفته می‌شود و یک پروتکل زمانبندی‌شده برای چنین سیگنالی مناسب خواهد بود.

درخواست حسگرها استفاده می‌شوند. در این پروتکل، پس از همزمانی بین فرستنده و گیرنده، از همزمانی مجدد برای ارسال و دریافت اطلاعات اجتناب می‌شود و این امر باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود [۱۲].

### ۳-۳-۲. پروتکل‌های ترکیبی

پروتکل‌های ترکیبی، ترکیبی از پروتکل‌های رقابتی و بدون رقابت هستند که یک نمونه آن پروتکل TaMAC است.

#### • پروتکل TaMAC

پروتکل TaMAC تلاش می‌کند تا مصرف انرژی را در شبکه‌های WBAN بهینه سازد و پس از بررسی پروتکل‌های موجود در WBAN، پروتکل TDMA را به‌عنوان بهترین پروتکل انتخاب کرده است. در آن برای همزمان‌سازی از پروتکل ALOHA و از اولویت‌بندی بین گره‌های حسگر استفاده شده است. علاوه بر این، برای کاهش انرژی از دو ساختار مبتنی بر رقابت و دوره بیکاری بهره می‌برد. زمانی که گره‌های موجود به رقابت با یکدیگر بر سر تصاحب رسانه مشترک می‌پردازند، در دوره رقابت یک گره حسگر، موفق به ارسال داده خود می‌شود. برای کاهش مصرف انرژی از روشن و خاموش کردن گره حسگر استفاده شده است در صورتی که این امر باعث تأخیر می‌شود [۲۳].

### ۳. مقایسه پروتکل‌ها

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)، حفظ انرژی مهم‌تر از بالا بردن پارامترهای کیفیت خدمت (QoS)<sup>۱</sup> مانند نرخ ارسال داده، زمان تأخیر و قابلیت اطمینان است [۲۴]، اما در شبکه‌های WBAN مطلوبیت این پارامترها بسیار ضروری است. گره‌های حسگر موجود در شبکه‌های WSN معمولاً ثابت هستند [۲۴]، در حالی که گره‌های حسگر در شبکه‌های WBAN با حرکت اشخاص همراه است. پروتکل‌های دسترسی به رسانه با تخصیص شکاف‌های ثابت نمی‌توانند جوابگوی ترافیک ناهمگن در شبکه باشند. سیگنال بیدارکننده<sup>۲</sup> می‌تواند گره‌ها را از

3. Collision avoidance  
4. Wireless personal area network

1. Quality of Service  
2. Wakeup

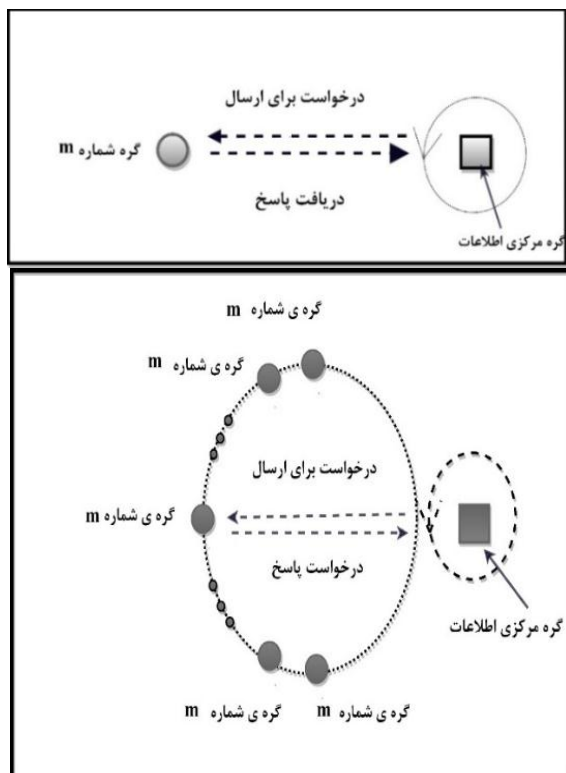


#### ۴. رویکرد پیشنهادی

##### ۴-۱. پروتکل عملکرد سرکشی

از آنجایی که در حوزه سلامت نیاز به پروتکلی است که مسئله تصادم بسته‌ها در کانال را پوشش دهد، در این مقاله، پروتکل دسترسی به زمانی TDMA همراه با پروتکل عملکرد سرکشی در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا آنچه حائز اهمیت است ارسال با کیفیت سرویس مناسب بسته‌های شبکه، برای داشتن ماینوتورینگ بهتر بیماران است [۴].

سرکشی گره حسگر در شبکه‌های WBAN در بخش مراقبت‌های ویژه امر مهمی محسوب می‌شود. پروتکل دسترسی به رسانه پیاده‌سازی شده با استفاده از سرکشی<sup>۱</sup> (توسط رئیس<sup>۲</sup>) و پروتکل TDMA در شبکه حسگر بی‌سیم، تصادم را از بین برده و همچنین قابلیت اطمینان و رسیدن بسته‌ها را افزایش داده است. نحوه عملکرد پروتکل پیشنهادی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): عملکرد پروتکل پیشنهادی

1. Polling
2. Master

جدول (۱): بررسی پروتکل‌های WBAN

IEEE 802.15.4			TDMA		
محو شدن	ترافیک	برخورد	محو شدن	ترافیک	برخورد
در نظر گرفتن محوشدگی	ترافیک محدود و مشکل زیاد کردن گره‌ها	تصادم زیاد و همزمان‌سازی سخت	ارسال مجدد در صورت گم شدن بسته	نامناسب برای ترافیک‌های بالا، مناسب برای هشدار	احتمال از دست رفتن بسته کم شده و در نتیجه گل‌رهی افزایش پیدا کرده است.
T-MAC			S-MAC		
محو شدن	ترافیک	برخورد	محو شدن	ترافیک	برخورد
در نظر گرفتن محوشدگی	مناسب برای شبکه با ترافیک زیاد با استفاده از درخواست دادن توسط گره	تصادم زیاد و همزمان‌سازی سخت	ارسال مجدد در صورت گم شدن بسته	نامناسب برای ترافیک‌های بالا	تصادم زیاد و همزمان‌سازی سخت
CDMA			FDMA		
محو شدن	ترافیک	برخورد	محو شدن	ترافیک	برخورد
ارسال مجدد در صورت محوشدگی	مناسب برای ترافیک‌های بالا	احتمال تصادم، نیاز به همزمان‌سازی ندارد	محوشدگی بالا	نامناسب برای ترافیک‌های بالا	احتمال تصادم بسیار، همزمان‌سازی سخت

معایب و مزایای سه پروتکل بدون رقابت TDMA،

CDMA و FDMA به شرح جدول (۲) است:

جدول (۲): مزایا و معایب پروتکل‌های بدون رقابت

معایب	مزایا	پروتکل
- کاهش سازگاری با تغییرات شبکه - نیاز به همزمان‌سازی برای بازه‌های زمانی	- بهره‌وری انرژی - فاقد تداخل - میزان تأخیر کم	TDMA
- نیاز به پهنای باند زیاد - تداخل با کانال‌های مجاور	- سادگی اجرا	FDMA
- مصرف زیاد انرژی - نیاز به همزمان‌سازی دقیق فرستنده و گیرنده در ارسال و دریافت	- بدون نیاز به همزمان‌سازی در کانال‌های مجاور	CDMA

صورتی که CRC<sup>۱۳</sup> (کد عیب‌یابی خطا) با فریم همخوانی نداشته باشد، فریم غیر معتبر شناخته می‌شود.

سناریویی که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، سرکشی گره‌های مورد نظر توسط گره مرکزی اطلاعات برای اندازه‌گیری دماست. آدرس لایه دسترسی به رسانه به تمامی گره‌های موجود در شبکه ارسال می‌شود. در آدرس لایه دسترسی به رسانه، گره مرکزی اطلاعات قرار داده شده است. پس تمامی گره‌های حسگر موجود در شبکه، فریم ارسالی توسط گره مرکزی اطلاعات را دریافت می‌کنند. در فریم ارسال شده، شناسه منحصر به فرد حسگر مورد نظر قرار داده می‌شود و تمامی گره‌ها با دریافت آن، اطلاعات موجود در فریم ارسالی را با شناسه حسگر خود مقایسه می‌کنند و در صورت برابر بودن شناسه موجود در فریم ارسالی توسط گره مرکزی اطلاعات، با شناسه خود حسگر، عمل اندازه‌گیری دما انجام می‌گیرد و اطلاعات به آدرس گره مرکزی اطلاعات ارسال می‌شود. در صورت فعال بودن تأییدیه، سلامت فریمی که از گره مرکزی اطلاعات به گره حسگر مورد نظر می‌رسد، تضمین می‌شود. همان طور که در شکل (۷) نشان داده شده، سرکشی، ارسال اطلاعات و دریافت تأییدیه با استفاده از پروتکل تقسیم زمانی پیاده‌سازی شده است. در پروتکل پیشنهادی، هر گره حسگر در یک زمان مشخصی می‌تواند از کانال استفاده کند و داده‌های خود را ارسال کند. از این رو عدالت بین گره‌ها رعایت می‌شود و به هر گره حسگر، اجازه برای دسترسی به کانال داده می‌شود.

در ادامه شبه‌کد (الگوریتم کاری برای ۷ گره متصل به بیمار) و فلوچارت روش پیشنهادی (شکل (۸)) بررسی شده است.

#### ۲-۴. معیارهای کارایی در پیاده‌سازی

گذردهی طبق فرمول ۱ محاسبه می‌شود [۲۲]:

$$\text{Throughput} = \frac{\mu}{t} \quad (۱)$$

در این رابطه،  $\mu$  تعداد بیت‌های دریافت شده در  $t$  واحد زمان است. برای کل شبکه برابر با میانگین گذردهی کل گره‌ها

13. Cyclic redundancy check

جدول (۳): قالب فریم ارسالی در پروتکل پیشنهادی

فریم ارسالی						
کد تشخیص خطا	تأییدیه	بخش کنترلی بسته	بخش داده	آدرس مبدأ	آدرس گروهی مقصد	سرآغاز

جدول (۳) فریم ارسالی ارائه شده در پروتکل پیشنهادی را نشان می‌دهد که شامل بخش‌های سرآغاز<sup>۱</sup>، آدرس مقصد<sup>۲</sup>، آدرس مبدأ<sup>۳</sup>، بخش کنترلی فریم<sup>۴</sup>، بخش مربوط به اطلاعات<sup>۵</sup> و بخش مربوط به تشخیص خطا<sup>۶</sup> است؛ میکروکنترلر<sup>۷</sup> که بخش پردازشی گره حسگر است می‌تواند مقادیر مربوط به فریم را تغییر داده و آن‌ها را در حالت فعال<sup>۸</sup> یا غیرفعال<sup>۹</sup> قرار دهد. گره مرکزی اطلاعات، گرهی است که به کامپیوتر متصل شده و وظیفه سرکشی گره‌های حسگر و اطلاعات ارسالی آن‌ها را بر عهده دارد. بیت‌های سرآغاز، در قسمت اول فریم برای همزمان‌سازی<sup>۱۰</sup> بین گره مرکزی اطلاعات و گره‌های حسگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقصود از آدرس گیرنده، آدرس گره حسگری است که فریم حاوی اطلاعات به آن ارسال می‌شود. آدرس منبع، نشان‌دهنده آدرس فرستنده فریم است؛ در بخش کنترل بسته<sup>۱۱</sup>، مشخص می‌شود طول بخش اطلاعات چند بیت است و در صورتی که نیاز به تأییدیه<sup>۱۲</sup> است، با استفاده از میکروکنترلر این قسمت فعال می‌شود. منظور از داده در این فریم (جدول (۳))، قسمتی است که اطلاعات دریافتی از حسگر (داده‌های مربوط به حسگر) در این بخش قرار می‌گیرد. بخش کد تشخیص خطا در انتهای فریم، وظیفه درست بودن فریم را بر عهده دارد. در صورتی که تشخیص خطا توسط میکروکنترلر فعال باشد، معتبر بودن فریم بررسی می‌شود و در

1. Preamble
2. Destination address
3. Source address
4. Packet control field
5. payload
6. CRC
7. Microcontroller
8. Enable
9. Disable
10. Synchronisation
11. Packet control field
12. Acknowledgement

خواهد بود.

تأخیر انتها به انتها، طبق فرمول (۲) محاسبه می‌شود:

$$D = T_d - T_s \quad (2)$$

در این رابطه،  $D$  زمان تأخیر یک بسته،  $T_d$  زمان دریافت بسته در مقصد و  $T_s$  زمان ارسال بسته در مبدأ است.

نرخ تحویل داده، طبق فرمول (۳) محاسبه می‌شود:

$$PDR = \frac{Receive\_Pckt}{Sent\_pckt} \quad (3)$$

انرژی مصرفی گره‌ها، طبق فرمول (۴) محاسبه می‌شود:

$$Node_{RemEng} = Node_{RemEng} - (E_{tx} \times N_t + E_{rx} \times N_r + E_{ix} + E_{sx}) \quad (4)$$

در این رابطه،  $E_{tx}$  انرژی مصرفی برای ارسال بسته،  $E_{rx}$  انرژی مصرفی برای دریافت بسته،  $E_{ix}$  انرژی مصرفی اولیه،  $E_{sx}$  انرژی مصرفی تجمعی گره‌ها و  $N$  تعداد گره‌ها می‌باشد.

#### شبه‌کد روش پیشنهادی

۱. شروع

۲.  $A, B, C, D, E, F$  را بگیر {۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶}

۳. فریم = {سرآغاز، آدرس مقصد، آدرس فرستنده، تأییدیه، کد تشخیص خطا}

۴. سرآغاز=۰،

تأییدیه=۰،

کد تشخیص خطا=۰،

آدرس فرستنده=۱

۵. آدرس مقصد را بگیر

۶. اگر آدرس فرستنده=۱

۷.  $J=2$  اندیس گره‌ها

۸. فریم را ارسال کن به  $J$  و  $J=J+1$

۹. اگر  $J < 7$  بود برو به مرحله ۸

۱۰. در پالس یک ثانیه انجام بده

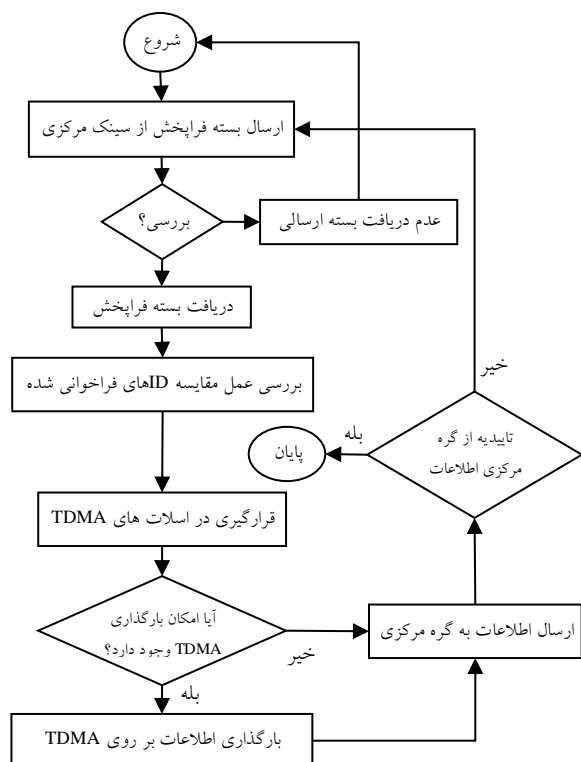
۱۱. اگر  $J=$  آدرس مقصد بود پس داده را بگیر در غیر این

صورت  $J=J-1$  و اگر  $J > 1$  برو به مرحله ۱۰

۱۲. آدرس فرستنده= $J$  و آدرس مقصد=۱

۱۳. فریم را ارسال کن (به گره مرکزی)

۱۴. پایان



شکل (۸): فلوجارت یک فریم ارسالی در پروتکل پیشنهادی

سناریویی که برای بررسی دقت و سرعت در نظر گرفته

شده است طبق فرمول (۵) محاسبه می‌شود [۲۶]:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

$$Accuracy = \frac{TP}{TP + FP + TN + FN}$$

هریک از عناصر ماتریس به شرح زیر است:

TN: بیانگر تعداد رکوردهایی که دسته واقعی آن‌ها منفی

بوده و سیستم پیشنهادی نیز توانسته به درستی این دسته را شناسایی کند.

TP: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آن‌ها

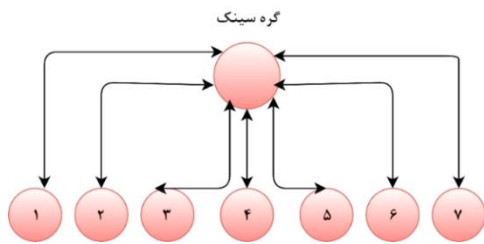
مثبت بوده و الگوریتم پیشنهادی نیز این دسته را به درستی مثبت تشخیص داده است.

FP: بیانگر تعداد رکوردهایی است که در داده‌های واقعی

دسته آن‌ها منفی بوده اما الگوریتم پیشنهادی به اشتباه آن را مثبت تشخیص داده است.

FN: بیانگر تعداد رکوردهایی است که داده‌های واقعی آن‌ها

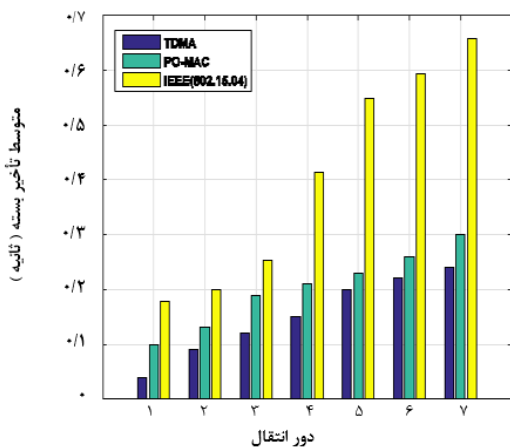
مثبت بوده اما الگوریتم پیشنهادی این رکورد را در دسته منفی قرار داده است.



شکل (۹): محیط شبیه‌سازی

### ۱-۵. محاسبه تأخیر

در این بخش، به محاسبه تأخیر برای ارسال بسته از گره حسگر به گره مرکزی اطلاعات، برای پروتکل پیاده‌سازی شده پرداخته می‌شود. همان طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، وجود دوره‌های متفاوت در پروتکل IEEE802.15.4 نشان‌دهنده تأخیر بالای این پروتکل است. پروتکل IEEE802.15.4 با استفاده از روش دست‌تکانی سه‌مرحله‌ای (ارسال درخواست<sup>۱</sup>)، ارسال دریافت<sup>۲</sup>، دوره DIFS<sup>۳</sup>، دوره SIFS<sup>۴</sup>، دریافت Ack (... تضمین ارسال بسته را در نظر می‌گیرد. از طرفی زمان نسبتاً زیادی را صرف می‌کند. از آنجا که پروتکل TDMA دارای بازه با اسلات زمانی مشخص است تأخیر خوبی را دارد. پروتکل PO-MAC به دلیل استفاده از فراخوانی داده، دارای تأخیر بیشتری نسبت به پروتکل TDMA است.



شکل (۱۰): میانگین تأخیر ارسال بسته برحسب تعداد گام‌ها

با بررسی راندهای متفاوت در شبیه‌سازی (تعداد تکرارها) و بررسی نتایج تغییر میزان بهبود در الگوریتم پیشنهادی نسبت

1. Request to send
2. Clear to Send
3. Distributed Inter-Frame Space
4. Short Inter-Frame Space

### ۵. معماری سیستم یکپارچه ارسال و دریافت اطلاعات در بستر IOT بر اساس محاسبات پروتکل دسترسی به رسانه پیشنهادی

لایه دسترسی به رسانه برای بالا بردن قابلیت اطمینان و گذردهی مناسب برای شبکه حسگر بی‌سیم جهت مانیتورینگ برخظ در سطح اینترنت اشیا بهره‌برداری شده است. اطلاعات به دست آمده با گذردهی بالا توسط گره مرکزی اطلاعات که به شبکه IOT متصل است منتقل می‌شود. محاسبه پردازش داده‌ها و قابلیت اطمینان بالا از مزایای استفاده پروتکل دسترسی به رسانه پیشنهادی است.

پارامترهای این شبیه‌سازی در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

جدول (۴): پارامترهای شبیه‌سازی

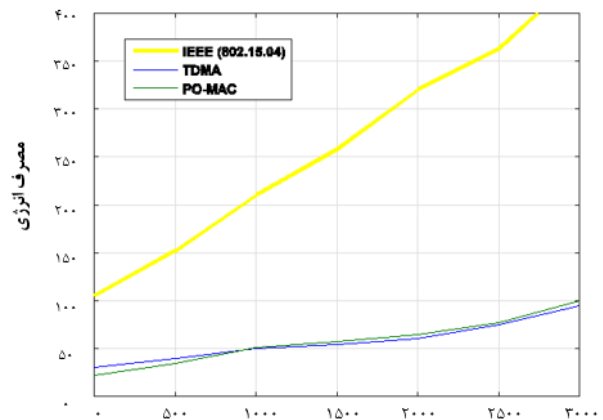
پارامترهای شبیه‌سازی در نرم‌افزار NS2	
پهنای باند رادیو	100 Kbps
رنج ارسال رادیو	10 m
رنج محدوده تداخل	5 m
طول بسته	32 Byte
انرژی مصرفی برای ارسال	0.66 w
انرژی مصرفی برای دریافت	0.395 w
انرژی مصرفی برای حالت بیکاری	0.35 w
انرژی مصرفی برای حالت خواب	0 w
طول آنتن	1.5 cm

فرض شده است که تأخیر انتشار در لینک رادیویی صفر است و خطای انتقال وجود ندارد. مدل مصرف انرژی به صورت ۰/۳۵ وات در هنگام گوش دادن اضافی، ۰/۳۹۵ وات در هنگام دریافت داده و ۰/۶۶ وات در هنگام ارسال یک بسته داده می‌باشد. انرژی مصرفی گره در هنگام خواب، صفر در نظر گرفته می‌شود. شبیه‌سازی روی یک زنجیره ۷ گامی از گره‌های هوشمند انجام شد. در این توپولوژی، ۷ گره هوشمند در یک راستا قرار دارند که گره شماره صفر گره سینک در نظر گرفته شده است. فاصله هر دو گره هوشمند مجاور هم، ۲ متر و فاصله آن‌ها از سینک ۸ متر و قدرت ارسال هر گره ۱۰ متر است؛ شکل (۹) نمایی از توپولوژی این شبکه را نشان می‌دهد.

به روش IEEE802.15.4، ۲۳/۶۷ درصد و نسبت به روش TDMA، ۶ درصد افت داشته است.

### ۲-۵. محاسبه انرژی

در این بخش به محاسبه انرژی ارسال بسته از گره حسگر به گره مرکزی اطلاعات، برای پروتکل پیاده‌سازی شده پرداخته می‌شود. مقایسه انرژی مصرفی بر حسب تعداد گام‌ها از میان پروتکل‌های پیشین با پروتکل پیشنهادی در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



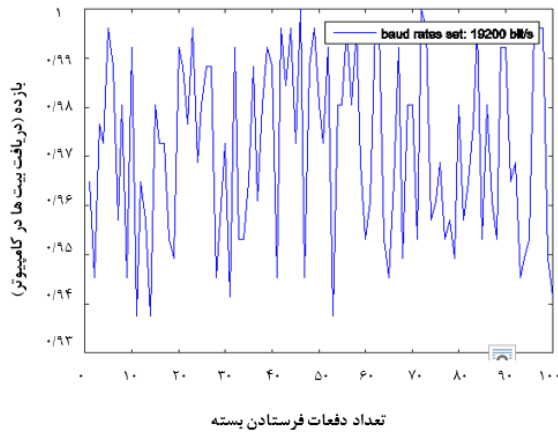
دور انتقال

شکل (۱۱): انرژی مصرفی کل بر حسب تعداد گام‌ها در شبکه

گره‌هایی که با پروتکل IEEE802.15.4 در شبکه فعالیت می‌کنند، به دلیل فعال بودن دائمی گره‌ها و گوش دادن اضافی در زمانی که کانال بیکار است، انرژی بسیار زیادی را هدر می‌دهند. با توجه به زیرساخت پروتکل TDMA که در اسلات‌های زمانی مشخص به گره‌ها دسترسی به کانال می‌دهد، انرژی مصرفی این پروتکل و پروتکل پیشنهادی PO-MAC تقریباً با هم برابر هستند؛ زیرا پروتکل پیشنهادی بر پایه پروتکل TDMA کار می‌کند با این تفاوت که علاوه بر آن از عملیات فراخوانی در بازه‌های زمانی مشخص استفاده می‌نماید. با بررسی راندهای متفاوت در شبیه‌سازی یا به عبارتی تعداد تکرارها و بررسی نتایج تغییر میزان بهبود در الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش IEEE802.15.4، ۲۷/۱۲ درصد و نسبت به روش TDMA، ۲ درصد افت داشته است.

### ۳-۵. محاسبه توان گذردهی

برای محاسبه توان گذردهی پروتکل PO-MAC، در بخش مربوط به گره حسگر، یک شمارنده تنظیم شده است که به تعداد ۱۰۰ بار، ۲۵۶ بیت را با نرخ داده ۱۹۲۰۰ بیت بر ثانیه ارسال می‌کند. سپس تعداد بیت‌های دریافتی در گره مرکزی اطلاعات مشاهده می‌شود.

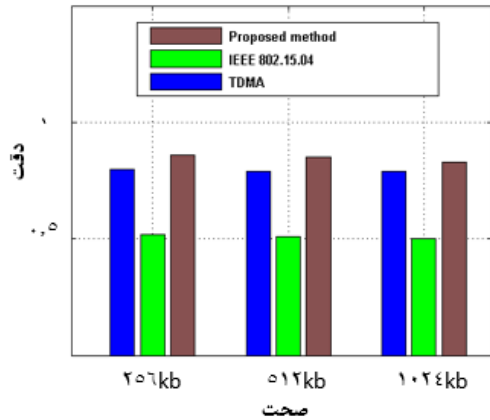


شکل (۱۲): تعداد بیت‌های ارسالی توسط گره و تعداد بیت‌های رسیده به گره مرکزی

شکل (۱۲) نمودار رسیدن بسته‌های ارسالی توسط گره حسگر (دریافت بیت‌ها در مقصد از ۲۵۶ بیت ارسالی توسط گره حسگر) و دریافت آن‌ها توسط گره دریافت‌کننده مرکزی اطلاعات را نشان می‌دهد. تعداد بیت‌های ارسالی مشخص (تعداد ۲۵۶ بیت) از گره فرستنده و تعداد بیت‌های دریافتی بدون خطا در گیرنده در برابر کل بیت‌های ارسالی در یک بار ارسال، توان گذردهی شناخته می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۱۳) نشان داده شده است، توان گذردهی پروتکل پیشنهادی با افزایش نرخ داده، افزایش یافته است. پروتکل TDMA با تقسیم زمان و اختصاص دادن اسلات‌های زمانی به گره‌های حسگر، در نرخ داده بالا خوب عمل نمی‌کند؛ زیرا با بالا رفتن سرعت عمل همزمان‌سازی از بین رفته و دقت ارسال و دریافت کاهش می‌یابد. پروتکل IEEE802.15.4 حاوی بسته تأییدیه و از روش دست‌تکانی استفاده می‌کند و این عمل باعث شده است تا توان عملیاتی آن افزایش یابد. پروتکل PO-MAC نیز از ترکیب دو پروتکل

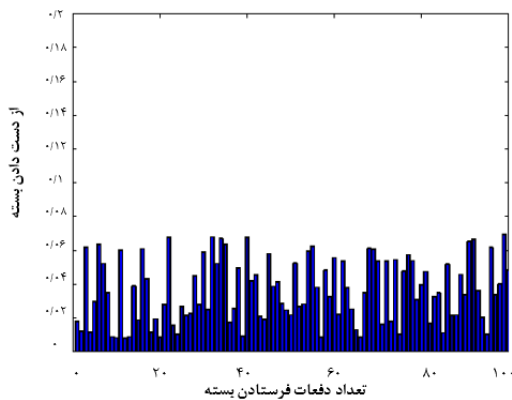
نرخ داده بالا خوب عمل نمی‌کند. چرا که با بالا رفتن سرعت عمل همزمان‌سازی از بین رفته و دقت ارسال و دریافت کاهش می‌یابد. مقایسه این عملیات با یکدیگر در نتایج ارائه‌شده، صحت کار و خروجی مناسب در نرخ داده ۲۵۶، ۵۱۲ و ۱۰۲۴ کیلوبیت بر ثانیه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): محاسبه دقت و سرعت

#### ۵-۵. محاسبه بسته‌های ازدست‌رفته

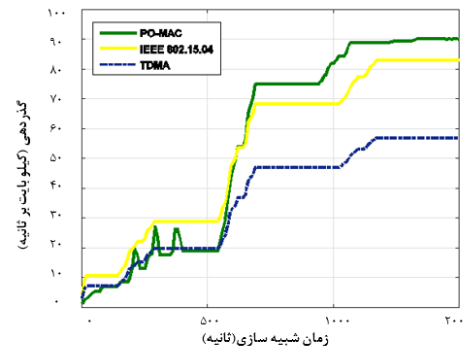
بسته‌های ازدست‌رفته<sup>۱</sup> با در نظر داشتن تعداد بسته‌هایی که در هر راند شبیه‌سازی از بین رفته‌اند در نظر گرفته شده‌اند. برای به دست آوردن بسته‌های ازدست‌رفته ابتدا یک شمارنده برای ارسال بسته‌ها بین فرستنده و گیرنده در نظر گرفته شده است، سپس با هر بار ارسال بررسی شده است که چه تعداد بسته به سلامت رسیده و چه مقدار از بین رفته است و همان طور که در شکل (۱۵) نشان داده شده، بسته‌های ازدست‌رفته به‌ازای تعداد راند شبیه‌سازی، نمایش داده شده است.



شکل (۱۵): بسته‌های ازدست‌رفته

فراخوانی و TDMA استفاده می‌کند. پروتکل فراخوانی عمل همزمان‌سازی را بین گره حسگر و گره مرکزی اطلاعات انجام می‌دهد و پروتکل TDMA اسلات‌های مشخصی را برای هر گره مشخص می‌کند. مقایسه این عملیات با یکدیگر در نتایج ارائه‌شده، صحت کار و خروجی مناسب در نرخ داده ۱۰۰ کیلوبیت بر ثانیه را نشان می‌دهد.

با بررسی راندهای متفاوت در شبیه‌سازی (تعداد تکرارها) و بررسی نتایج تغییر میزان بهبود در الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش IEEE802.15.4، ۲۷/۱۲ درصد و نسبت به روش TDMA ۲ درصد افت داشته است.



شکل (۱۳): زمان گذردهی بر حسب نرخ داده در زمان

#### ۴-۵. محاسبه دقت و سرعت

طراحی و شبیه‌سازی پروتکل دسترسی به رسانه شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر اینترنت اشیا با کاربرد پزشکی دارای نرخ گذردهی بالا، دقت و سرعت از اهداف این مقاله است. در بخش قبل به بررسی گذردهی پرداخته شد. در اینجا به بررسی سرعت و دقت پرداخته می‌شود.

با ارسال داده‌های پزشکی در سرعت‌های متفاوت، بررسی دقت صورت گرفته است. ارائه یک پروتکل دسترسی به رسانه به‌منظور دستیابی به QoS مورد نظر که شامل توزیع منصفانه، سرعت اعلان خطر و از دست ندادن هشدار است، موارد ارائه‌شده را پوشش می‌دهد.

همان طور که در

شکل (۱۴) نشان داده شده است، دقت پروتکل پیشنهادی با افزایش نرخ داده، افزایش یافته است. پروتکل TDMA با تقسیم زمان و اختصاص دادن اسلات‌های زمانی به گره‌های حسگر، در

## ۷. پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

آنچه به‌منظور بهبود کیفیت سرویس مورد بررسی قرار گرفت پارامترهایی از قبیل مصرف انرژی، میزان تأخیر و افزایش گذردهی بسته‌ها، میزان دقت و صحت در شبکه‌های بی‌سیم بدنی بود که پس از ارزیابی این پارامترها میزان بهبودی الگوریتم پیشنهادی بررسی شد و حال با بیان چند مورد از پیشنهادهایی که در این زمینه مناسب است، این مقاله به پایان می‌رسد.

۱. به‌منظور کارهای آتی می‌توان بحث ترافیک را در پروتکل پیشنهادی بررسی و با سایر پروتکل‌های این حوزه مقایسه کرد.

۲. به‌عنوان یکی از کارها می‌توان این پروتکل را به‌صورت سخت‌افزاری پیاده‌سازی کرده و جوانب مختلف آن را بررسی نمود.

## ۶. خلاصه نتایج حاصل و بررسی پروتکل PO-MAC

در این مقاله، پروتکل جدیدی برای کنترل دسترسی به رسانه با نام PO-MAC ارائه شده است که در آن برخی از پارامترهای کیفیت سرویس بهبود داده شد. این پروتکل بهینه‌شده با استفاده از زیرساخت پروتکل TDMA در هر سیکل کاری یکسان، از بازه‌های مجزا استفاده کرده و عمل فراخوانی را انجام می‌دهد.

برای ارزیابی پروتکل پیشنهادی مقادیر توان گذردهی، مصرف انرژی و میزان تأخیر با دو پروتکل معروف این حوزه مقایسه شد. میزان بهبودی الگوریتم پیشنهادی در زمینه تأخیر ۲۳/۶۷ درصد نسبت به روش IEEE802.15.4 و ۶ درصد افت نسبت به روش TDMA، و در زمینه انرژی ۲۷/۱۲ درصد بهبود و ۲ درصد افت و در زمینه گذردهی نسبت به IEEE802.15.4، ۱۰ درصد بهبود و نسبت به TDMA ۲۴/۵۶ بهبود داشته است.

## مراجع

- [1] S. Gaglio and G. L. Re, *Advances onto the Internet of Things* vol. 260: Springer, 2014.
- [2] R. GK and K. Baskaran, "A survey on futuristic health care system: WBANs", *Procedia Engineering*, vol. 30, pp. 889-896, 2012.
- [3] B. Liu, Z. Yan, and C. W. Chen, "MAC protocol in wireless body area networks for E-health: Challenges and a context-aware design", *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, pp. 64-72, 2013.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, pp. 2347-2376, 2015.
- [5] Y. Yuehong, Y. Zeng, X. Chen, and Y. Fan, "The internet of things in healthcare: An overview", *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 1, pp. 3-13, 2016.
- [6] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities", *IEEE Internet of Things journal*, vol. 1, pp. 22-32, 2014.
- [7] A. A. Ahmed, H. Shi, and Y. Shang, "A survey on network protocols for wireless sensor networks", in *Information Technology: Research and Education, 2003. Proceedings. ITRE2003. International Conference on*, 2003, pp. 301-305.
- [8] T. Gao, D. Greenspan, M. Welsh, R. R. Juang, and A. Alm, "Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network", in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, 2006, pp. 102-105.
- [9] C. Chan, C. Poon, R. C. Wong, and Y. Zhang, "A hybrid body sensor network for continuous and long-term measurement of arterial blood pressure", in *Medical Devices and Biosensors, 2007. ISSS-MDBS 2007. 4th IEEE/EMBS International Summer School and Symposium on*, 2007, pp. 121-123.
- [10] S. Bhandari and S. Moh, "A priority-based adaptive MAC protocol for wireless body area networks", *Sensors*, vol. 16, p. 401, 2016.
- [11] Z. Khan, M. B. Rasheed, N. Javaid, and B. Robertson, "Effect of packet inter-arrival time on the energy consumption of beacon enabled MAC protocol for body area networks", *Procedia Computer Science*, vol. 32, pp. 579-586, 2014.
- [12] M. A. Hussain, M. N. Alam, and K. S. Kwak, "Directional MAC approach for wireless body area networks", *Sensors*, vol. 11, pp. 771-784, 2011.
- [13] L. Kynsijärvi, L. Goratti, R. Tesi, J. Iinatti, and M. Hämmäläinen, "Design and performance of contention based MAC protocols in WBAN for medical ICT using IR-UWB", in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops), 2010 IEEE 21st International Symposium on*, 2010, pp. 107-111.

- [14] S. Ullah, D. Kwak, C. Lee, H. Lee, and K. S. Kwak, "Numerical analysis of CSMA/CA for pattern-based WBAN system", in *Biomedical Engineering and Informatics, 2009. BMEI'09. 2nd International Conference on*, 2009, pp. 1-3.
- [15] A. R. Ansari and S. Cho, "Human body: The future communication channel for WBAN", in *Consumer Electronics (ISCE 2014), The 18th IEEE International Symposium on*, 2014, pp. 1-3.
- [16] Z. M. K. K. Zamanifar, "A Novel Protocol in Media Access Control for Wireless Body Area Network", *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND NETWORK SECURITY*, vol. 17, pp. 301-305, 2017.
- [17] K. S. Kwak, M. Ameen, D. Kwak, C. Lee, and H. Lee, "A study on proposed IEEE 802.15 WBAN MAC protocols", in *Communications and Information Technology, 2009. ISCIT 2009. 9th International Symposium on*, 2009, pp. 834-840.
- [18] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", in *Proceedings. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, 2002, pp. 1567-1576.
- [19] V. Rajendran, J. Garcia-Luna-Avecas, and K. Obraczka, "Energy-efficient, application-aware medium access for sensor networks", in *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005.*, 2005, pp. 8 pp.-630.
- [20] B. Latre, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, E. Reusens, W. Joseph, *et al.*, "A low-delay protocol for multihop wireless body area networks", in *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2007. MobiQuitous 2007. Fourth Annual International Conference on*, 2007, pp. 1-8.
- [21] M. A. Hussain, N. Alam, S. Ullah, N. Ullah, and K. S. Kwak, "TDMA based directional MAC for WBAN", in *Networked Computing (INC), 2010 6th International Conference on*, 2010, pp. 1-5.
- [22] N. Javaid, I. Israr, M. A. Khan, A. Javaid, S. H. Bouk, and Z. Khan, "Analyzing medium access techniques in wireless body area networks", *arXiv preprint arXiv:1304.1047*, 2013.
- [23] S. Ullah and K. S. Kwak, "An ultra low-power and traffic-adaptive medium access control protocol for wireless body area network", *Journal of medical systems*, vol. 36, pp. 1021-1030, 2012.
- [24] D. Todolí-Ferrandis, J. Silvestre-Blanes, S. Santonja-Climent, V. Sempere-Paya, and J. Vera-Pérez, "Deploy&Forget wireless sensor networks for itinerant applications", *Computer Standards & Interfaces*, vol. 56, pp. 27-40, 2018.
- [25] S. J. Marinkovic, E. M. Popovici, C. Spagnol, S. Faul, and W. P. Marnane, "Energy-efficient low duty cycle MAC protocol for wireless body area networks", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 13, pp. 915-925, 2009.
- [26] E. Fernandez-Moral, R. Martins, D. Wolf, and P. Rives, "A new metric for evaluating semantic segmentation: leveraging global and contour accuracy", in *Workshop on Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles, PPNIV17*, 2017.
- [27] M. Keyser, K. Phillips, J. Carville, T. Schwei, D. Nash, J. Stieren, *et al.*, "A Next-Gen Sequencing Software Workflow for Gene Panel Validation Control".