

یک پروتکل مسیریابی چندپرشه با زمان بندی پویا برای بهره‌وری انرژی در شبکه‌های بی‌سیم بدنی

طاهره سعادت تاج‌الدین^۱، سید امین حسینی سنو^۲

^۱دانشگاه فردوسی مشهد، tahereh.saadat@mail.um.ac.ir

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، hosseini@um.ac.ir

چکیده - شبکه‌های بی‌سیم بدنی به دلیل محدودیت در منابعی چون انرژی با چالش‌هایی روبه‌رو هستند که برای افزایش کارایی این شبکه‌ها باید به این چالش‌ها پاسخ داده شود. مهم‌ترین این چالش‌ها انرژی است. ما در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی برای WBAN ارائه کرده‌ایم که در هر دور با استفاده از یک تابع هزینه، گره‌ای با بیشترین انرژی باقیمانده و کمترین فاصله تا سینک را به عنوان رله انتخاب می‌کند تا بقیه گره‌ها از طریق آن داده‌های خود را به سینک بفرستند. همچنین برای بهره‌وری بیشتر انرژی از زمان بندی پویا استفاده کرده‌ایم به این ترتیب که در ابتدای راه‌اندازی شبکه که انرژی همه گره‌ها بالا است از دوره‌های طولانی‌تری نسبت به زمانی که انرژی کل شبکه کمتر است، استفاده می‌کنیم. این کار موجب کاهش سربار انتخاب رله در هر دور و ذخیره سازی بیشتر انرژی می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های مسیریابی موجود عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است و موجب افزایش چند برابری زمان پایداری و طول عمر شبکه، افزایش ۱۰۴ برابری گذردهی و تعداد بسته دریافتی در سینک، افزایش ۰٫۷۵ برابری انرژی باقیمانده گره، همچنین کاهش ۲۰ درصدی گم‌شدگی بسته شده است.

کلیدواژه - الگوریتم مسیریابی، بهره‌وری انرژی، چندپرشه، زمان بندی پویا، شبکه‌های بی‌سیم بدنی

۱- مقدمه

چگونگی برقراری تعادل در مصرف انرژی میان حسگرها به هدف افزایش زمان پایداری و طول عمر شبکه است [۱-۵]. از سوی دیگر کاهش انرژی و دریافت از روش‌های کارا برای افزایش طول عمر شبکه است، از این رو لازم است که پروتکل دسترسی به رسانه نیز بهره‌ور انرژی باشد. چگونگی استفاده از مکانیزم‌های خواب/بیداری و زمان بندی پویا یکی دیگر از مسائلی است که برای بهره‌وری انرژی باید مورد توجه قرار گیرد [۱].

از دیگر چالش‌های WBAN تحمل پذیری خطا و نحوه مقابله با خرابی گره و افت مسیر در اثر میرایی سیگنال رادیویی و جذب آن توسط بافت بدن است که برای کارایی بیشتر WBAN باید مدنظر قرار بگیرد [۳]. مهم‌ترین کاربرد WBAN در سیستم‌های نظارت بر سلامتی است در نتیجه اطلاعات محرمانه افراد در آن رد و بدل می‌شوند از این رو امنیت یکی دیگر از چالش‌های آن است [۳]. کیفیت سرویس از جمله مواردی است که در WBAN باید به آن توجه داشت زیرا لازم است که اطلاعات به صورت بلادرنگ و با حداقل تأخیر به مقصد برسند تا زندگی فرد به خطر نیفتد [۳]. حرکت غیر قابل پیش‌بینی بدن و به دنبال آن تغییرات پیاپی توپولوژی شبکه از دیگر چالش‌های مسیریابی WBAN است که

امروزه با افزایش جمعیت و بالا بودن هزینه‌های مراقبت پزشکی، به روش‌های مدرن برای مراقبت از سلامتی مورد نیاز است که شبکه‌های بی‌سیم بدنی با توجه به نظارت مداوم و هزینه کم راه‌اندازی، یک راه‌حل مناسب می‌باشد. شبکه‌های بی‌سیم بدنی (WBAN) یک نوع خاص از شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) است که از حسگرهای بی‌سیم درون/رو اطراف بدن انسان برای اندازه‌گیری پارامترهای بیولوژیکی مانند ضربان قلب، فشارخون، دمای بدن، قند خون و غیره، استفاده می‌کند و با ارسال آن‌ها به مراکز درمانی راه دور امکان معاینه و درمان از راه دور را فراهم می‌کند [۱].

با بررسی چالش‌های موجود در WBAN پی بردیم که مهم‌ترین چالش این شبکه‌ها انرژی است، زیرا انرژی حسگرهای بی‌سیم، به‌ویژه حسگرهای کاشتنی که قابلیت شارژ مجدد ندارند، محدود است. در نتیجه مهم‌ترین مسائلی که باید به آن‌ها پاسخ داده شود بهره‌وری انرژی، روش‌های ذخیره‌سازی انرژی و

در طراحی الگوریتم مسیریابی باید به آن نیز توجه کرد [۱، ۳]. از موضوعات مهمی که در انتقال اطلاعات اطراف و داخل بدن انسان باید در نظر گرفته شود، تأثیرات حرارتی آن بر بدن انسان است، ارسال و دریافت امواج توسط حسگرها گرما ایجاد می‌کند که اگر از یک حدی بیشتر شود به بافت بدن آسیب می‌رساند در نتیجه میزان افزایش دمای حسگرها باید کنترل شود [۱، ۳، ۵-۱۱].

همان‌طور که قبلاً گفته شد، انرژی در شبکه‌های بی‌سیم بدنی از اهمیت بالایی برخوردار است در نتیجه بهره‌وری انرژی در این شبکه‌ها بسیار مهم است [۱]. در مقالات مطالعه شده از راهکارهای متفاوتی برای حصول این هدف استفاده شده است که از جمله آن‌ها به استفاده از توپولوژی چندپرشه [۳] و خوشه‌بندی که منجر به ارسال بسته داده با سطح انرژی کمتر می‌شود، می‌توان اشاره کرد، راهی دیگر تمرکز بر کنترل دسترسی به رسانه و بهره‌وری انرژی با زمان‌بندی بهتر برای دسترسی به رسانه [۱] است. ما در این مقاله از توپولوژی چندپرشه و زمان‌بندی پویا به طریق دیگری استفاده می‌کنیم یعنی به جای استفاده از دوره‌های با طول ثابت از دوره‌های پویا با طول متفاوت، استفاده می‌کنیم. در نتیجه یک پروتکل مسیریابی چندپرشه با زمان‌بندی پویا به هدف بهره‌وری بیشتر انرژی برای شبکه‌های بی‌سیم بدنی ارائه می‌دهیم که در هر دور از یک تابع هزینه برای انتخاب رله‌ای با بیشترین انرژی باقیمانده و کمترین فاصله تا سینک، جهت دستیابی به قابلیت اطمینان و بازدهی بالا، استفاده می‌کند.

ادامه مقاله بدین صورت است که در بخش دوم برای تسلط بیشتر بر موضوع به بررسی کارهای پیشین می‌پردازیم. در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی را به‌طور کامل شرح می‌دهیم. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی و مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم iM-SIMPLE را تحلیل کرده و در بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- کارهای پیشین

وتین و همکاران در [۱۲] Anybody را ارائه کرده‌اند که یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه است و شامل پنج مرحله کشف همسایه با ارسال پیام سلام، محاسبه تراکم گره‌ها با استفاده از جداول همسایگی، اتصال خوشه که در آن گره‌هایی با بالاترین تراکم به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند، تنظیم ستون فقرات و تنظیم مسیرهای مسیریابی به روش سلسله‌مراتبی برای ارسال بسته‌های داده گره‌ها به سینک است.

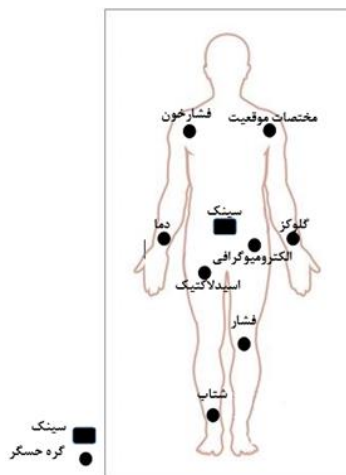
رزاق و همکاران در [۱۳] پروتکل ماژولاری بر اساس کیفیت

سرویس (DMQOS) ارائه کرده‌اند که در آن ماژول‌های مختلف با یکدیگر همکاری می‌کنند تا سرویس‌های QOS مختلف را فراهم کنند. ماژول طبقه‌بندی کننده این پروتکل، بسته‌های داده را به چهار دسته عادی، مهم، مبتنی بر تأخیر و مبتنی بر قابلیت اطمینان تقسیم می‌کند. بسته‌های حساس به تأخیر و حساس به قابلیت اطمینان، به‌صورت جداگانه با اجرای ماژول‌های مستقل مسیریابی می‌شوند. برای مسیریابی بسته‌های حیاتی با محدودیت تأخیر و قابلیت اطمینان، ماژول‌ها باهم همکاری می‌کنند تا سرویس موردنیاز را تضمین کنند. ماژول کنترل تأخیر مسیر، مسیرهایی با تأخیر کمتر را پیدا می‌کند. ماژول کنترل قابلیت اطمینان مسیرهایی با قابلیت اطمینان بالاتر را پیدا می‌کند.

عباسی و همکاران در [۱۴] یک پروتکل میان لایه‌ای فرصت‌طلب میان لایه‌های MAC و مسیریابی (COMR) ارائه کرده‌اند که با استفاده از رویکرد مبتنی بر زمان سنج برای انتخاب رله، باعث بهبود قابلیت اطمینان می‌شود. مقدار زمان سنج به قدرت سیگنال دریافتی و انرژی باقیمانده بستگی دارد. رله انتخاب‌شده دارای بالاترین انرژی باقیمانده و کمترین فاصله در مقایسه با دیگر گره‌ها است. در این پروتکل هر گره حسگر می‌تواند به‌عنوان رله نیز عمل کند. این پروتکل از مکانیزم handshake برای ارسال داده و دریافت تأییدیه استفاده می‌کند. جواد و همکارانش در [۱۵] پروتکل آگاه از حرکتی (iM-SIMPLE) ارائه کرده‌اند که برای افزایش بهره‌وری انرژی و بازدهی بیشتر از توپولوژی چندپرشه استفاده کرده است. این پروتکل در هر مرحله گره‌ای را به‌عنوان رله انتخاب می‌کند که نسبت به بقیه دارای انرژی باقیمانده بیشتر و تعداد پرش کمتر تا سینک باشد. از طرفی یک دسترسی TDMA مبتنی بر بازه زمانی را به فرزندان می‌دهد، در نتیجه هر فرزند در بازه زمانی مربوط به خود بیدار شده و اقدام به ارسال اطلاعات می‌کند در غیر این صورت به حالت idle می‌رود.

جواد و همکارانش در [۱۶] M-ATTEMP را که در بسیاری از جهات مشابه iM-SIMPLE است پیشنهاد کرده‌اند. وجه تمایز این دو الگوریتم در نحوه مسیریابی و دسترسی گره‌ها به سینک است، بدین گونه که گره‌های با نرخ داده بالا داده‌های خود را مستقیم به سینک می‌فرستند و داده‌های گره‌های با نرخ داده کم را نیز به سمت سینک هدایت می‌کنند. از طرفی داده‌های اورژانسی و مبتنی بر تقاضا مستقیم به سینک ارسال می‌شوند ولی برای ارسال داده‌های معمولی از چندپرشه استفاده می‌شود که برای افزایش طول عمر شبکه، مسیریابی با تعداد پرش کمتر انتخاب می‌شود. به‌علاوه M-ATTEMP یک آستانه دما در نظر

- گره شتاب فقط ارسال داده به رله و عدم شرکت در تعیین رله
- از طرفی در هر دور (باوجود انتخاب رله) اگر فاصله گره تا رله بیشتر از فاصله گره تا سینک باشد، آن گره در آن دور داده‌های خود را به‌طور مستقیم به سینک می‌فرستد.



شکل ۱ مکان قرارگیری گره‌ها و سینک روی بدن [۱۵]

در شبکه‌های بی‌سیم و به دنبال آن، WBAN، طول عمر شبکه به دوره‌های زمانی تقسیم می‌شود. از طرفی تعیین رله (برای دریافت داده بقیه حسگرها، تجمع و ارسال داده‌ها به سینک) در ابتدای هر دور انجام می‌شود، پس از آن شبکه به کار اصلی خود می‌پردازد. تعیین رله اگرچه موجب ایجاد تعادل در مصرف انرژی میان گره‌ها و جلوگیری از مرگ زودرس گره‌هایی که رله شده‌اند می‌شود، ولی سربار ناشی از تعیین رله در ابتدای هر دور، به دلیل ارسال و دریافت پیام‌های کنترلی، باعث اتلاف انرژی گره‌ها می‌شود. درواقع هرچه بازه زمانی میان دورها بیشتر باشد، سربار ناشی از آن کاهش می‌یابد، از طرفی افزایش این زمان موجب کمتر شدن توازن انرژی میان گره‌ها می‌شود، درنتیجه نیاز به برقراری مصالحه‌ای میان آن‌ها وجود دارد. برای این منظور ما زمان‌بندی پویا را پیشنهاد می‌کنیم، یعنی به‌جای استفاده از دوره‌هایی با طول ثابت که در اکثر پروتکل‌های مسیریابی موجود استفاده می‌شود، از دوره‌هایی با طول متغیر استفاده می‌کنیم، بدین ترتیب که در ابتدای راه‌اندازی WBAN که سطح انرژی تمام گره‌ها بالا است دوره‌ها طولانی‌تر باشد و باگذشت زمان و کاهش انرژی حسگرها، طول دورها کاهش یابد و تعیین رله جدید سریع‌تر انجام شود تا توازن انرژی به‌طور مطلوب‌تری صورت گرفته و طول عمر شبکه افزایش یابد. همچنین از یک تابع هزینه برای انتخاب رله استفاده می‌کنیم. در شکل دو فلوچارت کلی الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است که در

می‌گیرد که اگر دمای گره به آن آستانه برسد، لینک میان خود و همسایه‌هایش را برای چند دور قطع می‌کند و زمانی که دمای گره به حد نرمال برسد دوباره مسیر اصلی برقرار می‌شود. جواد و همکاران در [۱۷] A-MAC را که یک پروتکل کنترل دسترسی رسانه است و برای کمینه‌سازی مصرف انرژی و بیشینه‌سازی جریان داده طراحی شده است ارائه کرده‌اند. این پروتکل روشی برای تعیین نوار نگرهان و مکانیسم خواب/بیداری تطبیقی ارائه کرده است که بر روی کاربردهای خاص نظارت بر بدن انسان با استفاده از گره‌هایی که پیوسته بدن انسان را برای به‌روزرسانی اطلاعات اسکن می‌کنند، توجه می‌کند. اگر مقادیر جاری در رنج نرمال باشد، گره تلاشی برای دسترسی به کانال نمی‌کند ولی اگر این مقدار از رنج نرمال بالا رفته یا افت کند، گره وارد حالت ارسال و دریافت می‌شود تا به کانال دسترسی یابد. A-MAC از روش TDMA جهت دسترسی به کانال برای هم‌زمان‌سازی بهتر و اجتناب از ازدحام استفاده می‌کند.

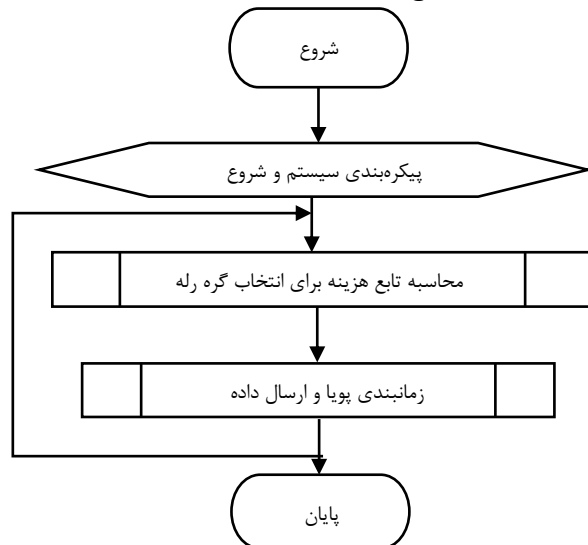
همان‌طور که ملاحظه کردید الگوریتم‌های مذکور از روش‌های متفاوتی چون خوشه‌بندی و چندپرشه، انتخاب رله با توجه به سطح انرژی باقیمانده گره‌ها، دسترسی مبتنی بر TDMA و تنظیم مکانیزم خواب/بیداری و دسترسی به کانال برای دستیابی به بهره‌وری انرژی استفاده کرده‌اند ولی استفاده از زمان‌بندی پویا به روش استفاده از دوره‌هایی با طول متغیر، ایده‌ای است که تاکنون در WBAN مورد استفاده قرار نگرفته است.

۳- الگوریتم پیشنهادی

هشت گره حسگر با انرژی اولیه و توان محاسباتی یکسان در مکان‌های تعیین شده در شکل یک برای اندازه‌گیری پارامترهای معین قرار داده شده است. به‌منظور ذخیره‌سازی انرژی و برقراری تعادل در مصرف انرژی، در هر دور از یک رله برای ارسال داده گره‌ها به سینک استفاده می‌شود. برای بهره‌وری بیشتر انرژی، از شرکت گره‌هایی که از بقیه دورترند، در تعیین رله صرف‌نظر می‌کنیم، از طرفی گره‌هایی که به سینک نزدیک‌ترند تا به رله و بقیه گره‌ها، از ارسال مستقیم برای ارسال داده خود به سینک استفاده می‌کنند. درنتیجه مکانیزم ارسال داده گره‌ها به سینک به‌صورت زیر است:

- ارسال مستقیم به سینک: گره‌های فشارخون، مختصات موقعیت، گلوکز، دما
- شرکت در تعیین رله: الکترومیوگرافی، اسیدلاکتیک، فشار

ادامه به طور کامل تشریح خواهد شد.



شکل ۲ فلوجارت کلی الگوریتم پیشنهادی

۳-۱- مرحله شروع

سینک یک بسته کنترلی که شامل اطلاعات مکانش روی بدن است را همه پخش می کند. هر گره، پس از دریافت این بسته کنترلی، مکان سینک را ذخیره کرده و یک بسته اطلاعاتی شامل شناسه، مکان روی بدن و وضعیت انرژی اش را همه پخش می کند.

۳-۲- محاسبه تابع هزینه برای انتخاب رله

سینک شناسه، مکان و وضعیت انرژی باقیمانده همه گره ها را می داند بنابراین مقدار تابع هزینه را برای تمام گره ها محاسبه می کند. فرمول یک، فرمول تابع هزینه برای گره i است:

$$CF(i) = \frac{d(i)}{RE(i)} \quad (1)$$

اگر i شناسه گره باشد، $d(i)$ فاصله میان گره i تا سینک و $RE(i)$ انرژی باقیمانده گره i است که از تفریق انرژی مصرفی فعلی گره از انرژی کل قبلی اش به دست می آید. سینک گره ای با کمترین تابع هزینه را به عنوان رله انتخاب کرده و شناسه آن را همه پخش می کند. سپس گره های همسایه، داده های خود را به رله فرستاده و رله پس از جمع آن ها را به سینک می فرستد. رله بیشترین انرژی باقیمانده و کمترین فاصله تا سینک را دارد بنابراین بهترین گزینه برای ارسال داده از میان منابع موجود است.

می شود که در پروتکل های مسیریابی فعلی، این مقدار ثابت است. ما در الگوریتم پیشنهادی از این زمان با عنوان دور پایه (base) یاد می کنیم. ما دو حد آستانه (TE1, TE2) برای مجموع انرژی شبکه (sum) در نظر می گیریم. قبلاً گفتیم سینک مقدار انرژی باقیمانده هر گره را می داند بنابراین سینک پس از تعیین گره رله، مجموع انرژی گره ها را محاسبه می کند. اگر این مجموع از آستانه انرژی اول (TE1) بزرگ تر بود، اندازه دور پویا (round) سه برابر اندازه دور پایه می شود یعنی تا سه دور رله انتخابی به کار خود به عنوان رله ادامه داده و بعد از گذشت $3 \times \text{base}$ ، سینک اقدام به انتخاب رله جدید می کند. حال اگر sum کمتر از TE1 بوده ولی از آستانه انرژی دوم بزرگ تر باشد (TE2) بزرگ تر باشد، آنگاه round برابر $2 \times \text{base}$ خواهد شد و در غیر این صورت هر round برابر یک base خواهد شد. در هر دور پایه، سینک بازه زمانی مبتنی بر TDMA را به رله و دیگر گره ها اختصاص می دهد. همه گره ها داده های حس شده خود را در بازه زمانی مختص خود شان، طبق مکانیزم ار سال داده به رله می فرستند و رله داده جمع شده را در بازه زمانی خود به سینک می فرستد؛ بنابراین گره ها تنها در زمان ارسالشان بیدار می شوند. زمان بندی TDMA موجب کمینه شدن اتلاف انرژی می شود.

۴- نتایج شبیه سازی و تحلیل ها

برای اثبات کارایی و بهره وری الگوریتم پیشنهادی از شبیه سازی با OPNET 14.0 و مقایسه با مقاله im-SIMPLE [۱۵] استفاده می کنیم. با بررسی مقالات و کارهای پیشین، در بیشتر مقالات پارامترهای تعریفی زیر از جمله معیارهای مقایسه کارایی الگوریتم های مسیریابی WBAN بوده اند:

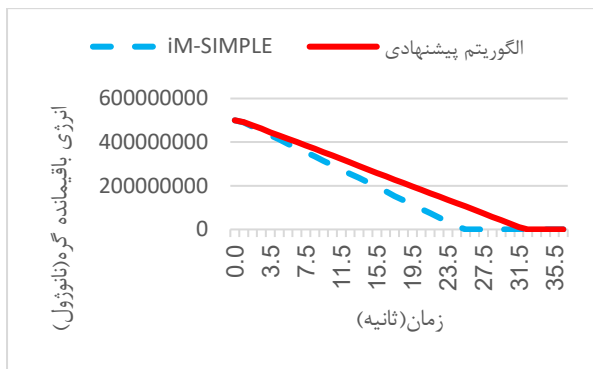
- زمان پایداری: زمان سپری شده از شروع به کار شبکه تا مردن اولین گره را زمان پایداری گویند. زمان بعد از مرگ اولین گره را، زمان ناپایداری گویند.
- طول عمر شبکه: زمان سپری شده از شروع به کار شبکه تا مردن تمام گره ها را گویند.
- انرژی باقیمانده: مجموع انرژی باقیمانده کل شبکه بعد از هر دور را گویند.
- گذردهی: تعداد کل بسته هایی که سینک به طور موفق دریافت کرده است.

۴-۱- زمان پایداری و طول عمر شبکه

در شبکه های حسگر بی سیم و به خصوص WBAN با مردن اولین گره حسگر، شبکه دیگر کارایی خود را از دست داده در نتیجه

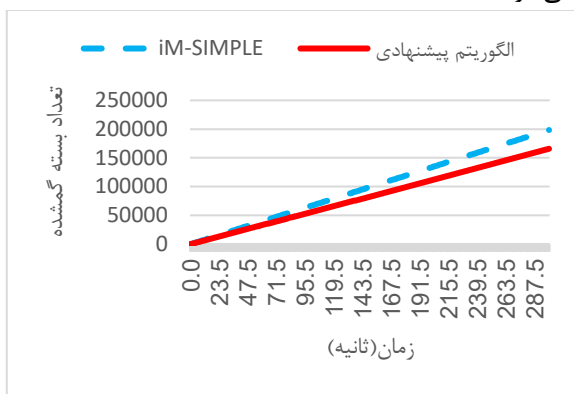
۳-۳- زمان بندی پویا و انتقال داده

همان طور که بیان شد، طول عمر شبکه به دورهایی تقسیم



شکل ۴ مقایسه انرژی باقیمانده گره در الگوریتم پیشنهادی و iM-SIMPLE

افزایش میزان گمشدگی بسته علاوه بر کاهش بازدهی پروتکل، موجب به خطر افتادن زندگی بیمار می‌شود زیرا در WBAN تمام بسته‌ها، اطلاعات سلامتی فرد را مبادله می‌کنند، حال اگر بسته‌ای که شامل اطلاعات اورژانسی بیمار است از بین برود، زندگی شخص به خطر می‌افتد. همان‌طور که در الگوریتم پیشنهادی توضیح دادیم، گره در زمان ارسال بسته به فاصله میان خود تا رله و سینک توجه می‌کند، حال اگر فاصله‌اش تا سینک کمتر از فاصله‌اش تا رله باشد از ارسال مستقیم داده به سینک استفاده می‌کند. از طرفی گره‌های دور مانند شتاب که در نسبت، از بقیه دورتر هستند نیز، در انتخاب رله شرکت نمی‌کنند. تمامی موارد ذکر شده موجب کاهش ارسال نامناسب بسته‌ها و در نتیجه کاهش گمشدگی بسته (تقریباً ۲۰ درصد کاهش گمشدگی بسته) و افزایش کارایی الگوریتم پیشنهادی می‌شود که در شکل پنج دیده می‌شود.

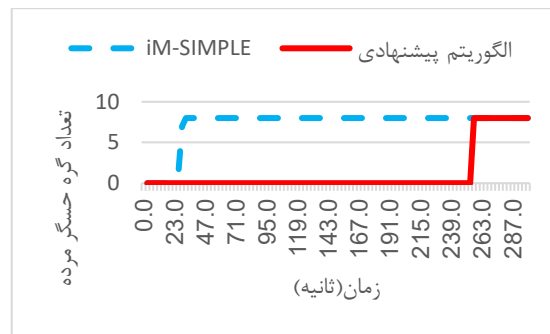


شکل ۵ مقایسه گمشدگی بسته در الگوریتم پیشنهادی و iM-SIMPLE

۴-۴- گذردهی و تعداد بسته دریافتی در سینک

تعداد بسته‌های ارسالی به سینک به تعداد گره‌های زنده بستگی دارد، در نتیجه هر چه تعداد گره‌های زنده شبکه بیشتر باشد تعداد بسته بیشتری به سینک ارسال شده و باعث افزایش گذردهی شبکه می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی با توجه به افزایش قابل توجه طول عمر شبکه و تعداد بیشتر گره زنده،

می‌توان گفت عمر مفید شبکه پایان یافته است؛ بنابراین با افزایش زمان پایداری شبکه، طول عمر مفید شبکه نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل سه دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی به خوبی توانسته زمان پایداری و طول عمر مفید شبکه را افزایش دهد که دلایل آن استفاده از زمان‌بندی پویا برای کاهش سربار مصرف انرژی تعیین رله در ابتدای هر دور پایه و انتقال آن به ابتدای هر دور و استفاده از مکانیزم ارسال داده پیشنهادی است که موجب انتخاب لینک قوی‌تر و کاهش انرژی انتقال می‌شود؛ بدین ترتیب که گره‌های نزدیک‌تر به سینک از ارسال داده مستقیم به سینک استفاده می‌کنند، از طرفی گره‌های بسیار دور به عنوان رله انتخاب نشده و با وجود انتخاب رله در هر دور، اگر فاصله گره در زمان ارسال داده به سینک کمتر از فاصله‌اش تا رله باشد هم از ارسال داده مستقیم و سطح انرژی کمتر برای ارسال داده استفاده می‌کند. به علاوه در الگوریتم پیشنهادی گره‌ها در فاصله زمانی بسیار کمی از هم مرده‌اند که این نشان‌دهنده برقراری تعادل مصرف انرژی خوب میان گره‌ها است.



شکل ۶ مقایسه زمان مردن حسگرها در الگوریتم پیشنهادی و iM-SIMPLE

۲-۴- انرژی باقیمانده گره

شکل چهار مقدار انرژی باقیمانده گره را در هر لحظه برای الگوریتم پیشنهادی و iM-SIMPLE نشان می‌دهد. هرچه میزان انرژی گره و شبکه در هر لحظه بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف انرژی کمتر و بهره‌وری بیشتر و ذخیره سازی خوب انرژی در آن پروتکل است. در این مورد الگوریتم پیشنهادی، به دلیل استفاده از زمان‌بندی پویا و کاهش سربار تعیین رله در ابتدای هر دور پایه و استفاده از مکانیزم ارسال داده مناسب، عملکرد بهتر و بهبود ۰٫۷۵ درصدی را از خود نشان داده است.

۳-۴- گمشدگی بسته

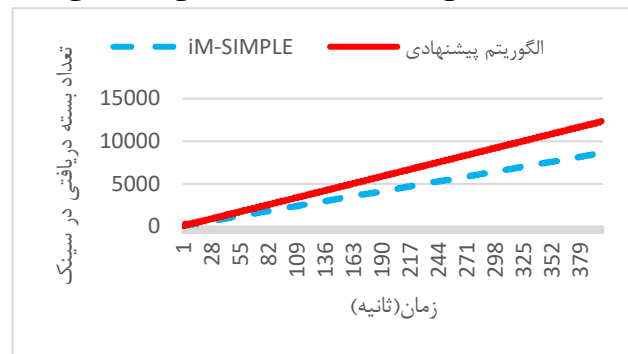
اگر گره‌های میانی (رله‌ها) به مقدار کافی حافظه برای دریافت بسته‌ها نداشته باشند، در این صورت بسته‌ها از بین رفته و پروتکل گمشدگی بسته بالایی را از خود نشان می‌دهد.

و موجب افزایش چند برابری زمان پایداری و طول عمر شبکه، افزایش ۱,۴ برابری گذردهی و تعداد بسته دریافتی در سینک، افزایش ۰,۷۵ برابری انرژی باقیمانده گره و همچنین کاهش ۲۰ درصدی گمشدگی بسته شده است.

مراجع

1. Effatparvar, M. M. Dehghan, and A.M. Rahmani, A comprehensive survey of energy-aware routing protocols in wireless body area sensor networks. *Journal of medical systems*, 2016. 40(9): p. 201.
2. Jijesh, J. A survey on Wireless Body Sensor Network routing protocol classification. in *Intelligent Systems and Control (ISCO)*, 2017 11th International Conference on. 2017. IEEE.
3. Movassaghi, S. et al. Wireless body area networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014. 16(3): p. 1658-1686.
4. Venkateswarlu, V. P. Naganjaneyulu, and D. Rao, The Wireless Body Area Sensor Networks and Routing Strategies: Nomenclature and Review of Literature. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 2017.
5. Elhadj, H.B. L. Chaari, and L. Kamoun, A survey of routing protocols in wireless body area networks for healthcare applications. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 2012. 3(2): p. 1-18.
6. Tang, Q. et al. TARA: thermal-aware routing algorithm for implanted sensor networks. *Lecture notes in computer science*, 2005. 3560: p. 206-217.
7. Bag, A. and M.A. Bassiouni. Energy efficient thermal aware routing algorithms for embedded biomedical sensor networks. in *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS)*, 2006 IEEE International Conference on. 2006. IEEE.
8. Takahashi, D. et al. Temperature-aware routing for telemedicine applications in embedded biomedical sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2008. 2008: p. 26.
9. Bag, A. and M.A. Bassiouni. Hotspot preventing routing algorithm for delay-sensitive biomedical sensor networks. in *Portable Information Devices, 2007. PORTABLE07. IEEE International Conference on*. 2007. IEEE.
10. Bag, A. and M.A. Bassiouni. Routing algorithm for network of homogeneous and id-less biomedical sensor nodes (RAIN). in *Sensors Applications Symposium, 2008. SAS 2008. IEEE. 2008. IEEE.*
11. Ahourai, F. et al. A thermal-aware shortest hop routing algorithm for in vivo biomedical sensor networks. in *Information Technology: New Generations, 2009. ITNG'09. Sixth International Conference on*. 2009. IEEE.
12. Watteyne, T. et al. Anybody: a self-organization protocol for body area networks. in *Proceedings of the ICST 2nd international conference on Body area networks*. 2007. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
13. Razzaque, M.A. C.S. Hong, and S. Lee, Data-centric multiobjective QoS-aware routing protocol for body sensor networks. *Sensors*, 2011. 11(1): p. 91.۷-۹۳۷
14. Abbasi, U.F. A. Awang, and N.H. Hamid. A cross-layer opportunistic mac/routing protocol to improve reliability in wban. in *Communications (APCC)*, 2014 Asia-Pacific Conference on. 2014. IEEE.
15. Javaid, N. et al. iM-SIMPLE: iMproved stable increased-throughput multi-hop link efficient routing protocol for Wireless Body Area Networks. *Computers in Human Behavior*, 2015. 51: p. 1003-1011.
16. Javaid, N. et al. M-ATTEMPT: A new energy-efficient routing protocol for wireless body area sensor networks. *Procedia Computer Science*, 2013. 19: p. 224-231.
17. Javaid, N. et al. Adaptive medium access control protocol for wireless body area networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014. 10(3): p. 254397.

گذردهی در مقایسه با iM-SIMPLE پیشرفت خوبی را (تقریباً ۱,۴ برابر) از خود نشان می‌دهد که در شکل شش دیده می‌شود. از طرفی با انتخاب رله و مسیر مناسب، احتمال اینکه بسته سالم به سینک برسد خیلی بیشتر است که ما با استفاده از مکانیزم ارسال داده خود در هر لحظه لینک قوی‌تر را برای ارسال داده انتخاب می‌کنیم که موجب کاهش گمشدگی بسته و افزایش تعداد بسته دریافتی و در نتیجه افزایش گذردهی شبکه می‌شود.



شکل ۶ مقایسه گذردهی الگوریتم پیشنهادی و iM-SIMPLE

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، ما یک پروتکل مسیریابی چندپرشه با زمان‌بندی پویا برای بهره‌وری بیشتر انرژی در WBAN ارائه کردیم. روش کار این پروتکل بدین‌صورت است که هشت گره حسگر پارامترهای حیاتی را دریافت کرده و با استفاده از رله و چندپرشه به سینک می‌فرستند. مکانیزم ارسال داده گره‌ها به سینک در پروتکل پیشنهادی عبارت است از: داده‌های گره‌هایی که به سینک نزدیک‌ترند تا به بقیه گره‌ها مستقیم به سینک ارسال می‌شود. گره‌های خیلی دور مانند شتاب در تعیین رله شرکت نمی‌کنند. در هر دور رله طبق تابع هزینه انتخاب می‌شود. تابع هزینه به‌گونه‌ای تدوین شده است که گره‌ای با بیشترین انرژی باقیمانده و کمترین فاصله از سینک انتخاب می‌شود. علیرغم انتخاب رله، در زمان ارسال داده اگر فاصله گره تا سینک کمتر از فاصله گره تا رله باشد، گره از ارسال داده مستقیم به سینک استفاده می‌کند. همه سیاست‌های به‌کار گرفته‌شده باعث انتخاب مسیر بهتر و لینک قوی‌تر و در نتیجه افزایش گذردهی شبکه می‌شود. به‌علاوه ما برای بهره‌وری و تعادل بیشتر انرژی از زمان‌بندی پویا برای تعیین رله استفاده کرده‌ایم به‌گونه‌ای که در ابتدای راه‌اندازی شبکه که انرژی همه گره‌ها بالا است از دورهای طولانی‌تر استفاده کردیم و با کاهش انرژی کل شبکه اندازه دورها را کوتاه‌تر کردیم. با استفاده از این روش سربار ناشی از انتخاب رله در ابتدای هر دور را کاهش دادیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی عملکرد بسیار خوبی را نسبت به iM-SIMPLE از خود نشان داده