Iranian Journal of Biomedical Engineering
11 (3) (2017) 243-254, www.ijbme.org
DOI: 10.22041/ijbme.2018.77607.1306

Energy-Efficient Routing Protocols for Energy Harvesting Wireless Body Area Networks

B. Salimi Qadi[1], M. Golsorkhtabaramiri[2*]

[1]Department of Computer Engineering, Babol Branch, Islamic Azad University, Babol, Iran

[2]Department of Computer Engineering, Babol Branch, Islamic Azad University, Babol, Iran

Receipt in the Online Submission System: 18 December 2017, Received in Revised Form: 5 February 2018, Accepted: 10 May 2018

Abstract

Wireless body area networks (WBANs) are specific kinds of wireless sensor network which have been widely used in many areas, especially for health monitoring in the areas of health services and healthcare. Among the most important challenges concerning these networks are performance, high throughput and increasing network lifespan. One of the possible ways to increase network lifetime is to use energy harvesting possibility. In energy harvesting WBANs, the energy of the sensor nodes does not end, but upon reaching a threshold, the node goes into a power-consuming mode and becomes blocked and does not participate in the network operation until it reaches the required energy. In this paper, an energy-efficient routing protocol for energy harvesting WBANS is proposed. In this protocol, the medical sensor nodes on the patient's body have the ability of energy harvesting while the routing method and transmitter node are used to transfer data from sensor nodes to the sink. This method uses single hob routing when the distance between the sensor node and the sink is less than that of the sensor node to the transmitter node. Also, if emergency data is detected, a single hob routing is used to send data, otherwise, multi hob routing is used to do so. Also, to increase throughput during energy harvesting, the sensor node does not block, but sends the data to its nearest neighbor. This protocol has been able to improve network throughput and lifetime. We used energy harvesting to increase network lifetime and routing techniques to reduce energy consumption.

Keywords: ***Wireless Sensor Body Area Networks, Energy Harvesting, Routing, Network Life-Time, Health Monitoring***

[*]**Corresponding Author**
Address: Department of Computer Engineering, Babol Branch, Islamic Azad University, P. O. Box: 4747137381, Babol, Iran
Tel: *+98-11-32415157*
Fax: *+98-21-32415157*
E-mail: *golesorkh@baboliau.ac.ir*

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

مجله مهندسی پزشکی زیستی
دوره ۱۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ۲۵۴-۲۴۳
شناسه دیجیتال: 10.22041/ijbme.2018.77607.1306

پروتکل مسیریابی انرژی کارا برای شبکه‌های بی‌سیم انرژی برداشت بدن

بیتا سلیمی قادی[۱]، مهدی گل‌سرخ تبار امیری[۲*]

[۱] گروه کامپیوتر، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل
[۲] گروه کامپیوتر، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل

تاریخ ثبت در سامانه: ۱۳۹۶/۹/۲۷، بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶، پذیرش قطعی: ۱۳۹۷/۲/۲۰

چکیده

شبکه‌های بی‌سیم بدن، گونه‌ی خاصی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند که امروزه کاربردهای زیادی دارند. از جمله‌ی مهم‌ترین این کاربردها پایش سلامتی انسان است. پایش سلامتی با هدف بهبود خدمات سلامت انجام می‌شود. از مهم‌ترین چالش‌ها در این نوع شبکه‌ها، کارایی، توان عملیاتی بالا و طول عمر شبکه می‌باشد. از جمله روش‌های ممکن برای افزایش طول عمر شبکه‌های بی‌سیم بدن، استفاده از راه‌کار برداشت انرژی از بدن یا فعالیت بدنی است. در شبکه‌های با امکان برداشت انرژی، انرژی گره‌های حسگر به پایان نمی‌رسد، بلکه پس از رسیدن به یک حد آستانه، گره به حالت برداشت انرژی رفته و به صورت بلوکه در می‌آید و تا زمان رسیدن به حد انرژی مشخص، در عملیات شبکه شرکت نمی‌کند. در این مقاله، یک پروتکل مسیریابی انرژی برداشت برای بهبود کارایی شبکه‌های بی‌سیم بدن ارائه شده است. در شبکه‌ی پیشنهادی، گره‌های حسگر علائم حیاتی بدن، از قابلیت برداشت انرژی برخوردار هستند. در روش مسیریابی پیشنهادی از یک گره رابط برای انتقال داده‌ها از سایر گره‌های حسگر به چاهک استفاده شده است. زمانی که فاصله‌ی گره حسگر تا چاهک کمتر از فاصله‌ی گره حسگر تا گره رابط است، پروتکل پیشنهادی، برای ارسال داده‌ها از مسیریابی تک‌گامه استفاده می‌کند. هم‌چنین، اگر نوع داده اضطراری تشخیص داده شود، برای ارسال آن از ارسال تک‌گامه، و در غیر این صورت از روش ارسال چندگامه استفاده خواهد شد. با هدف افزایش توان عملیاتی، گره‌ها در هنگام برداشت انرژی، به حالت بلوکه نمی‌روند، بلکه داده‌ها را به نزدیک‌ترین همسایه‌ی خود ارسال می‌کنند. پروتکل پیشنهادی توانسته در مقایسه با روش‌های پیشین، توان عملیاتی و طول عمر شبکه را بهبود بخشد و در سایر معیارهای کارایی، نسبت به روش‌های پیشین عمل‌کرد بهتری داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های بی‌سیم بدن، انرژی برداشت، مسیریابی، طول عمر شبکه، پایش سلامتی

[*] نویسنده مسئول
نشانی: گروه کامپیوتر، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران، کد پستی: ۴۷۴۷۱۳۷۳۸۱
تلفن: ۳۲۴۱۵۱۵۷ (۱۱) ۹۸+
دورنگار: ۳۲۴۱۵۱۵۷ (۱۱) ۹۸+
پست الکترونیکی: golesorkh@baboliau.ac.ir

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

۱- مقدمه

اغلب بیماران زمانی به پزشک مراجعه می‌کنند که علائمی غیرطبیعی در بدن خود احساس کنند. از آن‌جایی که این نوع علائم غیرطبیعی به تدریج زیاد می‌شوند، احساس آن‌ها توسط بیمار همیشه ساده و به موقع نیست. در واقع، وقتی بیمار به پزشک مراجعه می‌کند که مدتی از بیماری او گذشته و معمولا باید سریعا مورد مداوا قرار گیرد. در واقع، زمان طلایی مقابله با بیماری گذشته و ممکن است درمان مشکل بوده و یا بیمار مجبور شود برای انجام روند درمان، هزینه‌ی زیادی بپردازد. اما با استفاده از شبکه‌ی بی‌سیم بدن، نه‌تنها می‌توان به وضعیت سلامت جسمانی بیمار پی برد، بلکه حتی می‌توان بیماری را پیش‌بینی کرده و از هزینه‌ها و خطرهای دوره‌ی درمان نیز کاست [۱]. شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن[۱]، یک فن‌آوری نو ظهور است که می‌تواند ارائه‌ی خدمات بهداشتی، نظارت و روش‌های تشخیص پزشکی را به اندازه‌ی قابل توجهی بهبود بخشد [۲]. شبکه‌های ناحیه‌ی بدن یکی از مهم‌ترین شاخه‌های WSN[۲] است [۳]. این شبکه‌ها با هدف ارائه‌ی خدمات سلامت، مانند نظارت بر محیط بهداشت عمومی، بالینی، تصمیم‌گیری و پشتیبانی، فعالیت می‌کنند [۴]. این شبکه از تعدادی حسگر نسبتا ارزان، سبک و کوچک تشکیل شده است که بر سطح بدن یا در زیر پوست قرار می‌گیرند و یا می‌توانند در عمق بافت بدن کاشته شوند [۲]. حسگرها مسئول سنجش، پردازش و هم‌چنین ارسال سیگنال‌های فیزیولوژیکی به سرویس‌دهنده‌ی پزشکی هستند، تا در سرویس‌دهنده‌ها تجزیه و تحلیل بیشتری روی داده‌ها انجام شود. حسگرها به کمک تکنیک‌های شبکه‌های شخصی با سرویس‌دهنده‌ی پزشکی[۳] ارتباط برقرار می‌کنند [۵]. گره‌های حسگر، بر اساس محل استقرار، به دو دسته‌ی مهاجم و غیرمهاجم تقسیم می‌شوند. حسگرهای مهاجم در داخل بدن کاشته می‌شوند که برای ثبت ضربان قلب، اشباع اکسیژن در خون، نوار قلب، درجه‌ی حرارت، فشار خون و غیره استفاده می‌شوند. حسگرهای غیرمهاجم، پوشیدنی هستند و برای پایش بیماری‌هایی هم‌چون پارکینسون استفاده می‌شوند [۵]. در شبکه‌های بی‌سیم بدن تمام گره‌ها باید قادر به برقراری ارتباط با چاهک[۴] باشند. چاهک، داده‌های حس‌شده را از حسگرها جمع‌آوری کرده و آن‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند و از طریق اینترنت به مرکز پردازش داده ارسال می‌کند [۴]. هدف اصلی در این شبکه این است که پزشکان بتوانند بر سلامت بیماران نظارت داشته باشند [۴]. از شبکه‌های حسگر بدن می‌توان برای نظارت بر شاخص‌های زیستی در فعالیت‌های روزمره‌ی زندگی و هم‌چنین در درمان‌گاه‌ها برای پایش علائم بالینی بیماران استفاده کرد. این شبکه‌ها در صنعت بهداشت و درمان از تکنولوژی چندرشته‌ای استفاده می‌کنند [۳]. الگوریتم‌های نرم‌افزاری مدیریت گره‌های حسگر بی‌سیم پوشیدنی یا کاشتی، با هدف نظارت مداوم بر علائم حیاتی بیمار، مانند نوار قلب[۵] و فشار خون و یا پارامترهای مهم محیطی مانند دما و رطوبت، ارائه شدند. اطلاعات مربوط به بیمار از تمام شبکه‌های بی‌سیم بدن جمع‌آوری شده و به مراکز بهداشتی ارسال می‌شود. پزشکان برای ارزیابی وضعیت سلامت بیمار از راه دور می‌توانند به این داده‌ها دست‌رسی پیدا کنند [۴]. نظارت و پایش سلامتی در اکثر موارد باید مداوم، دقیق و بدون قطعی باشد. بنابراین، برای نظارت هرچه طولانی‌تر، به پروتکل‌های مسیریابی انرژی کارا نیاز است. هدف از این مقاله ارائه‌ی پروتکلی با درنظرگرفتن قابلیت برداشت انرژی برای شبکه‌ی بی‌سیم بدن می‌باشد که بتواند با توان عملیاتی بالا، مسیری پایدار و قابل اطمینان را برای جمع‌آوری و ارسال داده‌ها بیابد.

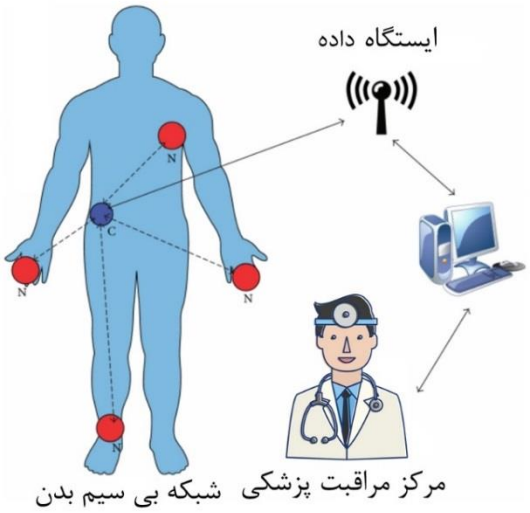
شکل (۱) ساختار شبکه‌ی کلی یک شبکه‌ی بی‌سیم بدن را نشان می‌دهد. حسگرها بر اساس محل قرارگیری، به دو دسته‌ی مهاجم و غیرمهاجم تقسیم می‌شوند. حسگرهای مهاجم در داخل بدن کاشته می‌شوند و حسگرهای غیرمهاجم پوشیدنی هستند [۵]. اغلب، امکان تعویض باتری حسگرهای کاشتنی وجود ندارد و این کار معمولا فقط برای حسگرهای پزشکی پوشیدنی امکان‌پذیر است، هرچند این کار نیز می‌تواند موجب ناراحتی بیمار شود. عدم دست‌رسی آسان به منبع انرژی گره حسگر، دشواری تعویض آن و شرایط موردی بیماران، باعث می‌شود که طول عمر باتری و استفاده از حداکثر توان آن در یک بازه‌ی زمانی طولانی‌تر در این نوع شبکه ها بسیار مهم باشد. بنابراین، مدیریت انرژی مصرفی و افزایش طول عمر گره‌ها و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه، از مهم‌ترین چالش‌های شبکه‌های حسگر بدن است [۶].

یکی از تکنیک‌های افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، استفاده از راه‌کار برداشت انرژی از محیط است. با افزودن قابلیت برداشت انرژی به گره‌های حسگر، می‌توان یک شبکه‌ی حسگر انرژی برداشت[۶] را فرض کرد. یک شبکه‌ی حسگر انرژی برداشت بی‌سیم، از یک چاهک و تعدادی گره حسگر تشکیل شده که

[۱] Wireless Body Area Networks
[۲] Wireless Sensor Networks
[۳] (Pan/Bab)
[۴] Sink
[۵] Ecg
[۶] Eh-Wsn

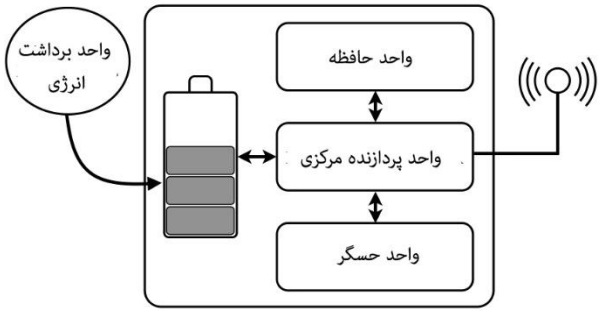
© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

هر کدام دارای قابلیت برداشت انرژی هستند. در این نوع شبکه‌ها، فرض می‌شود که چاهک دارای محدودیت انرژی نیست [۷].



شکل (۱)- ساختار شبکه در WBAN

هر گره حسگر بی‌سیم انرژی برداشت، از پنج واحد تشکیل شده است. این قسمت‌ها شامل: واحد برداشت انرژی، واحد ذخیره‌سازی انرژی، واحد پردازش، واحد حسگر و واحد فرستنده و گیرنده‌ی بی‌سیم می‌باشند. در واحد برداشت انرژی، دستگاه‌های برداشت انرژی برای تبدیل انرژی محیط به انرژی الکتریکی قرار گرفته است [۸]. شکل (۲) اجزای تشکیل دهنده‌ی یک گره حسگر در شبکه‌های بی‌سیم انرژی برداشت بدن را نشان می‌دهد.



شکل (۲)- ÷اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گره حسگر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با قابلیت برداشت انرژی از محیط

تفاوت عمده‌ی گره‌های حسگر در شبکه‌های برداشت انرژی با شبکه‌های حسگر بی‌سیم، در طول عمر گره‌های حسگر است [۸]. در گره حسگر انرژی برداشت، در صورتی که انرژی برداشتی از محیط برای تامین انرژی گره کافی نباشد، گره برای شارژ باتری وارد حالت خواب می‌شود و پس از شارژ مجدد، می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار گیرد [۹]. هنگامی که انرژی ذخیره شده‌ی گره به حد کافی رسید، گره به حالت فعال می‌رود اما در طی فاز شارژ، گره غیرفعال است [۷]. شبکه‌های حسگر بی‌سیم سطح بدن معمولا از باتری‌هایی با قدرت محدود به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. اما باتری‌ها به دلیل اندازه‌ی محدود گره‌ها، کوچک بوده و طول عمر کمی دارند و به طور کلی برای نگه‌داری دراز مدت مناسب نیستند. بنابراین، مشکل محدودیت استفاده از باتری می‌تواند خیلی مهم، و حل آن می‌تواند بسیار حیاتی باشد. مشکل محدودیت انرژی، باعث کاهش طول عمر گره‌ها در شبکه می‌شو. زیرا با محدودیت موجود در ساخت باتری‌های با ظرفیت بالا، کارایی گره‌ای که در بدن انسان کاشته می‌شود به طور مستقیم به منبع انرژی آن بستگی دارد. به منظور استفاده‌ی کاربردی‌تر از شبکه‌های بی‌سیم بدن، تلاش‌های جهانی برای حل مشکلات تامین انرژی با منابع انرژی کارآمدتر و قابل اعتمادتر در حال انجام است. برای تحقق بخشیدن به ساخت دستگاه‌های بی‌سیم با دوره‌ی عملیاتی طولانی، یکی از راه‌های موثر، برداشت انرژی از محیط است که با توسعه‌ی تکنولوژی، برداشت انرژی حتی از بدن انسان نیز امکان‌پذیر است [۱۰]. به منظور استفاده از تکنیک‌های برداشت انرژی، یک مطالعه‌ی جهانی و توسعه‌یافته روی شبکه‌های بی‌سیم بدن در جریان است، که با عنوان EH-WBAN[۱] شناخته شده است. در حقیقت، سیستم‌های برداشت انرژی در WBAN به دستگاه‌های ذخیره‌سازی قابل شارژ مجهز هستند، زیرا انرژی برداشت شده از محیط برای استفاده‌ی مستقیم گره‌های حسگر کافی نیست. علاوه بر این، نرخ برداشت انرژی در میان گره‌های حسگر معمولا با هم متفاوت است. گره‌های مختلف ممکن است نرخ برداشت متفاوتی داشته باشند [۴]. در این مقاله، راه‌کاری برای مسیریابی انرژی کارا در شبکه‌های حسگر بدن ارائه شده است که با در نظر گرفتن امکان برداشت انرژی از بدن انسان، باعث افزایش طول عمر شبکه و بهبود کارایی آن می‌شود. در ادامه، ساختار مقاله به ترتیب زیر خواهد بود: در بخش دوم، کارهای مرتبط انجام شده و روش‌های پیشین برای حل مشکل مسیریابی اطلاعات در شبکه‌های بی‌سیم بدن مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم، پروتکل پیشنهادی تشریح شده است. در بخش چهارم، معیارهای ارزیابی کارایی معرفی، و سپس سناریوی شبیه‌سازی بیان شده و هم‌چنین عمل‌کرد پروتکل

[۱] Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری مورد ارزیابی قرار گرفته و با پروتکل‌های پیشین مقایسه شده و با تحلیل نتایج، در مورد بهبود کارایی با استفاده از راه حل پیشنهادی بحث شده است. بخش پایانی مقاله به نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آتی اختصاص داده شده است.

۲- کارهای مرتبط

در این بخش، تحقیقات انجام شده برای مسیریابی با مصرف انرژی کارا در شبکه‌های بی‌سیم بدن مورد بررسی قرار گرفته و پروتکل‌های پیشین معرفی شده است. در شبکه‌های بی‌سیم بدن، پروتکل‌های مسیریابی زیادی با اهداف مختلفی نظیر: کارایی انرژی، تحویل داده به‌طور سریع، قابلیت اعتماد و استفاده‌ی کارا از منابع مطرح شده است [۱۱]. در سال ۲۰۱۳ در مرجع [۱۲]، نویسندگان مقاله، پروتکل جدیدی را برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن ارائه دادند، که در این پروتکل یک روش مسیریابی با هدف افزایش طول دوره‌ی پایداری، افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی مصرفی ارائه شده است. در این روش برای پایش سلامتی، ۸ گره حسگر روی بدن انسان قرار گرفته تا اطلاعات بالینی فرد را جمع‌آوری کرده و به یک مرکز پایش سلامتی راه دور ارسال نمایند. در سناریوی ارائه شده، دو گره ضربان قلب و قند خون به دلیل اهمیت زیاد اطلاعاتی که جمع آوری می‌کنند، علائم حیاتی را به صورت مستقیم به چاهک ارسال می‌کنند. اما سایر گره‌ها اطلاعات خود را مستقیم به چاهک نمی‌فرستند، بلکه بر اساس یک تابع هزینه که وابسته به دو پارامتر فاصله تا چاهک و انرژی باقی‌مانده‌ی گره‌ها است، یک گره به عنوان گره رابط، توسط چاهک انتخاب می‌شود، سپس گره رابط اطلاعات را از سایر گره‌ها جمع‌آوری کرده و به چاهک ارسال می‌کند. این روش توانسته پایداری و طول عمر شبکه را افزایش دهد، اما هم‌چنان دوره‌ی پایداری شبکه و طول عمر آن مطلوب نمی‌باشد.

در مرجع [۱۳]، نویسندگان، پروتکل مسیریابی ATTEMP را برای مسیریابی علائم بالینی جمع‌آوری شده از بدن به راه دور ارائه داده‌اند. این پروتکل، یک مسیر با کمترین گام به چاهک را از بین مسیرهای قابل دسترس انتخاب می‌کند. در این روش فرض می‌شود که گره‌ها اطلاعاتی در مورد تمام گره‌ها و موقعیت چاهک دارند، بنابراین مسیری ثابت با کمترین انرژی مصرفی انتخاب می‌شود. در این پروتکل، گره‌هایی که داده‌های اضطراری دارند اطلاعات، را به صورت مستقیم به چاهک ارسال می‌کنند. در این روش هم از ارتباط تک‌گامه و هم از ارتباط چندگامه برای ارسال داده استفاده می‌شود که ارتباط تک‌گامه داری تاخیر کمتری است.

در مرجع [۱۴] پروتکل مسیریابی HPOR[۱] که یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی است ارائه شده است. در این روش، یک گره به نام گره رابط انتخاب می‌شود و داده‌های حس شده را به چاهک ارسال می‌کند. چاهک ابتدا اطلاعاتی را در مورد ساختار شبکه و انرژی باقی‌مانده‌ی هر گره جمع‌آوری کرده و سپس سرخوشه را بر اساس بیش‌ترین انرژی باقی‌مانده انتخاب می‌کند. هر سرخوشه مسئول ارتباط گره‌های حسگر با چاهک است. برای جلوگیری از برخورد گره‌ها از زمان‌بندی TDMA استفاده می‌کند. هر گره در بازه‌ی زمانی مختص خود، داده‌های حس شده را به سرخوشه ارسال می‌کند و اگر داده‌ایی برای ارسال نداشت به حالت خواب می‌رود. هدف از این روش بهبود انرژی مصرفی و مسیریابی بهتر در شبکه است. ایده‌ی اصلی این روش، استفاده از عامل انرژی باقی‌مانده در خوشه‌بندی مبتنی بر حداقل نرخ کنترل برای انتقال داده است.

در مرجع [۱۵]، پروتکل مسیریابی IM-SIMPLE[۲] ارائه شد. این روش از یک گره میانی برای ارسال داده‌های حس شده به چاهک استفاده کرده است. در ابتدا با استفاده از یک تابع هزینه و با در نظر گرفتن فاصله‌ی بین گره و سینک، و انرژی باقی‌مانده گره، گره‌ای که حداقل هزینه را دارد به عنوان گره رابط انتخاب می‌شود. در این روش از یک برنامه‌ریزی خطی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی استفاده شده و به دلیل تحرک بدن، دو حالت ایستا و پویا در نظر گرفته می‌شود. در این روش یکی از معیارهای کارایی از دست رفتن مسیر در نظر گرفته شده است، چون حرکات بدن و لباس بر ارسال سیگنال تاثیر می‌گذارد.

۳- روش پیشنهادی

برای توضیح روش پیشنهادی، ابتدا مدل رادیویی ارسال داده‌ها معرفی شده است.

انرژی لازم برای ارسال و دریافت داده‌ها از رابطه‌ی (۱) و (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه، d فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده است.

$$E_{Tx}(k,d) = E_{Tx\text{-}elec} \times K + E_{Tx\text{-}amp} \times K \times d^2 \qquad (۱)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx\text{-}elec} \times K \qquad (۲)$$

[۱] Hierarchical Routing Protocol

[۲] Efficient Routing Protocol

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

در رابطه‌ی فوق، E_{Tx} انرژی مصرفی برای ارسال و E_{Rx} انرژی مصرفی برای دریافت در مدار الکتریکی می‌باشد. E_{amp} انرژی مورد نیاز برای مدار آمپلی‌فایر تقویت کننده‌ی سیگنال‌ها و K اندازه‌ی بسته است. در ادامه، مدل سیستم شرح داده شده است.

۳-۱- مدل سیستم

در این قسمت یک پروتکل مسیریابی جدید برای بهبود کارایی شبکه‌های بی‌سیم انرژی برداشت ارائه شده است. در سناریوی مفروض برای ارائه‌ی روش پیشنهادی، تعداد ۸ گره حسگر بی‌سیم، مطابق شکل (۳)، روی بدن انسان قرار دارد و گره چاهک نیز زیر شانه قرار گرفته است. ایده‌ی اصلی در روش پیشنهادی، استفاده از راه‌کار برداشت انرژی و مسیریابی انرژی آگاه، به منظور افزایش طول عمر شبکه است. در این روش، هنگامی که انرژی باقی‌مانده‌ی یک گره از انرژی آستانه‌ی تعریف شده پایین‌تر باشد، آن گره نمی‌میرد، بلکه به حالت بلوکه می‌رود و موقتا در عملیات مسیریابی در شبکه شرکت نمی‌کند، اما پس از برداشت انرژی از محیط و رسیدن به حد آستانه‌ی بالا، دوباره در عملیات مسیریابی در شبکه شرکت می‌کند. هم‌چنین، با توجه به حیاتی بودن داده‌های حاصل از جمع‌آوری علائم بالینی بدن، لازم است در هر لحظه اطلاعات جمع‌آوری شده به چاهک ارسال شوند. هم‌چنین نباید هیچ یک از داده‌ها از دست برود و یا به مرکز پایش سلامتی مخابره نشود. به این دلیل، راه‌کاری در نظر گرفته شده تا هنگامی که گره در حال برداشت انرژی است، بتواند اطلاعات حس شده از بدن را به نزدیک‌ترین گره همسایه‌ی خود بفرستد و سپس آن همسایه اطلاعات را به گره رابط ارسال نماید. این کار تا وقتی که انرژی گره دوباره به حد آستانه‌ی بالا برسد و بتواند در عملیات شبکه شرکت کند ادامه پیدا می‌کند. در ادامه، جزئیات پروتکل پیشنهادی شرح داده شده است.

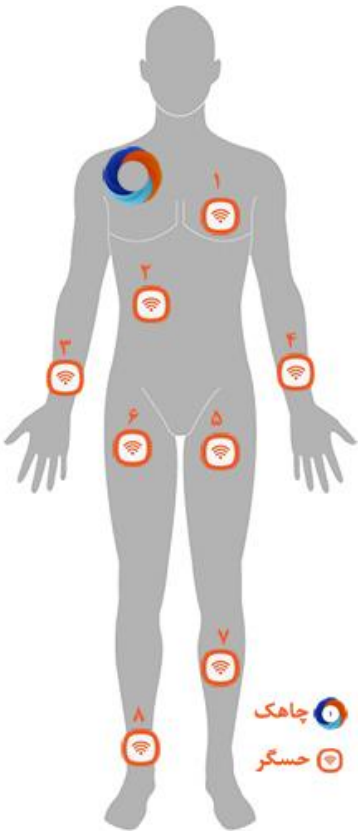
در روش پیشنهادی، ۸ گره روی بدن انسان جانمایی شده است و تمام گره‌ها انرژی اولیه‌ی یک‌سان و ظرفیت محاسباتی برابری دارند. گره چاهک نیز روی شانه قرار گرفته است و محدودیت انرژی ندارد. گره شماره‌ی یک، ECG[۱] است و تغییرات پتانسیل الکتریکی ناشی از تحریک عضله‌ی قلب را اندازه می‌گیرد. گره شماره‌ی دو، قند خون را اندازه‌گیری می‌کند. به دلیل حیاتی بودن اطلاعات این دو حسگر، داده‌های جمع‌آوری شده‌ی آن‌ها به صورت مستقیم به چاهک ارسال می‌شود. شکل (۳) محل قرارگیری گره‌ها و چاهک روی بدن انسان را نشان می‌دهد.

عملیات جمع‌آوری، مسیریابی و ارسال اطلاعات برای دوره‌های متوالی در شبکه انجام می‌گیرد. هر دور[۲] با فاز اولیه آغاز می‌شود و پس از آن، اطلاعات از گره‌های حسگر جمع‌آوری شده و برای چاهک ارسال می‌شود. پس از دریافت اطلاعات شبکه توسط چاهک، یک دور پایان می‌یابد.

فرایند عملیات مسیریابی، جمع‌آوری و ارسال داده‌ها در راه‌کار پیشنهادی، با درنظر گرفتن معیارهای کارایی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در هر دور به چهار فاز تقسیم می‌شود، که هر یک در ادامه توضیح داده شده است.

۳-۱-۱- فاز اولیه

در این فاز، گره چاهک یک بسته‌ی اطلاعاتی کوچک، حاوی موقعیت مکانی خود را در سطح بدن پخش می‌کند. بعد از این‌که هر گره بسته‌ی کنترلی ارسالی از چاهک را دریافت کرد، از موقعیت مکانی چاهک باخبر شده و آن را ذخیره می‌کند. سپس هر گره، اطلاعاتی حاوی شناسه‌ی خود، موقعیت گره روی بدن و وضعیت انرژی باقی‌مانده‌اش را در سطح بدن پخش می‌کند. پس از این مرحله، تمامی گره‌ها از موقعیت بروزرسانی شده‌ی همسایگان و چاهک مطلع می‌شوند.



شکل (۳)- محل قرارگیری گره‌ها روی بدن

[۱] Electrocardiograph

[۲] Round

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

۳-۱-۲- فاز انتخاب گره رابط

در این فاز، چاهک بر اساس انرژی باقی‌مانده‌ی گره‌ها، یکی از آن‌ها را به عنوان گره رابط انتخاب می‌کند. در این مرحله، یک گره با بیشترین انرژی باقی‌مانده به عنوان گره رابط انتخاب می‌شود و پس از آن، برای معرفی گره رابط منتخب به گره‌های همسایه، اطلاعات مربوط به شناسه‌ی گره رابط، به گره‌های همسایه ارسال می‌شود.

۳-۱-۳- فاز مسیریابی

این فاز به دو زیرفاز مسیریابی تک‌گامه و مسیریابی چندگامه تقسیم می‌شود. در این قسمت، سنسور ECG و قند خون، به دلیل اهمیت اطلاعاتشان، داده‌های خود را به صورت مستقیم به چاهک ارسال می‌کنند. اگر داده‌ها از نوع داده‌های بحرانی باشند، گره مورد نظر باید داده‌ها را به صورت مستقیم و تک‌گامه به چاهک ارسال کند. اما اگر داده‌ها از نوع داده‌های عادی باشند، برای ارسال داده‌ها از مسیریابی چندگامه استفاده می‌شود. اگر در زیرفاز ارسال چندگامه، شرایطی به وجود آید که انرژی باقی‌مانده‌ی یک گره از حد آستانه‌ی تعریف شده کمتر شود، آن گره وارد حالت برداشت انرژی می‌شود. در حالت برداشت انرژی، گره باید اطلاعات جمع‌آوری شده‌ی خود را به نزدیک‌ترین همسایه‌ی فعال خود ارسال کند، و سپس گره همسایه داده‌ها را به چاهک ارسال نماید. اگر گره‌ها واجد شرایط برداشت انرژی نبودند، داده‌ها را به گره رابط ارسال می‌کنند و گره رابط پس از تجمیع داده‌ها، آن را به چاهک ارسال می‌کند.

هم‌چنین در روش پیشنهادی، گره‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها از چاهک کمتر از گره رابط است، برای ارسال داده به چاهک، از روش ارسال مستقیم استفاده می‌کنند.

۳-۱-۴- فاز برداشت انرژی

در ادامه، مدل برداشت انرژی در نظر گرفته شده با استفاده از زنجیره‌ی مارکف[۱] بیان می‌شود [۱۶]. در این مدل دو حالت فعال و غیرفعال در نظر گرفته شده، و فرض شده است که در انتهای هر بازه‌ی زمانی، احتمال رفتن از حالت فعال به غیرفعال r، و احتمال رفتن از حالت غیرفعال به حالت فعال ω است. در نتیجه، احتمال ماندن در حالت فعال 1-r، و احتمال ماندن در حالت غیرفعال $\omega - 1$ است. علاوه بر این، فرض شده است که برداشت انرژی با نرخ متوسط $\rho\omega$ انجام می‌پذیرد و هنگامی که گره در حالت غیرفعال است، انرژی برداشت نمی‌کند. با توجه به این مدل، میانگین تعداد بازه‌های زمانی که یک گره در حالت فعال و غیرفعال باقی می‌ماند به ترتیب برابر است با:

$$\mu_\omega = \frac{\omega}{r+\omega} \quad (۳)$$

و

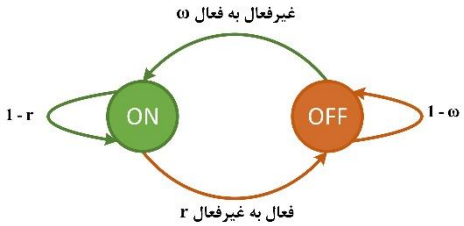
$$\mu_r = \frac{r}{r+\omega} \quad (۴)$$

و میانگین توان برداشت انرژی برابر است با:

$$\rho = \frac{\omega}{r+\omega}\ \rho_\omega \quad (۵)$$

در ادامه، یک مدل زمانی مارکف ساده با دو حالت روشن و خاموش، مطابق شکل (۴) فرض شده است.

در این مدل، زمان به بازه‌هایی تقسیم می‌شود. در هر بازه، میزان توان برداشت هر برداشت‌کننده در بازه‌ی $[P_{min}, P_{max}]$ به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. حداکثر و حداقل مقداری که یک گره می‌تواند برای هر فعالیت، انرژی برداشت کند در جدول (۳) مشخص شده است.



شکل (۴)- مدل مارکف

مدل برداشت انرژی به شرح زیر است:

$$EH(t) = PH(t).tslot \quad (۶)$$

در رابطه‌ی (۶)، EH(t) میزان انرژی برداشتی و PH(t) توان برداشتی در مدت زمان tslot است. در ادامه، حداقل و حداکثر میزان انرژی برداشتی در ۱ ثانیه در نظر گرفته شده است، یعنی tslot که زمان یک دوره است برابر با ۱ ثانیه می‌باشد. هم‌چنین حد آستانه‌ی بالا ۲/۵ ژول و حد آستانه‌ی پایین، انرژی اولیه‌ی گره، یعنی ۰.۵ ژول در نظر گرفته شده است.

بنابراین، انرژی باقی‌مانده‌ی هر گره انرژی برداشت نیز به دلیل برداشت انرژی گره‌ها تغییر می‌کند، که روش محاسبه‌ی انرژی باقی‌مانده‌ی هر گره در هر دور به شرح زیر می‌باشد:

$$E_{rem}(i,r) = \min\left[E_{max}(i),\ E_{EH}(i,r-1) + E_{rem}(i,r-1)\right] \quad (۷)$$

[۱] Markov Chain

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

در رابطه‌ی فوق، $E_{rem}(i,r)$ مقدار انرژی گره i در دور r است. $E_{max}(i)$ حداکثر ظرفیت باتری گره i، $E_{EH}(i,r-1)$ میزان انرژی برداشتی در انتهای دور قبل و $E_{rem}(i,r-1)$ انرژی باقی‌مانده‌ی گره i در دور قبل است.

در ادامه، روش پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری مدل‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش جدید، از نظر معیارهای کارایی، ارزیابی شده و با روش‌های پیشین در شرایط مشابه مورد مقایسه قرار گرفته است.

۴- نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی

در این بخش، پروتکل پیشنهادی با شبیه‌سازی کامپیوتری مدل‌سازی شده و کارایی آن ارزیابی شده است. روش پیشنهادی و روش‌های مشابه پیشین با استفاده از نرم‌افزار متلب[۱] کدنویسی شد و برای مقایسه، نتایج شبیه‌سازی در شرایط یک‌سان با دو پروتکل SIMPLE و ATTEMP مقایسه شده است.

در ادامه، معیارهای کارایی که برای ارزیابی عمل‌کرد پروتکل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته، تعریف شده است.

دوره‌ی پایداری: مدت زمان عملیات شبکه تا از کار افتادن اولین گره در شبکه (به دلیل اتمام انرژی)، دوره‌ی پایداری نامیده شده است. به دوره‌ی بعد از دوره‌ی پایداری، دوره‌ی ناپایدار گفته می‌شود.

توان عملیاتی: تعداد کل بسته‌هایی که چاهک در واحد زمان با موفقیت دریافت می‌کند، توان عملیاتی شبکه درنظر گرفته شده است.

انرژی باقی‌مانده: انرژی باقی‌مانده‌ی گره‌ها در هر دور از فعالیت شبکه، به عنوان معیار کارایی در نظر گرفته شده است.

تعداد گره‌های مرده: تعداد گره‌هایی که در هر دوره به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتند یا می‌میرند، نشان‌دهنده‌ی تعداد گره‌های مرده در شبکه است.

کارایی انرژی شبکه: برابر است با نسبت کل تعداد بسته‌های رسیده به چاهک به مجموع کل انرژی برداشت شده در هر دوره از فعالیت شبکه.

مسیر از دست رفته: اختلاف بین توان ارسالی فرستنده و توان دریافتی گیرنده است که با واحد دسی‌بل[۲] نشان داده می‌شود.

[۱] Matlab

اطلاعات شبکه‌ی فرضی مورد مطالعه، بر اساس جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱)- اطلاعات شبکه

تعداد گره‌ها	ایستگاه پایه	شبکه
8	(0.25,1)	EH-WBAN

در جدو ل (۲) پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی بیان شده است.

جدول (۲)- پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی [۷]

پارامتر	nRF401A	CC2420	واحد
DC Current(Tx)	10.5	17.4	mA
DC Current(Rx)	18	19.7	mA
حداقل ولتاژ مورد نیاز	1.9	2.1	V
انرژی برای ارسال هربیت (Etx−elec)	16.7	96.9	nJ/bit
انرژی برای دریافت هر بیت (Erx−elec)	36.1	172.8	nJ/bit
Eamp	1.97e-9	2.71	e-7 j/b

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن، معمولا از یکی از دو سخت‌افزار زیر به عنوان فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود: Nordic nRF 2401A که یک سخت‌افزار تک‌تراشه است و توان فرستنده و گیرنده‌ی کمی دارد، و دیگری Chipcon CC2420 می‌باشد. فرکانس عملیاتی هر دو فرستنده و گیرنده 2.4 GHz است. در ارزیابی روش پیشنهادی، به دلیل توان مصرفی کمتر Nordic، سخت‌افزار nRF 2401A در نظر گرفته شده است [۱۲].

در جدول (۳) پارامترهای مورد استفاده برای منابع برداشت انرژی نشان داده شده است. در این جدول، چهار فعالیت انسانی در نظر گرفته شده است. مقدار $P_{EH\,min}$ به معنای حداقل توان برداشت انرژی و $P_{EH\,max}$ به معنای حداکثر میزان برداشت انرژی می‌باشد و انرژی برداشتی به صورت تصادفی از این بازه‌ها انتخاب می‌شود.

جدول (۳)- پارامترهای منابع برداشت انرژی [۸]

Activity	P_{EHmin}	P_{EHmax}	μ_{ON}
Relaxing	$1\mu_W$	$4.8\mu_W$	0.9
Walking	$128.6\mu_W$	$186\mu_W$	0.1
Running	$724.2\mu_W$	$910\mu_W$	0.1-0.2
Cycling	$37.4\mu_W$	$72.3\mu_W$	0.9

[۲] Decibel (Db0029

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

هم‌چنین، در محاسبه‌ی مصرف انرژی هنگام ارسال و دریافت امواج رادیویی توسط گره‌ها، مدل مصرف انرژی بر اساس مدل ارائه شده در مرجع [۱۷] و با روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود.

$$E_t = lE_{elec} + l \in_{amp} d^2 \qquad (۸)$$

در رابطه‌ی فوق، E_t انرژی مصرفی مدار فرستنده، l طول بسته‌ی ارسالی، E_{elec} انرژی مصرفی مدار الکترونیکی، و l طول بسته‌ی ارسالی است. $\in_{amp}$ انرژی مصرفی مدار آمپلی‌فایر و d پارامتر فاصله است. رابطه‌ی زیر انرژی مصرفی گیرنده‌ی رادیویی را در یک گره حسگر بدن نشان می‌دهد.

$$E_r = lE_{elec} \qquad (۹)$$

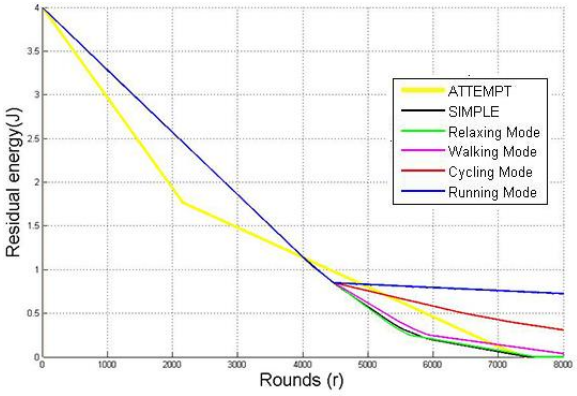
در ادامه، نتایج شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱- انرژی باقی‌مانده

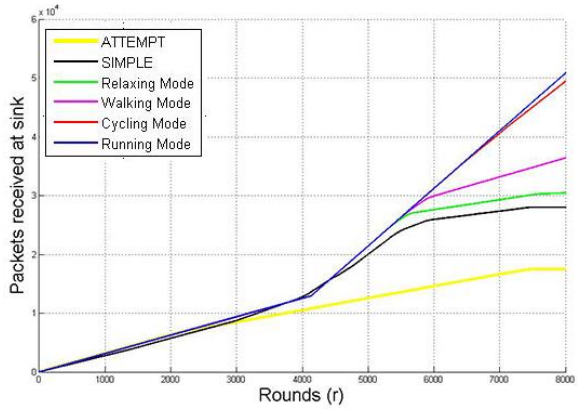
شکل (۵) میزان انرژی باقی‌مانده در هر دور را نشان می‌دهد. زمانی که انرژی یک گره از حد آستانه‌ی پایین، کمتر می‌شود، گره به حالت برداشت انرژی رفته و انرژی برداشت می‌کند، و این کار باعث می‌شود که انرژی باقی‌مانده‌ی گره افزایش یابد. در حالت Runnig Mode، به دلیل این‌که، میزان برداشت انرژی از سه حالت برداشت انرژی دیگر بیشتر است، انرژی باقی‌مانده در این حالت بیشتر از سه حالت دیگر است. استفاده از مسیریابی چندگامه برای ارسال اطلاعات از طریق گره رابط به چاهک، که کاهش فاصله‌ی ارسالی را در پی دارد، باعث کاهش انرژی مصرفی می‌شود و در نتیجه انرژی باقی‌مانده‌ی گره‌ها افزایش می‌یابد. برای ذخیره‌ی بیشتر انرژی و رعایت تعادل مصرف انرژی، گره رابط در هر دور، مجدد انتخاب می‌شود. انتخاب مجدد گره رابط در هر دور، موجب تعادل مصرف انرژی درگره‌ها شده و در افزایش انرژی باقی‌مانده‌ی شبکه موثر است. در این روش، گره‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها از چاهک کمتر از گره رابط است، برای ارسال داده به چاهک، از ارسال مستقیم استفاده می‌کنند که این فرایند باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش انرژی باقی‌مانده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود، پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل SIMPLE و ATTEMPT عمل‌کرد بهتری داشته است.

۴-۲- توان عملیاتی

شکل (۶)، تعداد بسته‌هایی که در واحد زمان به طور موفق به چاهک رسیده است را نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت اطلاعات ارسالی، که شامل علائم حیاتی و بالینی بدن می‌باشد، به حداکثر رساندن تعداد بسته‌های ارسالی از اهمیت بالایی برخوردار است. از این‌رو، باید گره‌های بیشتری زنده بمانند تا بسته‌های بیشتری به چاهک برسد. در روش پیشنهادی، گره‌ای که بیشترین انرژی باقی‌مانده را دارد، به عنوان گره رابط انتخاب می‌شود. این کار باعث می‌شود که انرژی گره رابط زود به پایان نرسد و بتواند بسته‌های اطلاعاتی بیشتری را به چاهک ارسال کند. هم‌چنین، به دلیل ارسال چندگامه‌ی اطلاعات، گره‌ها می‌توانند مدت زمان بیشتری زنده بمانند و بسته‌های بیشتری به چاهک ارسال کنند. در روش پیشنهادی، زمانی که برداشت انرژی انجام می‌شود، چون گره‌ها می‌توانند انرژی برداشت کنند، انرژی آن‌ها هرگز به پایان نمی‌رسد، طول دوره‌ی پایداری شبکه افزایش پیدا کرده و گره‌های بیشتری زنده می‌مانند. بنابراین، تعداد بسته‌های رسیده به چاهک نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، تقریبا از دور ۴۵۰۰ تا ۸۰۰۰ که برداشت انرژی برای گره‌ها شروع می‌شود، تعداد بسته‌های رسیده به چاهک افزایش می‌یابد. هم‌چنین در روش پیشنهادی، هنگامی که گره در حال برداشت انرژی است، هم‌چنان می‌تواند با ارسال داده‌ها به گره همسایه و سپس از طریق آن همسایه، بسته‌های اطلاعاتی خود را به چاهک ارسال کند. در نتیجه، این قابلیت باعث می‌شود که بسته‌های بیشتری به چاهک برسند.



شکل (۵)- میزان انرژی باقی‌مانده در دور

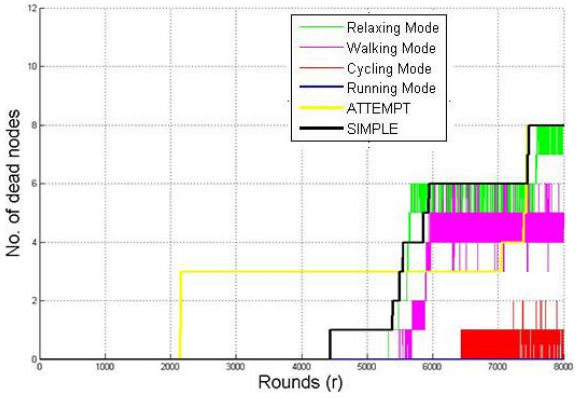


شکل (۶)- تعداد بسته‌های ارسالی به چاهک

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

۴-۳- گره‌های مرده[۱]

شکل (۷)، تعداد گره‌هایی را نشان می‌دهد که انرژی آن‌ها به پایان رسیده و از نظر عملیاتی مرده‌اند. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، هنگامی که گره‌ها انرژی دریافت می‌کنند، دیگر نمی‌میرند. برای مثال، در دور ۷۰۰۰ در پروتکل ATTEMPT، ۳ گره و در پروتکل SIMPLE، ۶ گره به دلیل اتمام انرژی از کار افتاده و مرده‌اند. اما در پروتکل پیشنهادی، در حالت Runnig Mode به دلیل وجود قابلیت برداشت انرژی، هیچ گره‌ای نمی‌میرد، اما در سه حالت دیگر گره‌ها می‌میرند و پس از برداشت انرژی دوباره زنده می‌شوند. این اتفاق به دلیل ناچیز بودن برداشت انرژی در این حالات رخ می‌دهد. هم‌چنین، به دلیل استفاده از معیار بیشترین انرژی باقی‌مانده در انتخاب گره رابط، گره‌هایی که انرژی کمتری دارند به عنوان گره رابط انتخاب نمی‌شوند. بنابراین گره‌هایی که انرژی کمتری دارند کمتر در فرایند مسیریابی شرکت کرده و انرژی آن‌ها دیرتر به پایان می‌رسد. هم‌چنین انتخاب مجدد گره رابط در هر دور، باعث می‌شود تا طول عمر شبکه افزایش پیدا کند. استفاده از مسیریابی چندگامه در روش پیشنهادی، باعث می‌شود که گره‌هایی که در فاصله‌ی دورتری از گره چاهک قرار دارند، به دلیل اجتناب از مصرف زیاد انرژی، داده‌های خود را مستقیم به چاهک ارسال نکرده و در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند. هم‌چنین، زمانی که فاصله‌ی گره حسگر به چاهک کمتر از فاصله تا گره رابط است، ارسال مستقیم داده از گره حسگر به چاهک، منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌شود. شکل (۶) نشان می‌دهد که با استفاده از پروتکل پیشنهادی، تعداد گره‌های مرده نسبت به پروتکل SIMPLE و ATTEMPT کمتر شده و شبکه می‌تواند مدت طولانی‌تری به فعالیت خود ادامه دهد.



شکل (۷)- تعداد گره‌های مرده در دور

[۱] No. of Dead Nodes

۴-۴- نرخ مسیر از دست رفته[۲]

امواج الکتریکی در اثر عبور از فضا به تدریج در مسیر خود دچار افت توان می‌شوند که این افت توان، نرخ مسیر از دست رفته نامیده می‌شود.

از دست رفتن مسیر به دلیل فاصله‌ی بین مبدا و مقصد رخ می‌دهد و بر اساس روابطی که در ادامه توضیح داده شده، محاسبه می‌شود.

از دست رفتن مسیر با فاصله و فرکانس ارتباط دارد، ارتباط فرکانس با از دست دادن مسیر در رابطه‌ی (۱۰) نشان داده شده است [۱۸].

$$\sqrt{PL(f)}\ \alpha\ F^{k} \qquad (۱۰)$$

رابطه‌ی فوق وابسته به فرکانس بوده و با علم هندسه‌ی بدن مرتبط است.

ارتباط فاصله با از دست دادن مسیر در رابطه‌ی (۱۱) نشان داده شده است.

$$PL\ (f,d) = PL_0 + 10n\log_{10}\frac{d}{d_0} \times X_\sigma \qquad (۱۱)$$

در رابطه‌ی فوق، PL توان ارسالی، d فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده، d_0 فاصله‌ی مرجع، n ضریب از دست رفتن مسیر (که مقدار آن به انتشار محیط بستگی دارد) می‌باشند. در فضای آزاد، این مقدار برابر ۲ است، برای WBAN و n، از ۳ تا ۴، برای ارتباطات LOS، ۵ تا ۷ و برای ارتباطات NLOS متفاوت است. X متغییر احتمالی گوسی و σ انحراف معیار است. PL_0 توان گیرنده برای فاصله‌ی مرجع d_0 است که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$PL_0 = 10\log_{10}\frac{(4\pi \times d \times f)^2}{c} \qquad (۱۲)$$

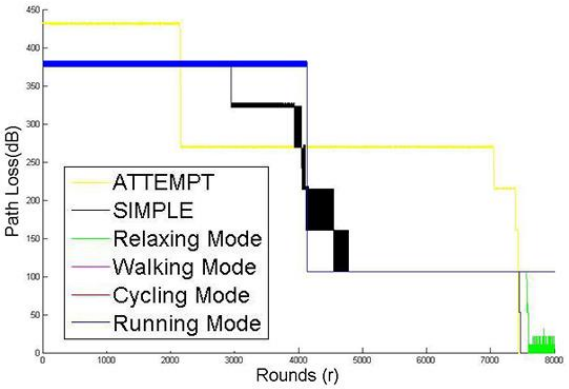
در رابطه‌ی فوق، f فرکانس، c سرعت نور، d فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده، و مقدار مرجع d_0 برابر ۱۰ سانتی‌متر است. پیش‌بینی قدرت بین فرستنده و گیرنده دشوار است، برای رفع این مشکل از انحراف معیار X_σ استفاده می‌شود.

شکل (۸) نرخ مسیر از دست رفته را نشان می‌دهد. استفاده از ارسال چندگامه می‌تواند فاصله‌ی لازم برای ارسال بسته را کاهش دهد که این منجر به کاهش نرخ مسیر از دست رفته می‌شود. تحرک نیز می‌تواند باعث از دست رفتن مسیر در بین گره‌ها شود. پروتکل پیشنهادی نسبت به دو پروتکل دیگر، در

[۲] Pass Loss

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

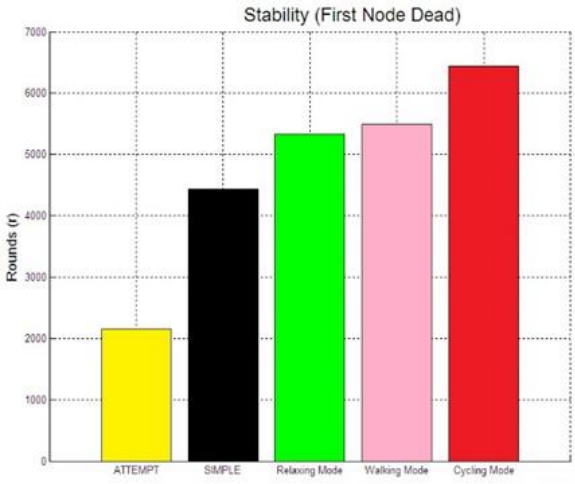
اکثر حالت‌های برداشت انرژی در معیار نرخ از دست رفتن مسیر عمل‌کرد بهتری داشته و در دورهای بالاتر به صفر رسیده است. در حالت Relaxing mode، به دلیل این‌که بدن تحرک چندانی ندارد، نرخ برداشت انرژی کمتر می‌باشد.



شکل (۸)- نرخ مسیر از دست رفته

۴-۵- پایداری[۱]

شکل (۹)، طول دوره‌ی پایداری را نشان می‌دهد. این معیار بیان‌گر طول مدت زمانی است که اولین گره به دلیل اتمام انرژی می‌میرد. در دو پروتکل ATTEMPT و SIMPLE، به دلیل عدم قابلیت برداشت انرژی، انرژی اولین گره در دور ۲۰۰۳ و ۴۴۰۰ به پایان می‌رسد، اما در پروتکل پیشنهادی، دوره‌ی پایداری افزایش یافته است. هم‌چنین، در حالتی که گره توسط حالت Runnig Mode انرژی برداشت می‌کند، گره نمی‌میرد و شبکه در این حالت کاملا پایدار است؛ اما در سه حالت دیگر، به دلیل برداشت انرژی ناچیز در هر کدام از حالت‌ها، میزان پایداری کمتر می‌باشد.

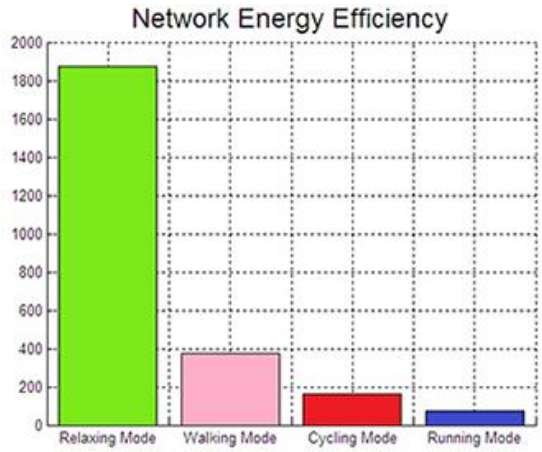


شکل (۹)- طول دوره‌ی پایداری

استفاده از مسیریابی چندگامه، در افزایش طول عمر گره‌های کم انرژی موثر است. هم‌چنین، به دلیل این‌که گره رابط بیشترین بار کاری را تحمل می‌کند، ممکن است انرژی آن زودتر به پایان برسد، اما امکان انتخاب گره رابط بر اساس بیشترین انرژی باقی‌مانده، از این امر جلوگیری می‌کند. هم‌چنین، انتخاب گره رابط در هر دور منجر به افزایش پایداری شبکه می‌شود.

۴-۶- کارایی انرژی شبکه[۲]

شکل (۱۰)، کارایی انرژی شبکه را نشان می‌دهد. این معیار از نسبت کل تعداد بسته‌های رسیده به چاهک، به مجموع کل انرژی برداشت شده در هر دوره را نمایش می‌دهد. این معیار برای سه حالتی که برداشت انرژی انجام می‌شود در نظر گرفته شده است، زیرا دو پروتکل مورد مقایسه، قابلیت برداشت انرژی ندارند و نمی‌توانند مورد مقایسه قرار گیرند. این شکل نشان می‌دهد که به دلیل برداشت انرژی، گره‌ها مدت زمان بیشتری زنده می‌مانند، در نتیجه بسته‌های بیشتری به چاهک ارسال کرده و درنتیجه کارایی شبکه افزایش می‌یابد.



شکل (۱۰)- کارایی انرژی شبکه

۵- نتیجه‌گیری

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن، چند گره حسگر بی‌سیم روی بدن قرار گرفته یا درون بدن کاشته می‌شون،د و می‌توانند اطلاعاتی بالینی مانند علائم حیاتی بیماران و سالمندان را به مراکز درمانی ارسال کنند. یکی از چالش‌های شبکه‌های بی‌سیم بدن، مصرف انرژی و طول عمر شبکه است. گره‌های انرژی برداشت، قابلیت برداشت انرژی از محیط اطراف را دارند. این گره‌ها هرگز به دلیل اتمام انرژی برای همیشه نمی‌میرند، در

[۱] Stability

[۲] Network Energy Efficiency

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org

نتیجه، استفاده از قابلیت برداشت انرژی در شبکه‌های بی‌سیم بدن می‌تواند منجر به افزایش کارایی آن‌ها شود. در این مقاله، یک پروتکل کارا جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم بدن معرفی شد، و کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل‌های SIMPLE و ATTEMPT مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌های کامپیوتری نشان داد که روش پیشنهادی نسبت به دو پروتکل دیگر عمل‌کرد بهتری داشته است. برای انجام پژوهش‌های آتی در این موضوع، پیشنهاد می‌شود که برای صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی، از ارسال داده‌های تکراری به گره رابط و در نتیجه ارسال به چاهک در فرایند مسیریابی جلوگیری شود، و هم‌چنین با در نظر گرفتن تحرک بدن در حالات مختف و زمان‌های متفاوت روز، عمل‌کرد مسیریابی، بیش از پیش بهینه گردد. هم‌چنین، در پژوهش حاضر از گره ایجاد شده توسط گره‌های حسگر و اثرات آن روی بدن صرف نظر شده است، که می‌توان روش پیشنهادی را با در نظر گرفتن این عامل تغییر داده و بهبود بخشید.

۶- سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند که از آقای رضا اصغری به دلیل همکاری صمیمانه تشکر کنند.

۷- مراجع

[۱] م. گل‌سرخ‌تبارامیری، ر. اصغری، « شبکه‌های حسگر بی‌سیم بدن ،» ویرایش اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل، ۱۳۹۶.

[2] G. K. Ragesh, K. Baskaran, an Overview of Applications, Standards and Challenges in Futuristic Wireless Body Area Networks, (2012).

[3] X. Xu, L. Shu, M. Guizani, M. Liu, J. Lu, A survey on energy harvesting and integrated data sharing in wireless body area networks. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2015.

[4] X. Qi , K. Wang, A. Huang, L. Shu, Y. Liu, A harvesting-rate oriented self-adaptive algorithm in Energy-Harvesting Wireless Body Area Networks. In Industrial Informatics (INDIN), 2015 IEEE 13th International Conference on (pp. 966-971). IEEE, July, 2015,

[5] K. G. Dangi, S. P. Panda, Challenges in wireless body area network-a survey. In Optimization, Reliabilty, and Information Technology (ICROIT, International Conference on (pp. 204-207). IEEE, February 2014.

[6] J. I. Bangash, A. H. Abdullah, M. H. Anisi, A.W. Khan, A survey of routing protocols in wireless body sensor networks. Sensors, 14(1), 1322-1357, 2014.

[7] Eu, Z. A., Tan, H. P., & Seah, W. K, Opportunistic routing in wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting. Computer Networks, 54(17), 2943-2966, 2010.

[8] Wu, D., He, J., Wang, H., Wang, C., & Wang, R, A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor network IEEE Communications Magazine, 53(8), 92-98, 2015.

[9] A. Z. Kausar, A. W. Reza, M. U. Saleh, M. H. Ramiah, energizing wireless sensor networks by energy harvesting systems: Scopes, challenges and approaches. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38, 973-989, 2014.

[10] M. H. Anisi, G. Abdul-Salaam, M. Y. I. Idris, A. W. A. Wahab, I. Ahmedy, Energy harvesting and battery power based routing in wireless sensor networks. Wireless Networks, 1-18, 2015.

[11] S. Ahmed, N. Javaid, S. Yousaf, A. Ahmad, M. M. Sandhu, M. Imran, N. Alrajeh, Co-LAEEBA: Cooperative link aware and energy efficient protocol for wireless body area networks. Computers in Human Behavior, 51, 1205-1215, 2015.

[12] Q. Nadeem, N. Javaid, S. N. Mohammad, M. Y., Khan, S. Sarfraz, M. Gull, SIMPLE: Stable increased-throughput multi-hop protocol for link efficiency in wireless body area networks. In Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2013 Eighth International Conference on (pp. 221-226). IEEE. October, 2013.

[13] N. Javaid, Z. Abbas, , M. S. Fareed, Z. A. Khan, N. Alrajeh, M-ATTEMPT: A new energy-efficient routing protocol for wireless body area sensor networks. Procedia Computer Science, 19, 224-231, 2013.

[14] R. Bala, An Energy Efficient Routing protocol in Wireless Body Area Networks. Progress in Science and Engineering Research Journal, p101-106, 2(04), 2014.

[15] N. Javaid, A. Ahmad, Q. Nadeem, M. Imran, N. Haider, IM-SIMPLE: iMproved stable increased-throughput multi-hop link efficient routing protocol for Wireless Body Area Networks. Computers in Human Behavior, 51, 1003-1011, 2015.

[16] E. Ibarra, A. Antonopoulos, Kartsakli, E. , J. J. Rodrigues, C. Verikoukis. QoS-aware energy management in body sensor nodes powered by human energy harvesting. IEEE Sensors Journal, 16(2), 542-549, 2016.

[17] W. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks., IEEE Transactions on wireless communications, 1(4), 660-670, 2002.

[18] N. Javaid, N. A. Khan, M. Shakir, M. A Khan, S. H. Bouk, Z. A. Khan. Ubiquitous healthcare in wireless body area networks-a survey. arXiv preprint arXiv:1303.2062. 2013.

© Copyright 2018 ISBME, http://www.ijbme.org