

## Adaptive Sampling Rate Determination for Energy Efficiency of Wireless Body Area Networks

Mohammad Mehrani<sup>1</sup>, Iman Attarzadeh<sup>2\*</sup> and Mehdi Hosseinzadeh<sup>3</sup>

1- Department of Computer Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

2\*- Department of Computer Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

2\*- Department of Computer Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>1</sup>mehrani@iaud.ac.ir, <sup>2\*</sup>iman.attarzadeh@iauctb.ac.ir and <sup>3</sup>hosseinzadeh@srbiau.ac.ir

Corresponding author address: Iman Attarzadeh, Computer Engineering Department, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Post Code : 768/13185

**Abstract-** Considering the facts that existing biosensors in Wireless Body Area Networks (WBANs) - that are in charge of collecting vital sign data of patients, performing preprocessing and sending them to a data fusion center - have limitations in energy consumption and data processing capability of biosensors, therefore, sampling rate has a direct impact on network energy consumption and its useful lifetime. Regarding the above issues, this paper presents an adaptive approach to determining optimal sampling rate for data management. In this regard, by using National Early Warning Score (NEWS) system, the biosensors collect relevant data and recognize the emergency information locally. To optimize nodes' activity, information about the patient's activity is extracted so that when the patient's activity is normal some of the nodes are transferred from active mode to sleep mode. Also, to determine the exact sampling rate, a statistical test was first developed to evaluate the variance associated with the patient's vital signs. Then, by using an appropriate interpolation function, the optimal sampling rate is determined. The interpolation function uses two main factors to determine the sampling rate: the patient's risk information and the values measured by the pivot node. Simulation results show about 66 percent optimization in number of communicated data and increasing more than 2.5 times of network lifetime.

**Keywords-** Wireless Body Area Networks, Data Communication, Energy Efficiency, Overhead Data, Statistical Test, Interpolation.



## تعیین نرخ نمونه برداری به صورت وفقی در راستای بهینگی مصرف انرژی در

### شبکه های بدنی بی سیم

محمد مهرانی<sup>۱</sup>، ایمان عطار زاده<sup>۲\*</sup>، مهدی حسین زاده<sup>۳</sup>

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۲\* - گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۳\* - گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

<sup>1</sup>[mehrani@iaud.ac.ir](mailto:mehrani@iaud.ac.ir), <sup>2</sup>[iman.attarzadeh@iauctb.ac.ir](mailto:iman.attarzadeh@iauctb.ac.ir), <sup>3</sup>[hosseinzadeh@srbiau.ac.ir](mailto:hosseinzadeh@srbiau.ac.ir)

\* نشانی نویسنده مسئول: ایمان عطار زاده، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، کد پستی: ۱۳۱۸۵/۷۶۸

چکیده- با توجه به اینکه بیوسنسورهای<sup>۱</sup> موجود در در شبکه های بی سیم بدنی<sup>۲</sup> که مسئول جمع آوری داده ها، انجام عملیات پیش پردازش و سپس ارسال آن ها به یک مرکز تلفیق داده می باشند دارای محدودیت مصرف انرژی و قابلیت پردازش داده ها می باشند لذا نرخ نمونه برداری دارای تأثیر مستقیم بر روی مصرف انرژی شبکه و نیز طول عمر مفید آن دارد. لذا این مقاله به ارائه یک رویکرد وفقی جهت تعیین نرخ نمونه برداری بهینه در راستای مدیریت داده ها می پردازد. در همین راستا با استفاده از سیستم ارزش گذاری هشدار اولیه ملی<sup>۳</sup>، بیوسنسورها به جمع آوری داده های مربوطه پرداخته و به تشخیص اطلاعات اورژانسی به صورت محلی<sup>۴</sup> می پردازند. جهت بهینه سازی فعالیت گره ها، اطلاعات مربوط به فعالیت بیمار استخراج شده تا بر اساس آن در مواقعی که فعالیت بیمار به صورت عادی و غیر اضطراری می باشد تعدادی از گره ها از حالت فعال به حالت خواب انتقال یابند. همچنین جهت تعیین نرخ دقیق نمونه برداری، ابتدا یک آزمون آماری برای ارزیابی واریانس مربوط به علائم حیاتی بیمار توسعه داده شده و سپس با استفاده از یک تابع درون یابی مناسب، نرخ نمونه برداری بهینه تعیین می گردد. تابع درون یابی جهت تعیین نرخ نمونه برداری از دو فاکتور اصلی استفاده می نماید: اطلاعات مربوط به ریسک بیمار<sup>۵</sup> و مقادیر اندازه گیری شده توسط گره محوری<sup>۶</sup>. نتایج شبیه سازی نشان دهنده حدود ۶۶ درصد بهینه سازی در تعداد داده های ارسالی و افزایش طول عمر مفید شبکه به میزان بیش از ۲.۵ برابر می باشد.

واژه های کلیدی: شبکه های بدنی بی سیم، تبادل داده، بهینگی مصرف انرژی، داده های سربار، آزمون آماری، درون یابی

#### ۱- مقدمه

زیرمجموعه ای از شبکه های حسگر بی سیم<sup>۷</sup> بوده که امکان نظارت مستمر بر روی داده های پزشکی - بهداشتی و علائم حیاتی مربوط به یک بیمار و یا فرد سالمند را فراهم می آورد. در واقع حسگرهای واقع در این شبکه ها به صورت بی سیم به یکدیگر متصل شده و تشکیل یک شبکه را می دهند. شبکه های حسگر بدنی بی سیم جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های حیاتی را با استفاده از انواع مختلف حسگرهای پزشکی (مانند حسگر دمای بدن، حسگر ضربان قلب، حسگر فشارخون، حسگر ثبت سیگنال ضربان قلب<sup>۸</sup>، حسگر

امروزه حفظ کیفیت زندگی و افزایش امید به زندگی بسیار مهم است. بنابراین، نیاز به نظارت هوشمند بر وضعیت بیماران به طور فزاینده ای در حال افزایش است. از این رو، نظارت بر بیمار توسط ابزارهای هوشمند، راه حلی برای نظارت مستمر بر علائم حیاتی آن ها است تا بتوان به طور مؤثر وضعیت سلامتی آن ها را کنترل نموده و در صورت وقوع موارد اضطراری، از قبیل تغییر غیرطبیعی ضربان قلب، درمان اضطراری انجام شود. شبکه های بدنی بی سیم

صورت نمی‌گیرد بلکه پس از ارسال اکثر داده‌های ثبت شده به هماهنگ کننده، این امر در سطح هماهنگ کننده صورت می‌پذیرد. با توجه به محدودیت انرژی در حسگرهای مورد استفاده در شبکه‌های حسگر بدنی بیسیم، کاهش تعداد پیام‌های ارسالی و داده‌های سرباره<sup>۱۱</sup> در طول عملیات جمع‌آوری و ارسال داده تأثیر زیادی در بهبود عملکرد این شبکه‌ها خواهد داشت. لذا هدف این تحقیق ارائه روشی جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری حسگرها به صورت وفقی بوده تا مصرف انرژی حسگرهای شبکه و نیز تولید داده‌های سرباره شبکه بهینه گردد.

بخش دوم تحقیق جاری به مروری بر روی تحقیقات پیشین پرداخته و بخش سوم نیز به معرفی رویکرد پیشنهادی جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری به صورت وفقی می‌پردازد. همچنین نتایج شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی و مقایسه آن با کارهای قبلی در بخش چهارم صورت می‌گیرد.

## ۲- تحقیقات پیشین

تاکنون کارهای متنوعی در زمینه جمع‌آوری داده در اینترنت اشیا و شبکه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا از قبیل شبکه‌های نظارت بر سلامت و شبکه‌های بدنی بیسیم ارائه شده است که در اینجا به اختصار به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. یون و همکارانش در [۶] به ارائه یک رویکرد جهت ثبت اطلاعات به صورت تطبیقی و همچنین انتخاب نرخ فشرده‌سازی برای شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته‌اند. رویکرد آنها جهت افزایش وضوح داده‌ها بدون افزایش تعداد گره‌های غیرفعال ارائه شده است. انتخاب یک الگوریتم فشرده‌سازی مناسب و انتخاب نرخ نمونه‌برداری به صورت وفقی توسط گره‌های شبکه انجام می‌شود. استراتژی پیشنهادی منجر به کاهش انرژی مصرفی گره‌ها و افزایش نرخ تحویل بسته در سینک می‌شود.

نویسندگان در [۷] به ارائه یک رویکرد جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری به صورت وفقی برای شبکه‌های حسگر بیسیم با قابلیت شارژ مجدد پرداخته‌اند. به این منظور آنها الگوریتم نمونه‌برداری وفقی احیایی<sup>۱۲</sup> و الگوریتم نمونه‌برداری وفقی جبرانی<sup>۱۴</sup> را ارائه داده و یک روش برای اعمال آنها در شبکه ارائه نموده‌اند. در واقع حسگرهای موجود در شبکه مورد نظر از قابلیت شارژ مجدد توسط انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی انتقالی توسط فرکانس رادیویی<sup>۱۵</sup> و غیره برخوردار بوده و از این طریق به دریافت<sup>۱۶</sup> انرژی می‌پردازند. رویکرد پیشنهادی مذکور باعث افزایش دوام و پایداری گره‌ها به موازات کاهش مصرف انرژی آنها در شبکه‌های مورد نظر شده است.

ثبت سیگنال مغز<sup>۹</sup> و غیره) انجام می‌دهند. به‌طور کلی شبکه‌های حسگر بدنی بیسیم برای نظارت خانگی و بیمارستانی بر بیماران و یا برای نظارت بر سالمندان در خانه‌های سالمندان، اجتناب از بستری شدن غیرضروری بیمار در بیمارستان و موارد مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرند که این امر کاهش هزینه‌های مربوط به بهداشت عمومی را در پی خواهد داشت [۱].

نظارت بر بیمار شامل انتقال دوره‌ای علائم حیاتی روزمره بیمار بوده و هنگامی که مقدار علائم حیاتی از یک حد آستانه مشخص عبور می‌کنند سیگنال‌های هشدار مربوطه ارسال می‌شوند. حسگرهای واقع در شبکه‌های بدنی بیسیم را می‌توان بر روی بدن بیمار قرار داده و یا به آنها تزریق نمود. بیوسنسورها داده‌های دریافتی از علائم حیاتی را به یک هماهنگ‌کننده<sup>۱۰</sup> که بر روی بدن بیمار و یا نزدیک بیمار قرار گرفته است ارسال می‌کنند. هماهنگ‌کننده به جمع‌آوری اطلاعات ارسال شده از سوی حسگرها و اتخاذ تصمیم در مورد وضعیت بیمار پرداخته و همچنین هشدارهای لازم را جهت ارسال به مرکز مراقبت‌های بهداشتی و یا هر مقصد دیگر صادر می‌نماید [۲]. همچنین هماهنگ‌کننده می‌تواند داده‌ها را برای اتخاذ تصمیم به یک مرکز تصمیم‌گیری واقع در پایگاه مرکزی<sup>۱۱</sup> ارسال نماید. چالش‌های زیادی در این نوع شبکه‌ها وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به مصرف انرژی زیاد به دلیل انتقال داده به صورت دوره‌ای و همچنین حجم زیاد داده‌های تولید شده توسط حسگرهای با محدودیت انرژی اشاره نمود. علائم حیاتی می‌توانند بین مقادیر طبیعی و مقادیر بحرانی باشند؛ البته ذکر این نکته ضروری است که تغییرات شرایط و علائم حیاتی بیمار تحت نظارت می‌تواند با سرعت‌های متفاوت صورت پذیرد. لذا جهت کاهش مصرف انرژی، نرخ نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها به صورت دوره‌ای می‌تواند تغییر یابد به طوری که در شرایط عادی و طبیعی بیمار، نرخ نمونه‌برداری کاهش یافته و هنگامی که وضعیت بیمار به سمت حالت بحرانی و خطرناک پیش می‌رود این نرخ افزایش یابد [۳ و ۴].

نویسندگان در [۵] به ارائه یک رویکرد جهت جمع‌آوری اطلاعات مربوط به شبکه‌های حسگر دوره‌ای براساس واریانس مقادیر گره‌ها و انرژی باقیمانده آنها می‌نمایند. در این رویکرد، نرخ نمونه‌برداری مناسب برای گره‌های شبکه با استفاده از تحلیل‌های آماری تعیین می‌شود. با توجه به اینکه انرژی حسگرها یکی از پارامترهای اصلی جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری می‌باشد لذا دارای تاثیر مستقیم بر روی نرخ نمونه‌برداری بوده که این امر ممکن است باعث از دست دادن اطلاعات مهم و اورژانسی گردد. همچنین در این رویکرد تشخیص حالات بحرانی در سطح گره به هیچ وجه

کاهش حجم داده‌های تبادل شده در مقایسه با کارهای مشابه قبلی از نتایج رویکردهای مذکور می‌باشد.

برادای و همکاران [۱۴]، به ارائه روشی جهت جمع‌آوری و زمان‌بندی دریافت داده‌ها در شبکه‌های بدنی بی‌سیم پرداخته که از شبکه‌های بی‌سیم به‌کاررفته در حوزه پزشکی استفاده می‌نمایند. نویسندگان این مقاله علاوه بر بررسی پروتکل IEEE 802.15.6 که مخصوص شبکه‌های حسگر بدنی بی‌سیم می‌باشد به ارائه متدهایی جهت انتقال داده‌ها با حفظ قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات پرداخته‌اند. نویسندگان مقاله مذکور به ایجاد ارتباطات لازم جهت تبادل داده‌ها بین این شبکه‌ها پرداخته و جهت افزایش کیفیت خدمات به ارائه الگوریتم‌هایی پرداخته‌اند که تا حد زیادی از ایجاد کمبود بسته‌های داده موردنیاز اجتناب می‌نمایند. نتایج حاصل از این الگوریتم نشان‌دهنده کاهش تأخیر ضمن عملیات انتقال داده، افزایش توان عملیاتی شبکه، کاهش تعداد بسته‌های گم‌شده و افزایش کیفیت خدمات نسبت به کارهای مشابه می‌باشد.

لایمانی و سایر نویسندگان [۱۵]، به ارائه یک متد جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری در عملیات جمع‌آوری داده به‌صورت وفقی برای شبکه‌های حسگری دوره‌ای پرداخته که به فاکتور انرژی مصرفی حسگرهای شبکه توجه نموده و از آن به‌عنوان اساسی‌ترین محدودیت در این‌گونه شبکه‌ها یاد می‌نماید؛ لذا تا حد امکان سعی در بهینه‌سازی و کمیینه‌سازی انرژی مصرفی حسگرها دارد. روش پیشنهادی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه به راه‌کار استفاده از نمونه‌برداری وفقی پرداخته و با تقسیم‌بندی حالات بیمار تحت نظر به دو دسته ریسکی و غیر ریسکی و همچنین با ارائه فرمول‌های ریاضی، استفاده از نرخ‌های نمونه‌برداری مختلف در حالات مختلف را در زمان نظارت بر وضعیت بیمار امکان‌پذیر می‌نماید.

تغییرات وضعیتی<sup>۲۲</sup> بر روی مقادیر اندازه‌گیری شده به‌عنوان فاکتور اصلی در این ایده فرض شده است. نتایج شبیه‌سازی اثبات نموده‌اند با استفاده از این روش مصرف انرژی تا حد زیادی بهینه‌سازی شده است. تعیین نرخ نمونه‌برداری در تعدادی از مقالات نوشته‌شده در زمینه اینترنت اشیا [۱۶، ۱۷ و ۱۸] نیز ملاحظه شده است.

اسکریاتالو و سایر نویسندگان در [۸] سیستم‌های فراگیر هوشمند و بحث نمونه‌برداری در آن‌ها براساس انرژی گره‌ها را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند. آن‌ها یک تست تشخیص تغییرات مبتنی بر طیف<sup>۲۳</sup> برای شناسایی واریانس زمانی سیگنال‌های شبکه در راستای کشف تداخل سیگنال‌ها ارائه نموده‌اند. در صورت وجود هرگونه تداخل سیگنالی، یک تکنیک وفقی برای انطباق فرکانس نمونه‌برداری فعال می‌شود. صرفه‌جویی در مصرف انرژی گره‌های شبکه از نتایج روش پیشنهادی می‌باشد.

تینگ لو و همکارانش در [۹] بر روی شبکه‌های حسگر بی‌سیم قابل‌شارژ مجدد توسط منابع انرژی قابل استفاده مجدد تمرکز نموده‌اند. نویسندگان به معرفی یک تکنیک جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری بهینه در راستای افزایش کیفیت داده‌ها در شبکه‌های حسگر قابل شارژ پرداخته‌اند. رویکرد آنها در دو سطح اجرا می‌شود. ابتدا الگوریتم تخصیص انرژی<sup>۲۴</sup> جهت تعیین مقدار انرژی که هر گره مجاز به مصرف است اجرا شده سپس الگوریتم تعیین نرخ نمونه‌برداری<sup>۲۵</sup> در سطح شبکه اجرا می‌گردد. ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی نشان‌دهنده بهبود مصرف انرژی و افزایش کیفیت داده‌ها می‌باشد.

روش‌هایی جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری توسط چندین نویسنده در شبکه‌های مختلف انجام شده است. نمونه‌برداری مبتنی بر فشرده‌سازی و بازسازی سیگنال صوتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیردریایی توسط نویسندگان در [۱۰] معرفی شده است. همچنین، نویسندگان در [۱۱] به ارائه یک روش جهت نمونه‌برداری تصادفی برای جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر فشرده‌سازی و خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته‌اند. در واقع نویسندگان در [۱۰] و [۱۱] تلاش نموده‌اند تا تعدادی استراتژی جهت کنترل نرخ نمونه‌برداری برای گره‌های شبکه در راستای کاهش مصرف انرژی گره‌ها و داده‌های سربار شبکه معرفی نمایند.

الگوریتم تشخیص حالت اضطراری محلی<sup>۲۶</sup> [۱۲] و الگوریتم تشخیص حالت اضطراری محلی اصلاح‌شده<sup>۲۷</sup> [۱۳] جهت جمع‌آوری، تلفیق داده و نیز تعیین نرخ نمونه‌برداری در شبکه‌های حسگر بدنی بی‌سیم ارائه شده و با تمرکز بر روی بهبود نرخ نمونه‌برداری تلاش نموده‌اند تا تعداد پیام‌های ارسالی بین حسگرهای شبکه و کنترل‌کننده مرکزی را کاهش دهند. در همین راستا یک تحلیل آماری بر روی مقادیر ثبت‌شده توسط حسگرها صورت گرفته و سپس براساس نتایج حاصله، نرخ نمونه‌برداری تعیین می‌شود. کاهش نسبی انرژی مصرفی شبکه و همچنین

جدول ۱: مشخصات و نقاط ضعف روش‌های پیشین.

مرجع	مساله مورد نظر	روش پیشنهادی	نتایج	اشکالات
[۲]	✓ زمان‌بندی و تجمیع داده در WBAN/WLAN	✓ ارتباط WBAN به WLAN ✓ معرفی پارامتر تاخیر بحرانی	✓ کاهش تاخیر ✓ افزایش توان شبکه	× انتقال داده بطور پیوسته
[۴]	✓ جمع‌آوری داده در شبکه‌های حسگر بیسیم	✓ استفاده از نمونه‌برداری وقتی بر اساس واریانس داده‌ها	✓ کاهش انرژی مصرفی	× فعال بودن غیرضروری حسگرها
[۵]	✓ جمع‌آوری داده	✓ جمع‌آوری داده بصورت وقتی	✓ کاهش نرخ انتقال داده	× فعال بودن غیرضروری حسگرها × مصرف زیاد انرژی حسگرها
[۶]	✓ بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم	✓ انتخاب نرخ فشرده‌سازی بهینه	✓ کاهش انرژی مصرفی	× فعال بودن حسگرها بطور مداوم
[۷]	✓ خودپایداری در شبکه‌های حسگر بیسیم	✓ نمونه‌برداری وقتی	✓ خودپایداری شبکه ✓ کاهش انرژی مصرفی	× فرض قابلیت شارژ مجدد حسگرها × کاربردی نبودن در بسیاری از شبکه‌ها
[۹]	✓ حداکثرسازی کیفیت داده در شبکه‌های حسگر قابل شارژ مجدد	✓ معرفی یک روش جهت محاسبه و تخصیص نرخ نمونه‌برداری توزیع شده	✓ کاهش انرژی مصرفی ✓ افزایش کیفیت داده	× فرض قابلیت شارژ مجدد حسگرها × کاربردی نبودن در بسیاری از شبکه‌ها
[۱۳]	✓ جمع‌آوری داده در شبکه‌های حسگر بیسیم بدنی	✓ ارائه تعدادی الگوریتم جهت نمونه‌برداری	✓ کاهش نرخ انتقال داده	× فعال بودن غیرضروری حسگرها × مصرف زیاد انرژی حسگرها
[۱۶]	✓ جمع‌آوری وقتی داده در شبکه‌های حسگر بیسیم	✓ در نظر گرفتن رفتار پارامترهای فیزیکی در محتوای شبکه	✓ کاهش انرژی مصرفی ✓ کاهش سربار داده	× ملاحظه پارامترهای محدود × در نظر نگرفتن شرایط اضطراری در شبکه
[۱۸]	✓ کاهش حجم داده‌های ارسالی در اینترنت اشیا	✓ کاهش داده‌های ارسالی با استفاده از الگوریتم LMS و فیلترهای وقتی	✓ دقت داده بالا ✓ کاهش نرخ انتقال داده	× در نظر نگرفتن شرایط اضطراری در شبکه × فعال بودن حسگرها بطور مداوم

ارسال و دریافت اطلاعات، شعیب و همکاران در طرح پیشنهادی خود به ارائه یک الگوریتم بهینه جهت دریافت اطلاعات پرداخته و چندین مدل مختلف جهت تشخیص فعالیت ارائه داده‌اند.

کی و سایر نویسندگان [۲۴] به بهبود نرخ نمونه‌برداری در شبکه‌های بدنی بی‌سیم پرداخته و نمونه‌برداری به صورت نرمال و پیوسته در زمان را به همراه مصرف زیاد انرژی به عنوان مشکلات آن‌ها معرفی می‌نمایند. رویکرد پیشنهادی آن‌ها به ارائه روشی جهت کاهش تعداد نمونه‌برداری‌های صورت گرفته بر روی داده‌های خام می‌پردازد. همچنین در راستای بهبود این طرح، از یک دسته‌بند جهت دسته‌بندی فعالیت‌ها در دو گروه فعالیت‌های چندتایی (که نیاز به نرخ نمونه‌برداری بالا دارند) و فعالیت‌های تکی (که نیاز به نرخ نمونه‌برداری بسیار پایین دارند) استفاده شده است. علاوه تعیین نرخ نمونه‌برداری بهینه بر اساس الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده برتری رویکرد پیشنهادی از نقطه نظر مصرف انرژی و طول عمر مفید شبکه نسبت به کارهای قبلی می‌باشد. جدول ۱ بیانگر مشخصات و نقاط ضعف تعدادی از روش‌های پیشین می‌باشد.

رویکردهای پیشنهادی در این مقالات سعی در مدیریت نرخ نمونه‌برداری برای محیط تحت پوشش شبکه داشته به طوری که تعداد بسته‌های تبادلی شده کنترل گردد. به عنوان تعدادی از نتایج این کارها می‌توان به کاهش انرژی مصرفی، کاهش داده‌های سربار شبکه و همچنین افزایش صحت داده‌ها اشاره نمود. از سوی دیگر، استفاده از پارامترهای مسیریابی در عملیات انتقال داده جهت تعیین نرخ دقیق نمونه‌برداری در تعدادی از کارهای پیشین [۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲] مشاهده شده است. این رویکردها سبب افزایش طول عمر مفید شبکه، کاهش انرژی مصرفی و نیز کاهش داده‌های سربار شده‌اند. شعیب و سایر نویسندگان [۲۳]، به ارائه یک روش جهت انجام نمونه‌برداری به صورت بهینه در عملیات تلفیق اطلاعات مربوط به حسگرهای حرکتی گوشی‌های هوشمند پرداخته که از آن جهت تشخیص فعالیت‌های فیزیکی اشخاص استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت درک حرکت و فعالیت شخص بیمار، نویسندگان به ترکیب اطلاعات حرکتی دریافتی از ژيروسکوپ و شتاب سنج واقع در گوشی‌های تلفن همراه پرداخته‌اند. برای نیل به بهترین فواصل زمانی جهت نمونه‌برداری و

### ۳- تعیین نرخ نمونه برداری به صورت وقفی

این بخش از مقاله به معرفی رویکرد پیشنهادی جهت تعیین نرخ نمونه برداری به صورت وقفی می پردازد. با توجه به اینکه در طرح پیشنهادی از یک سیستم امتیازدهی محلی استفاده می شود لذا در ابتدا به مروری بر این سیستم می پردازیم.

#### ۳-۱- امتیاز هشدار زودهنگام ملی<sup>۲۴</sup>

امتیاز هشدار زودهنگام ملی (NEWS) [۲۵] برای شناسایی وضعیت بیماران مبتلا به بیماری در بخش های بیمارستانی، به ویژه افرادی که در بخش های مراقبت های ویژه بستری می باشند طراحی شده است. NEWS، بر اساس یک سیستم امتیازدهی ساده رفتار نموده که در آن به مقادیر فیزیولوژیکی مربوط به شخص بیمار امتیازدهی صورت می گیرد.

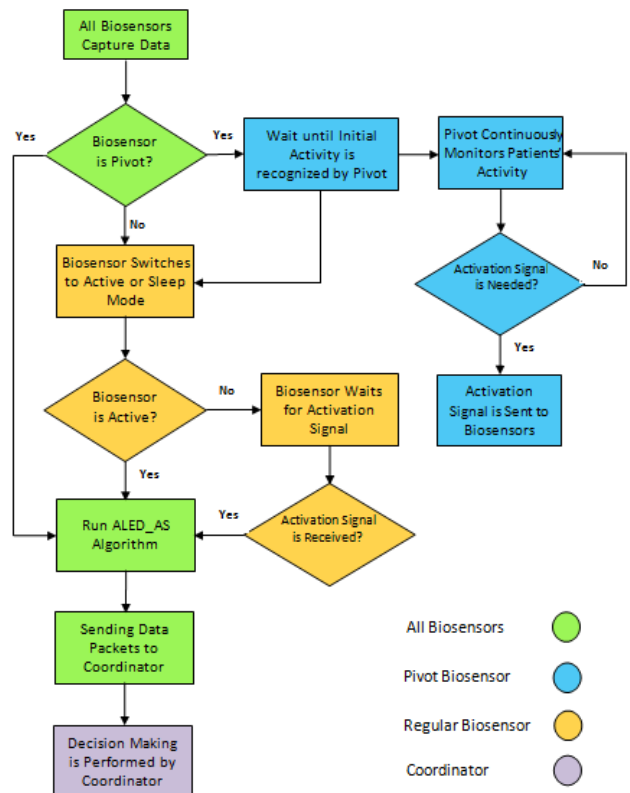
از سیستم NEWS می توان جهت پایش وضعیت بیمارانی که در بیمارستان و یا یک محیط هوشمند مانند خانه های هوشمند تحت نظارت قرار گرفته اند استفاده نمود. NEWS از شش پارامتر فیزیولوژیک ساده جهت امتیازدهی استفاده می نماید که عبارت اند از: میزان تنفس، میزان اشباع اکسیژن، درجه حرارت بدن، میزان فشارخون سیستولیک، تعداد پالس و سطح هوشیاری بیمار.

سیستم NEWS به هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده یک امتیاز داده تا با سنجش میزان فاصله امتیاز مذکور از امتیاز نرمال مقدار ناهنجاری وضعیت بیمار مشخص شود. سپس این امتیازات جمع شده و امتیاز نهایی محاسبه می شود که برحسب آن درباره نیاز و یا عدم نیاز شخص بیمار به کمک پزشکی تصمیم گیری می شود. سیستم NEWS و پارامترهای مدنظر آن در حال حاضر به طور مرتب در بسیاری از بیمارستان ها و مراکز درمانی مورد استفاده قرار گرفته و در نمودار بالینی ثبت می شوند. سیستم NEWS به همراه پارامترهای فیزیولوژیکی آن در شکل ۲ مشاهده می شود.

#### ۳-۲- معرفی آزمون آماری

در اینجا توضیحات مربوط به آزمون آماری مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی جهت سنجش واریانس علائم حیاتی بیمار توضیح داده می شود. برای این منظور اصلاحاتی بر روی آزمون فیشر<sup>۲۵</sup> انجام شده است. در رویکرد پیشنهادی جهت بهینه سازی آزمون فیشر اصلاحاتی بر روی آن انجام شده تا آزمون مورد نظر از قابلیت سنجش واریانس مربوط به مشاهدات وزن دار برخوردار شود. لذا آزمون فیشر اصلاح شده<sup>۲۶</sup> به صورت زیر ارائه می گردد.

روندمای کلی رویکرد پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. عملکرد هر نوع از حسگرها در این روندنا بیان شده است. گره های مشابه با وظایف مشابه با رنگ های مشابه نشان داده شده است. پس از نمونه برداری داده های مربوط به علائم حیاتی بیمار توسط تمام حسگرها، حسگر محوری فعالیت فعلی بیمار را تشخیص داده و آن را به سایر حسگرها ارسال می نماید. لذا پس از شناسایی فعالیت اولیه بیمار توسط حسگر محوری، در صورتیکه گره مورد نظر یک گره معمولی باشد پس از کسب اطلاعات مربوط به فعالیت بیمار از حسگر محوری اقدام به انتقال از حالت فعال به خواب و یا بالعکس می نماید. همچنین اگر گره مورد نظر گره محوری باشد اقدام به شناسایی فعالیت جاری بیمار بصورت پیوسته می نماید. در واقع بر اساس اطلاعات دریافت شده از طرف حسگر محوری، حسگرهای عادی تصمیم می گیرند که در حالت فعال قرار گرفته تا داده های خود را با اجرای الگوریتم ALED\_AS<sup>۲۳</sup> به هماهنگ کننده ارسال نموده و یا در حالت آماده قرار گرفته تا سیگنال فعال سازی از طرف حسگر محوری برای آن ها صادر گردد. همچنین، حسگر محوری بطور پیوسته فعالیت بیمار را رصد کرده تا در صورت لزوم با ارسال سیگنال فعال سازی حسگرهای عادی را فعال نماید. در پایان، هماهنگ کننده تصمیمات مناسب را برای بیمار اتخاذ می نماید. جزئیات رویکرد پیشنهادی در ادامه مقاله تشریح شده است.



شکل ۱: روندمای اجرای تحقیق

PHYSIOLOGICAL PARAMETERS	3	2	1	0	1	2	3
Respiration Rate	≤8		9 - 11	12 - 20		21 - 24	≥25
Oxygen Saturations	≤91	92 - 93	94 - 95	≥96			
Any Supplemental Oxygen		Yes		No			
Temperature	≤35.0		35.1 - 36.0	36.1 - 38.0	38.1 - 39.0		≥39.1
Systolic BP	≤90	91 - 100	101 - 110	111 - 219			≥220
Heart Rate	≤40		41 - 50	51 - 90	91 - 110	111 - 130	≥131
Level of Consciousness				A			V, P, or U

شکل ۲: امتیاز هشدار زودهنگام ملی (NEWS) [۲۵]

$$m_{ji} = w_{ji} * y_{ji} \quad , \quad w_{ji} = w_j \quad (۶)$$

در معادله (۶)، نمونه وزن‌دهی شده  $i$  در دوره  $j$  می‌باشد. معادله (۷) میانگین تمام داده‌های مربوط به علائم حیاتی در دوره  $j$  یعنی  $\bar{M}_j$  را محاسبه می‌نماید درحالی‌که معادله (۸) واریانس تمام داده‌های وزن‌دار دوره  $j$  یعنی  $\delta_j^2$  را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، معادله (۹) میانگین تمام دوره‌های مشاهدات یعنی  $\bar{M}$  را محاسبه می‌کند.

$$\bar{M}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} m_{ji} = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} w_{ji} * y_{ji} \quad (۷)$$

$$\delta_j^2 = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (m_{ji} - \bar{M}_j)^2 = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} [(w_{ji} * y_{ji}) - \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (w_{ji} * y_{ji})]^2 \quad (۸)$$

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^J m_{ji} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^J w_{ji} * y_{ji} \quad (۹)$$

همچنین واریانس بین دوره‌ای ( $SS_B$ )، واریانس درون دوره‌ای ( $SS_E$ ) و مجموع واریانس تمام مشاهدات ( $SS_T$ )، به ترتیب توسط معادلات (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) ارائه می‌گردد.

$$SS_B = \sum_{j=1}^J n_j * (\bar{M}_j - \bar{M})^2 \quad (۱۰)$$

$$SS_E = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{n_j} (m_{ji} - \bar{M}_j)^2 \quad (۱۱)$$

$$SS_T = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{n_j} [(w_{ji} * y_{ji}) - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^J (w_{ji} * y_{ji}))]^2 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{n_j} [(w_{ji} * y_{ji}) - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} w_{ji} * y_{ji})]^2 + \sum_{j=1}^J n_j * [(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} w_{ji} * y_{ji}) - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^J w_{ji} * y_{ji})]^2 \quad (۱۲)$$

بعلاوه، مقدار  $F$  که نتیجه آزمون فیشتر اصلاح شده می‌باشد از طریق

همان‌طور که در معادله‌های (۱)، (۲) و (۳) نشان داده شده است، در آزمون فیشتر، مجموع واریانس مشاهدات ( $SS_T$ ) برابر است با واریانس بین گروه‌ها ( $SS_B$ ) به‌علاوه واریانس درون گروه‌ها ( $SS_E$ ).

$$SS_T = SS_B + SS_E \quad (۱)$$

$$SS_B = \sum n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (۲)$$

$$SS_E = \sum \sum (\bar{X} - \bar{X}_j)^2 \quad (۳)$$

همچنین  $n_j$  بیانگر تعداد مشاهدات در گروه  $j$ ،  $\bar{X}_j$  نشان‌دهنده میانگین مشاهدات مربوط به گروه  $j$  و  $\bar{X}$  نشان‌دهنده میانگین کل مشاهدات می‌باشد. در آزمون فیشتر هر مشاهده به‌صورت رابطه (۴) نشان داده می‌شود.

$$y_{ji} = \bar{y}_j + \epsilon_{ji} \quad (۴)$$

در رابطه (۴)،  $y_{ji}$  مقدار مقدار نمونه اندازه‌گیری شده توسط حسگر  $i$  در دوره  $j$  می‌باشد. همچنین  $\bar{y}_j$  برابر با میانگین تمام نمونه‌ها در دوره  $j$  و  $\epsilon_{ji}$  برابر با خطا یا همان تفاوت بین  $y_{ji}$  و  $\bar{y}_j$  می‌باشد.

در رویکرد پیشنهادی جهت وزن‌دار کردن مشاهدات مربوط به هر دوره  $j$ ، وزن دوره ( $w_j$ ) بر اساس معادله پیشنهادی (۵) تعیین می‌شود.

$$w_j = 1 - \frac{k-j}{10} \quad (۵)$$

در این رابطه،  $k$  نشان‌دهنده شماره دوره جاری است و  $j$  شماره هر یک از دوره‌های قبلی را نشان می‌دهد. با اعمال معادله (۵) به مشاهدات، داده‌های وزن‌دهی شده در دوره‌های وزن‌دار از طریق معادله (۶) به دست می‌آید.

رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$F = \frac{SS_E/J-1}{SS_E/N-J} \quad (13)$$

با در نظر گرفتن  $\alpha$  به عنوان ضریب ریسک و  $F(J-1, N-J)$  به عنوان درجه آزادی، مقدار نهایی نتیجه آزمون فیشر اصلاح شده یعنی  $F_t$  توسط معادله (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$F_t = F_{1-\alpha}(J-1, N-J) \quad (14)$$

همانند آزمون فیشر، در آزمون فیشر اصلاح شده، اگر مقدار  $F$  محاسبه شده بزرگتر از مقدار  $F_t$  باشد آنگاه فرض برابری رد می‌شود در غیر این صورت فرض برابری تأیید می‌گردد.

### ۳-۳- الگوریتم کشف حالت اضطراری محلی پیشرفته

در اینجا به معرفی الگوریتم پیشنهادی جهت کشف حالت اضطراری بیمار به صورت محلی و پیشرفته<sup>۲۸</sup> می‌پردازیم. در رویکرد پیشنهادی، فعالیت‌های روزانه بیمار به عنوان مبنای فعالیت گروه‌های موجود در نظر گرفته می‌شود. جهت انجام این کار انواع فعالیت‌های روزانه یک شخص بیمار به صورت یک لیست تنظیم شده و در گروه‌هایی همچون، گروه "فعالیت‌های راه رفتن"، گروه "فعالیت جابجایی"، گروه "فعالیت‌های روزانه"، گروه "فعالیت‌های تمرینات ورزشی"، گروه "فعالیت قسمت بالای بدن" و غیره قرار می‌گیرند. تعیین فعالیت افراد در محیط‌های هوشمند از قبیل خانه‌های هوشمند<sup>۲۹</sup>، شهر هوشمند<sup>۳۰</sup> و هر نوع محیط هوشمند دیگر و یا با استفاده از وسایل همراه هوشمند مانند تلفن همراه هوشمند<sup>۳۱</sup> صورت می‌پذیرد.

در رویکرد پیشنهادی با تشخیص فعالیت<sup>۳۲</sup> شخص، میزان فعالیت حسگرهای متصل به او تعیین می‌شود. در این رویکرد فعالیت‌هایی وجود دارد که در آن‌ها نیاز به فعال بودن برخی از گروه‌ها نیست. لذا در این شرایط، تعدادی از حسگرها از حالت فعال به حالت آماده رفته و ارسال داده نخواهند داشت که این امر باعث ذخیره انرژی در آن‌ها می‌شود. همچنین نرخ نمونه برداری حسگرهای فعال نیز بر اساس مقدار ریسک بیمار و مقدار حسگر محوری به صورت وفقی تعیین می‌شود که این امر نیز باعث عدم ارسال اطلاعات غیر ضروری و ذخیره انرژی می‌شود.

در رویکرد پیشنهادی، مقدار ریسک بیمار<sup>۳۳</sup> به عنوان یک فاکتور جهت تعیین نرخ نمونه برداری در نظر گرفته می‌شود. در واقع مقدار ریسک بیمار یک عدد بین صفر و یک بوده که جهت تعیین آن میانگین علائم حیاتی بیمار در راندهای قبلی در

سیستم NEWS در نظر گرفته شده و سپس مقدار بدست آمده که یک عدد بین صفر تا ۳ می‌باشد به صورت یک عدد بین صفر تا ۱ نرمال سازی می‌گردد. عدد بدست آمده به عنوان مقدار ریسک بیمار استفاده می‌شود. لذا بر اساس مقادیر بدست آمده بر مبنای سیستم NEWS هر چقدر وضعیت کلی بیمار به حالت نرمال و مطلوب نزدیکتر باشد مقدار ریسک به صفر نزدیکتر خواهد بود و هر چقدر وضعیت کلی بیمار وخیمتر باشد مقدار ریسک بیمار به عدد یک نزدیکتر خواهد بود. همچنین در راند اول جهت اطمینان از ارسال علائم حیاتی بیمار، مقدار ریسک نزدیک به ۱ در نظر گرفته می‌شود یعنی ( $0.5 < \text{patient's risk} < 1$ ). با توجه به اهمیت مقدار ریسک بیمار، این فاکتور به عنوان یکی از فاکتورهای تعیین کننده در مقدار نرخ نمونه برداری بهینه در رویکرد پیشنهادی لحاظ می‌گردد.

در رویکرد پیشنهادی تغییر مقادیر ارسال شده از طرف برخی حسگرها نشان دهنده تغییرات اساسی در بیمار می‌باشد. مثلاً در بسیاری از شرایط افزایش مقادیر ارسال از طرف حسگر مربوط به ویژگی فشارخون نشان دهنده افزایش خطر در بیمار می‌باشد. در این شرایط حسگر فشارخون به عنوان حسگر محوری<sup>۳۴</sup> و ویژگی فشارخون به عنوان ویژگی محوری<sup>۳۵</sup> تعیین می‌شود. حسگر محوری و ویژگی محوری که بر اساس تشخیص پزشک و یا کاربر سیستم مشخص می‌شود الزاماً در تمامی بیماری‌ها ثابت نبوده و بر اساس بیماری‌های مختلف و یا شرایط مختلف بیمار تعیین می‌شود. به هر حال در هر بیماری می‌توان حساس‌ترین ویژگی را به عنوان ویژگی محوری تعیین نمود.

با توجه به اینکه در شبکه‌های بدنی بی‌سیم شرایطی وجود دارد که در آن نیاز به فعالیت تمامی گروه‌ها به صورت دائمی نیست لذا در رویکرد پیشنهادی برخی از حسگرها می‌توانند به صورت موقت از حالت فعال<sup>۳۶</sup> به حالت آماده<sup>۳۷</sup> رفته تا پس از دریافت سیگنال فعال سازی<sup>۳۸</sup> مجدداً فعال شده و اقدام به دریافت اطلاعات مربوط به ناحیه تحت پوشش خود و ارسال آن‌ها نمایند. در رویکرد پیشنهادی حسگرها بر حسب اهمیت علائم حیاتی دسته بندی و مرتب سازی شده و پراهمیت‌ترین آن‌ها به عنوان حسگر محوری انتخاب می‌شود. در این رویکرد بر حسب شرایط مربوط به حسگر محوری سایر حسگرها اجازه دارند به حالت آماده رفته و ارسال اطلاعات نداشته باشند. با توجه به اینکه مقادیر اندازه گیری شده توسط حسگرها بر مبنای سیستم NEWS دسته بندی و ارسال می‌شوند لذا تمامی حسگرها و همچنین حسگر محوری مقادیری برابر صفر تا ۳ خواهند داشت. در این رویکرد هر چه مقدار تعیین شده توسط حسگر محوری به حالت اورژانسی (مقدار ۳)



### ۳-۴- تابع درون‌یابی اسپلاین

اسپلاین‌ها، منحنی‌هایی هستند که در بسیاری از مسائل درون‌یابی در علوم مهندسی مختلف استفاده میشوند. از دلایل سودمندی آنها می‌توان به سادگی ساختار، سهولت و دقت زیاد در تخمین و ارزیابی منحنی‌ها و همچنین ظرفیت آنها در تقریب اشکال و منحنی‌های پیچیده از طریق طراحی منحنی اشاره نمود. اسپلاین‌ها از نوع جندجمله‌ای‌های قطعه‌ای<sup>۴۱</sup> می‌باشند.

در رویکرد پیشنهادی از تابع درون‌یابی اسپلاین<sup>۴۲</sup> به‌عنوان تابع رفتاری<sup>۴۳</sup> جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری به صورت بهینه استفاده می‌شود. تابع اسپلاین، منحنی را به صورت بازه‌هایی تقسیم نموده و به صورت مستقل اقدام به ترسیم ناحیه‌های مربوط به آن بازه‌ها می‌نماید لذا تغییرات هر بازه مخصوص همان بازه بوده و بر روی سایر بازه‌ها و کل نمودار تأثیر نمی‌گذارد. در نتیجه در صورت استفاده از این تابع جهت تعیین یک مقدار خاص، تغییرات نادرست هر متغیر تأثیر کمتری بر روی تعیین مقدار نهایی خواهد داشت. درواقع اسپلاین در ریاضیات یک تابع هموار چندضابطه‌ای- چندجمله‌ای می‌باشد. در مسائل درون‌یابی، معمولاً منظور از درون‌یابی اسپلاین، پیدا کردن چندجمله‌ای درون‌یابی است، چراکه به همان نتیجه می‌انجامد، حتی در مواقعی که از چندجمله‌ای‌های درجه پایین استفاده می‌شود.

رابطه<sup>۴۴</sup> (۱۵) نشان‌دهنده بی اسپلاین درجه صفر می‌باشد.

$$B_i^0(x) = \begin{cases} 1 & t_i \leq x \leq t_{i+1} \\ 0 & \text{سایر جاها} \end{cases} \quad (15)$$

در رابطه<sup>۴۵</sup> (۱۵)،  $x$  منحنی متغیر مربوط به اسپلاین بوده به‌طوریکه قطعات مختلف مربوط به منحنی  $x$  در نقاط کنترلی  $t_i$  به هم می‌رسند. به کمک تابع  $B_i^0(x)$  (که اسپلاین مرتبه صفر می‌باشد) به‌عنوان یک نقطه شروع می‌توان توابع اسپلاین از درجه بالاتر یعنی  $B_i^k(x)$  را با استفاده از رابطه بازگشتی<sup>۴۶</sup> (۱۶) تعریف نمود.

$$B_i^k(x) = \frac{x-t_i}{t_{i+k}-t_i} B_i^{k-1}(x) + \frac{t_{i+k+1}-x}{t_{i+k+1}-t_{i+1}} B_{i+1}^{k-1}(x), \quad k \geq 1 \quad (16)$$

الگوریتم ۱، الگوریتم پیشنهادی جهت کشف حالت اضطراری بیمار به صورت محلی و پیشرفته بوده که بر اساس اطلاعات مربوط به فعالیت بیمار، اقدام به بهینه‌سازی فعالیت گره‌های شبکه می‌نماید. در الگوریتم ۱ در صورتی که فعالیت فعلی بیمار عضو یک گروه خاص از فعالیت‌ها (مثلاً گروه فعالیت خوابیدن، مطالعه و تماشای تلویزیون) باشد آنگاه فقط حسگر محوری فعال (Active) بوده و دیگر گره‌ها به حالت آماده (Ready) رفته تا پس از دریافت

نزدیک‌تر باشد احتمال ارسال سیگنال فعال‌سازی به صورت وقتی از سوی حسگر محوری به سایر حسگرها بیشتر خواهد بود. درواقع می‌توان این چنین تصور نمود که در صورتی که مقدار مربوط به حسگر محوری بر مبنای سیستم NEWS برابر ۲ یا ۳ باشد آنگاه حسگر محوری به صورت وقتی اقدام به فعال‌سازی سایر حسگرها خواهد نمود.

از طرفی نرخ نمونه‌برداری حسگرها بر اساس اطلاعات مربوط به حسگر محوری و همچنین مقدار ریسک بیمار به صورت وقتی تعیین می‌شود. یعنی همان‌طور که گفته شد با توجه به محدودیت مصرف انرژی حسگرهای بی‌سیم نمی‌توان این انتظار را داشت تا حسگرهای موجود به صورت پیوسته ارسال اطلاعات داشته باشند. بنابراین در صورتی که نرخ نمونه‌برداری و ارسال پیام‌ها به صورت وقتی تعیین شود نرخ ارسال اطلاعات کمینه شده و از مصرف زیاد انرژی و همچنین تولید داده‌های سرباره<sup>۴۹</sup> اضافی جلوگیری خواهد شد. تعیین نرخ نمونه‌برداری گره‌های شبکه به صورت وقتی بر اساس حسگر محوری و مقدار ریسک بیمار در دو گام صورت می‌گیرد. در گام اول با استفاده از آزمون فیشر اصلاح‌شده که در بخش ۳-۲ ارائه گردید دامنه تغییرات مربوط به علائم حیاتی بیمار اندازه‌گیری می‌شود. درواقع با استفاده از این آزمون که یک آزمون آماری می‌باشد عملیات تحلیل واریانس (Analysis of Variance - ANOVA) صورت می‌گیرد. نتیجه این آزمون که با متغیر  $F$  در معادله (۱۴) تعیین می‌شود دو حالت دارد: ۱- تفاوت معنی دار میباشد (یعنی تغییرات علائم حیاتی زیاد می‌باشد)، ۲- تفاوت معنی دار نمی‌باشد (یعنی شرط معنی‌دار بودن رد می‌شود که بدین معنی است که تغییرات علائم حیاتی کم می‌باشد). در صورتی که تفاوت معنی‌دار باشد یعنی دامنه تغییرات بیمار در دوره زمانی جاری نسبت به چند دوره زمانی قبلی زیاد باشد به معنی اضطراری بودن حال بیمار و بروز نوسان در وضعیت سلامتی وی می‌باشد. لذا جهت ارسال اطلاعات مربوط به بیمار باید نرخ نمونه‌برداری افزایش یافته و به سمت حداکثر نرخ نمونه‌برداری<sup>۴۰</sup> سوق پیدا کند. در صورتی که دامنه تغییرات اندک باشد به معنی ثابت بودن حالت بیمار در یک وضعیت خاص و عدم نیاز به نمونه‌برداری سریع و ارسال داده می‌باشد. در این صورت گام دوم اجرا شده که در آن با استفاده از روابط درون‌یابی ریاضی بهترین مقدار جهت تعیین نرخ نمونه‌برداری پیدا و انتخاب می‌شود. در نتیجه نمونه‌برداری کاهش یافته و مصرف انرژی گره‌های شبکه کاهش می‌یابد. همچنین این رویکرد باعث کاهش تولید داده‌های سرباره<sup>۴۰</sup> اضافی در سیستم می‌شود.

مغایرت با مقدار قبلی اندازه‌گیری شده اقدام به ارسال آن‌ها می‌نمایند. الگوریتم ۲، الگوریتم پیشنهادی جهت کشف حالت اضطراری بیمار به‌صورت محلی و پیشرفته همراه با تعیین نرخ نمونه‌برداری بهینه برای حسگرهای فعال می‌باشد. این الگوریتم با استفاده از منحنی درون‌یابی اسپلاین به‌عنوان تابع رفتاری، نرخ نمونه‌برداری بهینه را تعیین می‌نماید. درون‌یابی اسپلاین، به‌عنوان ورودی، چهار نقطه اصلی را دریافت می‌کند:

- نقطهٔ مبدأ
- مقدار ریسک بیمار
- مقدار حسگر محوری
- نقطهٔ حداکثر (شامل حداکثر واریانس و حداکثر نرخ نمونه‌برداری)

Algorithm 2: Advanced Activity Based Local Emergency Detection Algorithm with Adaptive Sampling Algorithm (ALED\_AS)

**Require:**  
 $m$  (1 round =  $m$  periods)  
 $SR_{max}$  (maximum sampling rate)  
 $SR_r$  (current round sampling rate)  
 $SR_r \leftarrow SR_{max}$   
 $P_0 \leftarrow (0, 0)$   
 $P_1 \leftarrow$  patient's risk  
 $P_2 \leftarrow$  pivot's value  
 $P_3 \leftarrow (V_{max}, SR_{max})$   
**while** Energy > 0 **do**  
     **for** each round **do**  
         **for** each period **do**  
             Run ALED for emergency detection  
         **end for**  
         Compute  $SS_B$ ,  $SS_E$  and  $F$   
         **if** patient's risk > 0.5 or pivot's value equals 2 or 3 **then**  
              $SR_r \leftarrow SR_{max}$   
         **else if**  $F < F_t$  **then**  
              $SR_r \leftarrow$  spline ( $P_0, P_1, P_2, P_3$ )  
         **else**  
              $SR_r \leftarrow SR_{max}$   
         **end if**  
     **end for**  
**end while**

سپس تابع اسپلاین بهترین مقدار را برای نرخ نمونه‌برداری به‌عنوان خروجی محاسبه می‌نماید. در الگوریتم ۲ پس از محاسبه واریانس علائم حیاتی بیمار توسط آزمون فیشر اصلاح‌شده، اگر ریسک بیمار بیش از ۰.۵ باشد یا مقدار حسگر محوری برابر با ۲ یا ۳ باشد، نرخ نمونه‌برداری برابر با حداکثر مقدار ممکن تعیین می‌شود. اما اگر واریانس بیمار کم باشد، مقدار دقیق و مطلوب نرخ نمونه‌برداری با استفاده از منحنی اسپلاین محاسبه می‌شود. بنابراین، مقدار انرژی مصرفی و تعداد پیام‌های ارسالی بهینه شده بدون اینکه دقت داده‌ها کاهش یابد.

سیگنال فعال‌سازی (Activation) از طرف حسگر محوری اقدام به ارسال بسته‌های مربوط به علائم حیاتی بیمار نمایند.

Algorithm 1: Advanced Activity Based Local Emergency Detection Algorithm (ALED)

**Require:**  
 $R_t$  (Instantaneous Sampling Rate)  
 $G$  (Sleeping, Reading, Watching TV)  
 $CA$  (Current Activity)  
**while** energy > 0 **do**  
     **for** each period **do**  
         **if**  $CA \in G$  **then**  
             **if** sensor is the Pivot sensor **then**  
                 takes measurements  $r_i$  of feature BP at  $R_t$  Rate  
                 gets score  $S_i$  of measurements  $r_i$  of feature BP  
                 **if**  $S_i \neq S$  **then**  
                     sends measure  $r_i$   
                      $S = S_i$   
                 **end if**  
                 **if**  $S_i == 2$  or  $S_i == 3$  **then**  
                     sends wake up signal to all other nodes  
                     sends measure  $r_i$   
                      $S = S_i$   
                 **end if**  
             **else if** sensor isn't the Pivot sensor  
                 goes to sleep mode and listen  
                 **if** receives wake up signal **then**  
                     takes measurements  $r_i$  of each feature at  $R_t$  Rate  
                     gets score  $S_i$  of measurements  $r_i$  of each feature  
                     **if**  $S_i \neq S$  **then**  
                         sends measure  $r_i$   
                          $S = S_i$   
                     **end if**  
                 **end if**  
             **end if**  
             **else if**  $CA \notin G$  **then**  
                 takes measurements  $r_i$  of each feature at  $R_t$  Rate  
                 gets score  $S_i$  of measurements  $r_i$  of each feature  
                 **if**  $S_i \neq S$  **then**  
                     sends measure  $r_i$   
                      $S = S_i$   
                 **end if**  
             **end if**  
             **end if**  
             **end for**  
     **end while**

همچنین حسگر محوری اقدام به ارسال اطلاعات مربوط به ویژگی محوری نموده و در صورت وجود تفاوت در مقدار علائم حیاتی مربوط به ۲ دورهٔ متوالی، مقدار جدید را به مرکز تصمیم‌گیری ارسال می‌نماید. از سوی دیگر در صورتی که مقدار ویژگی مربوط به بیمار در سیستم NEWS برابر ۲ و یا ۳ (حالات اضطراری) باشد حسگر محوری اقدام به ارسال پیام فعال‌سازی به حسگرهای معمولی می‌نماید. در صورتی که فعالیت فعلی بیمار عضو گروه فعالیت‌های خاص نباشد آنگاه تمامی ویژگی‌های مربوط به علائم حیاتی توسط تمامی حسگرها اندازه‌گیری شده و در صورت وجود

#### ۴- شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی و مقایسه آن با رویکردهای مشابه مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

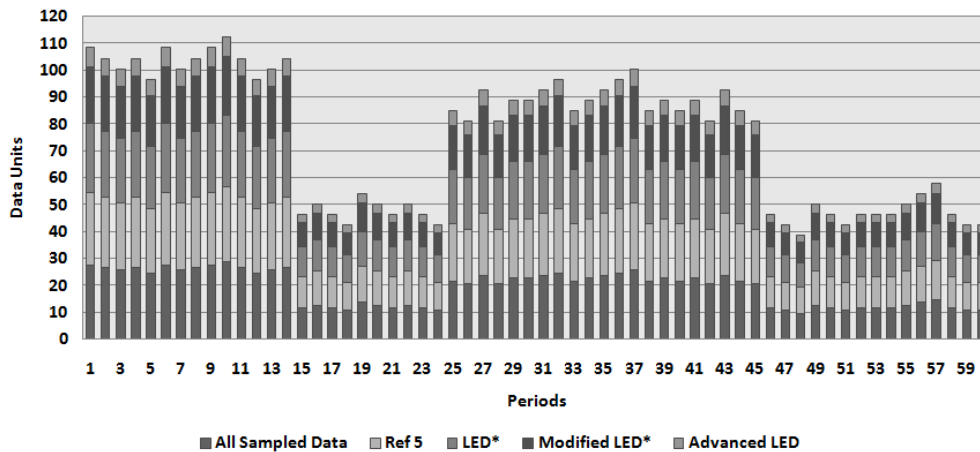
جهت انجام شبیه‌سازی تعداد ۶ بیوسنسور در نظر گرفته شده است که هرکدام از آن‌ها دارای انرژی اولیه برابر با ۷۰۰ واحد انرژی می‌باشند. انرژی مصرفی ناشی از ارسال داده برابر ۱ واحد انرژی و انرژی ناشی از دریافت داده برابر ۰,۳ واحد انرژی لحاظ شده است. دیتاست استفاده‌شده در شبیه‌سازی، دیتاست MIMIC بوده که یک دیتاست بین‌المللی بوده که به صورت برخط قابل دسترسی می‌باشد. MIMIC شامل علائم حیاتی و بهداشتی مربوط به حدود ۴۰,۰۰۰ بیمار مربوط به حوزه مراقبت‌های حیاتی می‌باشد.

شکل‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده تعداد پیام‌های ارسالی توسط گره‌های شبکه در دو حالت بحرانی و غیر بحرانی و همچنین مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های قبلی در زمینه این فاکتور می‌باشند.

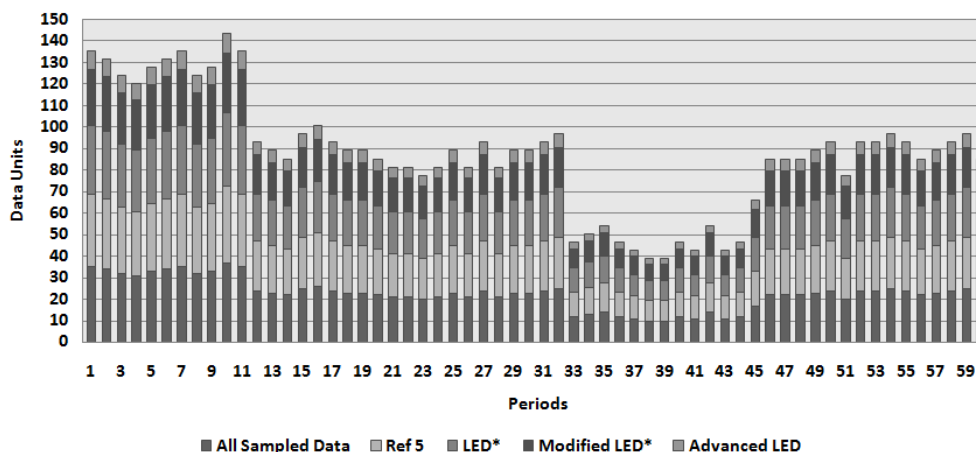
بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ مشخص می‌گردد که با توجه به روش‌های به‌کاررفته در الگوریتم‌های پیشنهادی، تعداد پیام‌های

ارسالی توسط گره‌های شبکه، در دو حالت غیر بحرانی و بحرانی مربوط به فعالیت بیمار، تعداد پیام‌های ارسالی توسط الگوریتم‌های پیشنهادی (Advanced LED) نسبت به کل پیام‌های ضبط‌شده (All Sampled Data) و همچنین نسبت به الگوریتم‌های مشابه یعنی Ref 5 (روش مطرح شده در مرجع ۵) ، LED\* و Modified LED\* بسیار کمتر بوده که بیان‌گر موفقیت روش پیشنهادی در زمینه تعداد پیام‌های ارسالی می‌باشد.

در شکل ۳ که تعداد داده‌های ارسالی در ۶۰ دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفته است در مجموع ۱۱۶۱ بسته داده نمونه‌برداری شده است. از مجموع ۱۱۶۱ بسته داده نمونه‌برداری‌شده، با استفاده از روش‌های Ref 5 ، LED\* و Modified LED\* به ترتیب تعداد ۱۱۱۵، ۱۰۶۸ و ۸۷۰ پیام داده ارسال شده است که به ترتیب نشان‌دهنده حدود ۴ درصد، ۸ درصد و ۲۵ درصد بهبود نسبت به روش ارسال تمام بسته‌ها می‌باشد. این در حالی است که در صورت استفاده از روش پیشنهادی Advanced LED، از مجموع ۱۱۶۱ بسته داده نمونه‌برداری‌شده فقط ۲۹۰ بسته ارسال شده است که بیانگر حدود ۷۵ درصد بهبود نسبت به روش ارسال تمام بسته‌ها می‌باشد.



شکل ۳: مقایسه تعداد پیام‌های ارسالی، فعالیت بیمار غیر بحرانی



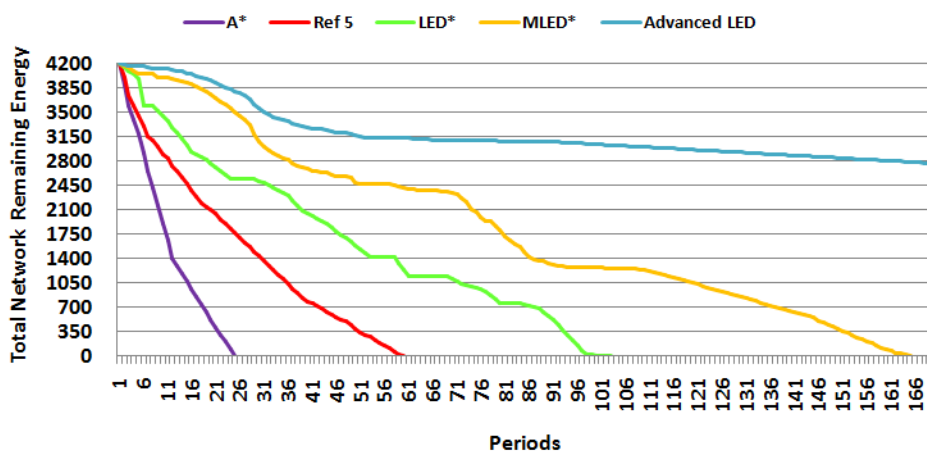
شکل ۴: مقایسه تعداد پیام‌های ارسالی، فعالیت بیمار بحرانی

All Sampled Data ، به ترتیب حدود ۴ درصد، ۸ درصد و ۲۵ درصد کمتر بوده درحالی که Advanced LED باعث می‌شود تعداد پیام‌های ارسالی نسبت به All Sampled Data، ۷۵ درصد کاهش پیدا نماید. از سوی دیگر مقایسه تعداد پیام‌های ارسالی بین روش‌های Modified LED\* و Advanced LED نشان‌دهنده حدود ۶۶ درصد بهبود روش Advanced LED نسبت به روش Modified LED\* می‌باشد. جدول ۲ بیانگر تعداد کل پیام‌های مبادله‌شده و مقایسه آن‌ها در روش‌های مختلف می‌باشد.

بهبود فوق‌الذکر در شکل ۴ نیز به شکل مشابه مشاهده می‌شود بطوریکه از بین ۱۳۵۵ داده نمونه‌برداری شده در شکل ۴، با استفاده از روش‌های روش‌های Ref 5، LED\* و Modified LED\* به ترتیب تعداد ۱۳۰۰، ۱۲۴۶ و ۱۰۱۶ پیام داده ارسال شده است ولی با استفاده از روش Advanced LED تعداد ۳۳۸ پیام داده ارسال شده است. درواقع به‌طور میانگین، تعداد داده‌های ارسالی در روش‌های Ref 5، LED\* و Modified LED\* نسبت به

جدول ۲: مقایسه تعداد داده‌های ارسالی در روش‌های مختلف.

فعالیت بیمار	All Sampled Data	Modified LED*	Advanced LED	Modified LED* to All Sampled Data	Advanced LED to All Sampled Data	Advanced LED to Modified LED*
غیر بحرانی	۱۱۶۱	۸۷۰	۲۹۰	٪۲۵	٪۷۵	٪۶۶
بحرانی	۱۳۵۵	۱۰۱۶	۳۳۸	٪۲۵	٪۷۵	٪۶۷



شکل ۵: مقایسه انرژی مصرفی

بیمار با استفاده از آزمون پیشنهادی فیشر اصلاح شده محاسبه می‌شود. در صورتی که مقدار واریانس زیاد باشد آنگاه نرخ نمونه‌برداری برابر با حداکثر مقدار ممکن تعیین می‌شود. در غیر این صورت، تابع درون‌یابی اقدام به یافتن مقدار بهینه نرخ نمونه‌برداری می‌نماید. رویکرد پیشنهادی باعث کاهش تعداد پیام‌های ارسالی و نیز سبب کاهش انرژی مصرفی گره‌های شبکه و افزایش طول عمر مفید آن می‌شود.

### مراجع

- [1] J. I. Bangash, A. H. Abdullah, M. H. Anisi, and A. W. Khan, "A survey of routing protocols in wireless body sensor networks," *Journal of Sensors*, Vol. 14, No. 1, pp. 1322–1357, 2014.
- [2] N. Bradai, L. C. Fourati, and L. Kamoun, "WBAN data scheduling and aggregation under WBAN/WLAN healthcare network," *Ad Hoc Networks*, Vol. 25, pp. 251–262, 2015.
- [3] A. Makhoul, D. Laiymani, H. Hareb, and J. Bahi, "An adaptive scheme for data collection and aggregation in periodic sensor networks," *International Journal of Sensor Networks*, Vol. 18, No. 1/2, pp. 62–74, 2015.
- [4] D. Laiymani and A. Makhoul, "Adaptive data collection approach for periodic sensor networks," In *9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 1448–1453, 2013.
- [5] A. Makhoul, H. Harb, and D. Laiymani, "Residual energy-based adaptive data collection approach for periodic sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 35, pp. 149–160, 2015.
- [6] I. Yoon, J. Min. Yi, S. Jeong and D. Kun Noh, "Adaptive sensing and compression rate selection scheme for energy-harvesting wireless sensor networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 13(6), 2017.
- [7] C. Lee and J. Lee, "Harvesting and Energy aware Adaptive Sampling Algorithm for guaranteeing self-sustainability in Wireless Sensor Networks", *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2017.
- [8] I. Scarabottolo, C. Alippi and M. Roveri, "A spectrum-based adaptive sampling algorithm for smart sensing", *IEEE 3rd International Conference on Smart World Congress*, 2017.
- [9] T. Lu, G. Liu, W. Li, S. Chang and W. Guo, "Distributed sampling rate allocation for data quality maximization in rechargeable sensor networks", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 80, pp. 1–9, 2017.
- [10] F. Y. Wu, K. Yang, R. Duan and T. Tian, "Compressive Sampling and Reconstruction of Acoustic Signal in Underwater Wireless Sensor Networks", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 18, No. 14, pp. 5876 – 5884, 2018.
- [11] P. Sun, L. Wu, Z. Wang, M. Xiao and Z. Wang, "Sparsest Random Sampling for Cluster-Based Compressive Data Gathering in Wireless Sensor Networks" *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 36383 – 36394, 2018.
- [12] S. Elghers, A. Makhoul, and D. Laiymani, "Local emergency detection approach for saving energy in wireless body sensor networks," *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pp. 585–591, 2014.
- [13] H. Carol, M. Abdallah, D. Rony and S. Christian, "Self-Adaptive Data Collection and Fusion for Health Monitoring Based on Body Sensor Networks," *IEEE Transaction On Industrial Informatics Journal*, Vol. 12, No. 6, 2016.

برای نشان دادن اثربخشی رویکردهای پیشنهادی بر روی بهینگی مصرف انرژی، مقدار انرژی مصرفی بیوسنسورها اندازه‌گیری شده و نتایج با کارهای قبلی مقایسه گردید. تعداد داده‌های ارسالی تأثیر قابل توجهی بر روی انرژی مصرفی بیوسنسورها دارد. الگوریتم پیشنهادی ما سعی در کاهش تعداد داده‌های ارتباطی ارسالی داشته تا انرژی مصرفی شبکه کاهش یافته و طول عمر مفید آن افزایش یابد. انرژی مصرفی گره‌های شبکه با اجرای الگوریتم پیشنهادی (Advanced LED) و مقایسه آن با روش‌های مشابه یعنی A\* (حالت ارسال تمامی داده‌ها)، LED\* (حالت ارسال داده در صورت وجود مغایرت با داده قبلی)، Ref 5 و Modified LED\* در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵ اثبات می‌نماید که رویکرد پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به رویکردهای مشابه قبلی در زمینه کاهش انرژی مصرفی داشته و باعث افزایش طول عمر مفید شبکه می‌شود. در واقع با استفاده از روش A\* باقیمانده انرژی شبکه بعد از ۲۵ دوره به صفر رسیده است. همچنین با استفاده از روش Ref 5 باقیمانده انرژی شبکه بعد از ۶۰ دوره به صفر رسیده است. از سوی دیگر با استفاده از روش های LED\* و Modified LED\* باقیمانده انرژی شبکه به ترتیب بعد از ۱۰۳ دوره و ۱۷۰ دوره به صفر رسیده در صورتی که با اجرای Advanced LED مقدار باقیمانده انرژی شبکه بعد از ۱۷۰ دوره برابر با ۶۷ درصد مقدار اولیه آن می‌باشد که این امر بیانگر موفقیت رویکرد پیشنهادی در زمینه مصرف انرژی می‌باشد.

از سوی دیگر نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده این مطلب است که طول عمر روش پیشنهادی (Advanced LED) بیش از ۵۰۰ دوره می‌باشد که به معنی بهبود طول عمر شبکه به میزان حداقل ۲٫۵ برابر نسبت به Modified LED\*، بیش از ۴٫۵ برابر نسبت به LED\*، بیش از ۸ برابر نسبت به Ref 5 و بیش از ۲۰ برابر نسبت به A\* می‌باشد.

### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جهت بهینه‌سازی نرخ نمونه‌برداری حسگرهای واقع در شبکه‌های بدنی بی‌سیم ارائه گردید. روش پیشنهادی با استفاده از فعالیت فعلی بیمار، تعداد حسگرهای فعال و همچنین چگونگی فعالیت آن‌ها را مشخص می‌نماید. از سوی دیگر با استفاده از اطلاعات مربوط به حسگر محوری و همچنین مقدار ریسک بیمار اقدام به تعیین نرخ نمونه‌برداری وقتی می‌نماید. در این راستا، ابتدا مقدار واریانس مربوط به علائم حیاتی

- <sup>15</sup> Radio Frequency (RF) energy transfer
- <sup>16</sup> Harvesting
- <sup>17</sup> Change Detection Test (CDT)
- <sup>18</sup> Energy Allocation Algorithm (EAA)
- <sup>19</sup> Rate Allocation Algorithm (RAA)
- <sup>20</sup> Local Emergency Detection (LED\*)
- <sup>21</sup> Modified Local Emergency Detection (Modified LED\*)
- <sup>22</sup> Conditional Variance
- <sup>23</sup> Advanced Activity Based Local Emergency Detection Algorithm with Adaptive Sampling Algorithm (ALED\_AS)
- <sup>24</sup> National Early Warning Score (NEWS)
- <sup>25</sup> Fisher Test
- <sup>26</sup> Modified Fisher Test
- <sup>27</sup> Period
- <sup>28</sup> Advanced Local Emergency Detection (ALED)
- <sup>29</sup> Smart Home
- <sup>30</sup> Smart City
- <sup>31</sup> Smart Phone
- <sup>32</sup> Activity Recognition
- <sup>33</sup> Patient's Risk
- <sup>34</sup> Pivot Sensor
- <sup>35</sup> Pivot Feature
- <sup>36</sup> Active
- <sup>37</sup> Ready
- <sup>38</sup> Activation Signal
- <sup>39</sup> Redundant Overhead Data
- <sup>40</sup> Maximum Sampling Rate
- <sup>41</sup> Piecewise Polynomial
- <sup>42</sup> Spline Interpolation Function
- <sup>43</sup> Behavior Function

- [14] N. Bradai, L. C. Fourati and L. Kamoun, "WBAN, data scheduling and aggregation under wban/wlan healthcare network", Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 25, pp. 251 – 262, 2015.
- [15] D. Laiymani and A. Makhoul, "Adaptive data collection approach for periodic sensor networks", In 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp. 1448–1453, 2013.
- [16] J. Marco C. Silva, K. Araujo Bispo, P. Carvalho and S. Rito Lima, "LiteSense: An Adaptive Sensing Scheme for WSNs", IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2017.
- [17] Y. Zeng and K. Xiang, "Adaptive Sampling for Urban Air Quality through Participatory Sensing", Journal of Sensors, Vol. 17, 2017.
- [18] Y. Fathy, P. Barnaghi and R. Tafazolli, "An Adaptive Method for Data Reduction in the Internet of Things", IEEE 4th World Forum on Internet of Things, 2018.
- [19] J. Bangash, A. Abdullah, A. Khan, M. Abdur Razzaque and R. Yusof, "Critical data routing (cdr) for intra wireless body sensor networks," Journal of Telecommunication Computing Electronics and Control, Vol. 13, pp. 181–192, 2015.
- [20] L. Chen, C. D. Nugent and H. Wang, "A knowledge-driven approach to activity recognition in smart homes," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 24, No. 6, pp. 961 – 974, 2012.
- [21] J. Y. Chang and P. H. Ju, "An energy-saving routing architecture with a uniform clustering algorithm for wireless body sensor networks", Future Generation Computer Systems, Vol. 35, pp. 128-140, 2013.
- [22] C. Alippi, G. Anastasi, M. D. Francesco and M. Roveri, "An adaptive sampling algorithm for effective energy management in wireless sensor networks with energy-hungry sensors," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 59, No. 2, pp. 335–344, 2010.
- [23] M. Shoaib, S. Bosch, O. D. Incel, H. Scholten and P. J. M. Havinga, "Fusion of smartphone motion sensors for physical activity recognition", Journal of Sensors, pp. 134 – 139, 2014.
- [24] X. Qi, M. Keally, G. Zhou, Y. Li and Z. Ren, "AdaSense: Adapting Sampling Rates for Activity Recognition in Body Sensor Networks", In 19th Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS), IEEE, 2013.
- [25] National Early Warning Score (NEWS), Royal College of Physicians, London, U.K., Available online: <http://www.rcplondon.ac.uk/resources/national-early-warning-score-news>, May 2017.

زیر نویس ها:

- <sup>1</sup> Biosensors
- <sup>2</sup> Wireless Body Area Networks (WBANs)
- <sup>3</sup> National Early Warning Score (NEWS)
- <sup>4</sup> Local Emergency Detection (LED)
- <sup>5</sup> Patient's Risk
- <sup>6</sup> Pivot Biosensor
- <sup>7</sup> Wireless Sensor Networks (WSNs)
- <sup>8</sup> Electrocardiogram
- <sup>9</sup> Electroencephalography
- <sup>10</sup> Coordinator
- <sup>11</sup> Base Station
- <sup>12</sup> Overhead Data
- <sup>13</sup> Resuscitation Adaptive Sampling Algorithm (RASA)
- <sup>14</sup> Compensation Adaptive Sampling Algorithm (CASA)