

الف- عنوان تحقیق:

۱- فارسی:

ارائه یک روش هوشمند برای بهبود بهره‌وری انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی

۲- انگلیسی:

Providing an Intelligent Method to Improve Energy Efficiency in Energy-Harvesting Wireless Sensor Network

ب- نوع تحقیق:

۱- کاربردی ☐

۲- بنیادی ☐

۳- توسعه‌ای ☒

ج- کلیدواژه‌ها:

شبکه --

بیان مسأله تحقیق:

شبکه حسگر بی‌سیم^۱، شبکه‌ای تشکیل شده از تعدادی دستگاه حسگر کوچک، مستقل، بی‌سیم، توزیع شده و با توانایی‌های محدود است که غالباً با استفاده از امواج رادیویی با یکدیگر در ارتباط هستند. این دستگاه‌ها با استفاده از حسگرهایی که دارند، کمیت‌های فیزیکی مختلف اعم از دما، صدا، میزان آلودگی، رطوبت و... را از محیط دریافت می‌کنند. پس از پردازش مختصر داده‌ی دریافتی از محیط، اطلاعات را با استفاده از دستگاه‌های دیگری که در مسیر قرار دارند، برای مقصد ارسال می‌کنند. امروزه شبکه بی‌سیم بدنی به عنوان زیرمجموعه‌ای از شبکه حسگر بی‌سیم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، در این تحقیق به‌طور خاص این شبکه‌ها بررسی می‌شوند.

شبکه بی‌سیم بدنی^۲ یک شبکه ناهمگن پویای متشکل از تعداد معینی حسگر است. این حسگرها روی سطح بدن یا داخل بافت‌های بدن یا بر روی لباس قرار می‌گیرند. حسگرها برای نظارت مداوم بر حرکات بدن و اندازه‌گیری علائم زیستی از قبیل درجه حرارت بدن^۳، ضربان قلب^۴، فشار خون^۵، قند خون^۶ و میزان اکسیژن خون^۷ استفاده می‌شوند. این حسگرها می‌توانند داده را جمع‌آوری کرده و به یک گره مرکزی به نام هماهنگ‌کننده^۸ انتقال دهند. هماهنگ‌کننده با نزدیک‌ترین ایستگاه پایه^۹ موجود ارتباط

1-Wireless Sensor Network (WSN)

2-Wireless Body Area Network (WBAN)

3- Body Temperature (BT)

4- Electrocardiogram (ECG)

5- Blood Pressure (BP)

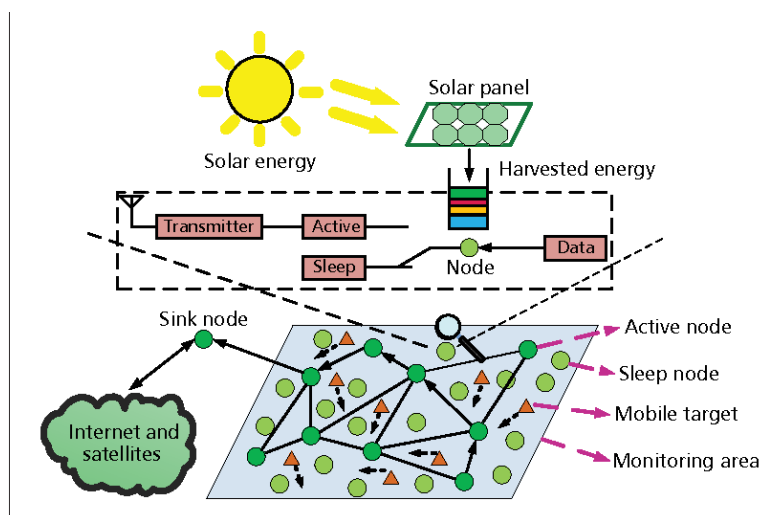
6- Blood Glucose

7- Blood Oxygen Saturation

8-Coordinator

9- Base Station

برقرار می‌کند. سپس داده به سرورهای پزشکی^۱ راه دور از طریق اینترنت و رسانه‌های ارتباطی به صورت امن برای تحلیل، ذخیره و پردازش ارسال می‌شود [۱].



شکل ۱ شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی [۱]

شبکه بی‌سیم بدن از چندین حسگر زیستی تشکیل شده است. این حسگرها قابلیت برقراری ارتباط در معماری همبندی ستاره‌ای، مش یا درخت با استفاده از امواج رادیویی را دارند. با این حال، همبندی ستاره‌ای به دلیل عملکرد بهتر و تأخیر کمتر ارجحیت دارد. شبکه تشکیل شده می‌تواند بر علائم حیاتی نظارت داشته باشد و یک بازخورد مناسب برای کاربر فراهم کند که کاربر می‌تواند پیشرفت بیماری خود را مشاهده و پیشگیری‌های لازم را انجام دهد. متأسفانه گره‌های حسگر موجود در این شبکه دارای منابع انرژی محدود هستند. در این شبکه‌ها مصرف انرژی حسگرها بسیار مهم است. اگر منبع انرژی حسگرها به پایان برسد طول عمر شبکه به مرور کاهش پیدا می‌کند. همچنین ممکن است، روی عملکرد گره‌ها تأثیر منفی گذاشته و عواقب جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. بنابراین صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مدیریت انرژی واحدهای مختلف فرستنده/گیرنده، حسگر، پردازش و ... حائز اهمیت است [۱].

در شبکه‌های بی‌سیم بدنی انرژی گره‌های حسگر به طور معمول توسط باتری‌های با توان محدود تأمین می‌شود. با گذر زمان و کاهش سطح باتری عملکرد حسگرها محدود شده و در نهایت شبکه از کار می‌افتد. افزایش ظرفیت باتری با توجه به اندازه و ابعاد حسگرهای قابل اجرا در شبکه بی‌سیم بدنی ممکن نیست. از طرف دیگر با در نظر گرفتن این مسئله که حسگرها در این شبکه‌ها در زیر پوست یا قسمت‌های مختلف بدن انسان کاشته می‌شوند، تعویض باتری در بسیاری از موارد برای سلامتی انسان خطرناک و نیاز به جراحی پیچیده و پر هزینه دارد. با گسترش استفاده از باتری‌های قابل شارژ و فراوانی منابع انرژی تجدیدپذیر غیرالکتریکی در محیط اطراف، این شبکه‌ها مجهز به سخت افزار برداشتگر انرژی^۲ شدند. به کمک این سخت‌افزار می‌توان انرژی حاصل از منابع انرژی محیطی مانند انرژی خورشیدی^۳، حرارتی^۴، ارتعاشی^۵ و امواج رادیویی^۶ را مهار کرده و به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین پیشرفت‌های اخیر در صنعت امکان جذب انرژی از منابع مختلف بدن انسان را فراهم کرده است. استفاده از این انرژی منجر به افزایش طول عمر گره‌ها و در نتیجه شبکه می‌شود. ولی این انرژی غیرقابل پیش‌بینی و کنترل است به عبارت دیگر، ممکن است هر لحظه نرخ برداشت انرژی بیشتر یا کمتر شود. به عنوان نمونه، انرژی خورشیدی وابسته به زمان بوده و در طول شب یا در سایه دارای نرخ انرژی پایین است. نرخ انرژی ارتعاشی وابسته به

1- Energy Harvesting
2- Solar Energy
3- Heat Energy
4- Vibration Energy
5- Radio Frequency (RF)

فعالیت بدنی فرد بوده و بیشترین و کمترین نرخ را به ترتیب در حالت دویدن و استراحت دارد. برای عملکرد دائمی شبکه نیاز است که همیشه میزان انرژی مصرفی گره کمتر از میزان انرژی دریافتی آن از محیط باشد. بنابراین شبکه‌های بی‌سیم بدنی مجهز به برداشتگر انرژی نیاز به روش‌هایی برای مدیریت انرژی دارند [۲].

اهداف تحقیق:

امروزه شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی به عنوان یک فناوری امیدوارکننده در حوزه‌ی کاربردهای مراقبت‌های بهداشتی، تشخیص زود هنگام بیماری‌های مزمن و بهبود کیفیت زندگی شناخته می‌شود. با توجه به این امر که عملکرد صحیح این شبکه به منابع انرژی گره‌های حسگر آن بستگی دارد، از طرفی منابع انرژی محیطی غیرقابل کنترل و پیش‌بینی هستند. بنابراین، بهبود بهره‌وری انرژی بسیار حائز اهمیت است. روش‌های مطرح شده برای افزایش بهره‌وری انرژی در شبکه چند نقطه ضعف اساسی دارند. ۱- برخی از روش‌ها به صورت ذاتی با مشکل تأخیر در ارسال داده و از بین رفتن اعتبار بالینی اطلاعات مواجه هستند. این به دلیل تمرکز بر ایجاد تعادل بین دو هدف متضاد انرژی مصرفی و مدت زمان خواب گره است. در صورتی که مدت زمان خواب گره کاهش بیاید میزان انرژی مصرفی افزایش یافته و در صورت افزایش مدت زمان خواب با تأخیر در ارسال داده مواجه خواهد شد. ۲- گره‌های حسگر همگن در نظر گرفته شده‌اند. برخی از حسگرها مانند حسگر ECG، نیاز به انتقال مداوم داده دارند، در حالی که برخی دیگر مانند سنسور دمای بدن هر چند ساعت یکبار داده را اندازه‌گیری کرده و ارسال می‌کند. از طرف دیگر، برخی از حسگرها مانند حسگر نصب شده روی زانو به نسبت حسگرهای واقع در نقاط دیگر بدن به راحتی می‌تواند انرژی برداشت کند. بنابراین، حسگرها از لحاظ اولویت داده و نرخ برداشت انرژی نباید همگن در نظر گرفته شوند. ۳- هر گره به صورت مستقیم داده را به گره مرکزی ارسال می‌کند. این مسئله باعث کاهش سریع انرژی گره‌های مهم مانند حسگر ECG می‌شود. در صورتی که می‌توان برای افزایش بهره‌وری انرژی از انتقال مشارکتی استفاده کرد. به این صورت که گره با انرژی پایین داده خود را با یک فناوری کم مصرف مانند بلوتوث به یک گره میانی ارسال کند و گره میانی داده دریافتی را به گره مرکزی ارسال کند. ۴- برخی از روش‌ها با مشکل سرریزی صف داده مواجه هستند. این به دلیل عدم وجود روش‌هایی برای مدیریت صف داده در کنار تنظیم مدت زمان خواب گره است. ۵- هر داده یک مدت زمان تأخیر پایان‌به‌پایان به نام اعتبار بالینی دارد. متأسفانه در برخی از روش‌ها این اعتبار بالینی اطلاعات حفظ نمی‌شود. همچنین داده اضطراری بایستی بی‌درنگ ارسال شود. در حالی که روش‌های مطالعه شده کمتر به اولویت‌بندی داده پرداخته‌اند. ۶- در برخی از روش‌ها حالت پویای شبکه که به دلیل تحرک بدن ایجاد می‌شود، در نظر گرفته نشده است. بنابراین روش‌های مطرح شده به صورت جامع الزامات کیفیت خدمات، انتقال مشارکتی، اولویت‌بندی گره‌ها در تعیین گره میانی، اولویت‌بندی داده و مدیریت صف داده را در نظر نگرفته‌اند. در این تحقیق هدف نهایی در کنار مدیریت صحیح صف داده، حفظ اعتبار بالینی اطلاعات و اولویت‌بندی گره‌های حسگر، افزایش بهره‌وری انرژی نسبت به کارهای مشابه در شبکه حسگر بی‌سیم است. با توجه به فرآیندهای تصادفی موجود در شبکه حسگر بی‌سیم باید از روش‌هایی برای افزایش بهره‌وری انرژی استفاده شود که قادر به تصمیم‌گیری در شرایط تصادفی و غیر قطعی باشند. هدف از این تحقیق ارائه یک روش بهبود بهره‌وری انرژی جدید با هوشمندسازی گره‌های حسگر است. در این روش، الگوریتم‌های هوشمند که در یک سیستم غیر قطعی قادر به تصمیم‌گیری باشند بررسی شده و مناسب‌ترین آنها اجرا می‌شود. مناسب‌ترین متغیرها برای توابع بهینه‌سازی یا پاداش بررسی می‌شوند.

سوالات یا فرضیه‌های تخصصی:

۱. کدام نوع برداشتگر انرژی دارای نرخ برداشت انرژی بالایی بوده و بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد؟
۲. میزان تأثیر استفاده از برداشتگرهای مختلف متناسب با نوع حسگر در بهبود بهره‌وری انرژی چگونه است؟
۳. با کدام معیار یا معیارها می‌توان گره‌های حسگر را اولویت‌بندی کرد؟
۴. از چه معیارهایی برای گزینش گره به عنوان گره میانی در رویکرد چرخه کاری استفاده شود؟

۵. از چه روش‌هایی برای مدل‌سازی صف داده و فرآیند برداشت انرژی استفاده شود؟
۶. با چه روش‌هایی می‌توان اعتبار بالینی اطلاعات را حفظ کرد؟
۷. استفاده از کدام متغیرها در تابع بهینه‌سازی بر بهبود بهره‌وری انرژی تأثیر می‌گذارد؟
۸. کدام الگوریتم‌ها برای تصمیم‌گیری در یک سیستم غیر قطعی و اجرا در شبکه حسگر بی‌سیم مناسب‌تر بوده و سرعت همگرایی بالایی دارند؟

ضرورت و اهمیت تحقیق:

دنیا با رشد سریع جمعیت مواجه است. با افزایش میانگین امید به زندگی، به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته نسبت جمعیت سالمندی رو به افزایش است. طبق اعلام سازمان بهداشت جهانی، در سال ۲۰۵۰ جمعیت افراد بالاتر از ۶۵ سال نزدیک به ۵ میلیارد نفر برآورد شده است [۳]. همچنین متأسفانه طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، بیماری‌های مزمن و کشنده مانند سرطان از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ به سالانه ۳۰ میلیون نفر افزایش خواهد یافت. تعداد بیماران دیابتی به ۴۲۲ میلیون نفر افزایش یافته و بیماری‌های قلبی عروقی یکی از مهم‌ترین دلایل مرگ و میر هستند [۲]. این بیماری‌ها اغلب دیر تشخیص داده شده و همین مسئله باعث افزایش میزان مرگ‌ومیر افراد مبتلا به چنین بیماری‌هایی می‌شود. تشخیص زودهنگام، تأثیرات چنین بیماری‌هایی را کاهش داده و امید به زندگی بیماران را افزایش می‌دهد. فقدان تشخیص زودهنگام و نظارت مؤثر بر بیماری‌ها باعث افزایش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی شده است و بار زیادی را برای سیستم‌های مراقبت بهداشتی با منابع مالی محدود فراهم می‌کند. بنابراین، در آینده نیاز به مکانیزمی سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر از سیستم‌های سنتی فعلی برای مراقبت از بیماران و افراد مسن بیشتر می‌شود. از جمله امیدوارکننده‌ترین فناوری‌ها برای ارائه نظارت مستمر و از راه دور بر وضعیت بیماران شبکه بی‌سیم بدنی است. شبکه‌های بی‌سیم بدنی بایستی قابلیت اجرا برای چند سال تا چند دهه را داشته باشند.

در شبکه بی‌سیم بدنی گره‌های حسگر معمولاً انرژی خود را از طریق باتری با انرژی محدود تأمین می‌کنند. با کاهش سطح باتری عملکرد حسگرها محدود شده و در نهایت شبکه از کار می‌افتد. اخیراً، با توجه به منابع انرژی نامحدود محیطی مانند انرژی خورشیدی، حرکتی و ... گره‌های حسگر شبکه‌های بی‌سیم بدنی مجهز به باتری‌های قابل شارژ و سخت‌افزار برداشت انرژی شده‌اند. این انرژی با این که پایان‌ناپذیر است، ولی همیشه در دسترس نیست. بنابراین، نیاز به روش‌هایی برای مدیریت مصرف انرژی است. از جمله کارآمدترین روش‌ها در این زمینه تعیین چرخه کاری برای گره‌های حسگر است.

در روش‌های چرخه کاری، گره حسگر در صورت وجود داده برای ارسال و داشتن انرژی کافی فعال شده، داده مد نظر را ارسال می‌کند. دوباره به حالت خواب می‌رود. در واقع، این روش‌ها بر ایجاد تعادل بین دو هدف متضاد مدت زمان خواب و مصرف انرژی تمرکز دارند. در حالی که در شبکه بی‌سیم بدنی وظیفه اصلی یک گره حسگر تشخیص وقایع، انجام سریع پردازش اطلاعات محلی و سپس انتقال اطلاعات است. از این‌رو، حفاظت انرژی به سه حوزه‌ی سنجش، ارتباطات و پردازش اطلاعات تقسیم می‌شود. یک گره حسگر بیشترین انرژی را در ارتباطات داده‌ها مصرف می‌کند. این مورد شامل دریافت و انتقال اطلاعات می‌شود. همچنین داده‌ی اضطراری بایستی بی‌وقفه ارسال شود. نرخ انتقال داده باید متناسب با میزان انرژی باقیمانده و نوع داده تنظیم شود. بنابراین بهره‌وری انرژی به عنوان نسبت نرخ انتقال داده بر میزان انرژی مصرفی در شبکه حسگر بی‌سیم بدنی که زیرمجموعه‌ای از شبکه حسگر بی‌سیم است، حائز اهمیت بوده و بایستی بیشینه شود [۴].

پیشینه تحقیق:

در سطح سیستم رویکردهای بهره‌وری انرژی در شبکه‌های بی‌سیم بدنی مجهز به برداشتگر انرژی به دو دسته کلی چرخه کاری و سیاست انتقال تقسیم می‌شوند [۴]. یک دسته از رویکردها با کاهش انرژی مصرفی شبکه سعی در افزایش بهره‌وری انرژی دارند. این

روش‌ها که اصطلاحاً به چرخه کاری^۱ معروف هستند، این امکان را فراهم می‌کنند که هر گره حسگر بین حالت‌های خواب و فعال تغییر حالت دهد. گره‌های حسگر فقط در حالت فعال قادر به ارسال و دریافت داده هستند. در حالت خواب بیشتر رویه‌های کاربردی به منظور صرفه‌جویی در انرژی در حالت خاموش قرار دارند. در واقع، در این روش‌ها مصرف انرژی گره‌ها برای رسیدن به سطح انرژی کارآمد تنظیم می‌شود. گره‌های حسگر زمانی که با کمبود انرژی مواجه می‌شوند، به حالت کم مصرف تغییر وضعیت داده و با برداشت انرژی و پس از رسیدن به سطح انرژی تعیین شده دوباره به چرخه کار باز می‌گردند. به صورت کلی این روش‌ها دارای بهره‌وری انرژی پایین هستند. با توجه به مطالعات انجام شده، برخی از روش‌های چرخه کاری، زمان‌بندی گره‌های حسگر را به عنوان یک مسئله NP-Hard معرفی کرده و سعی بر ارائه یک الگوریتم تقریبی یا ابتکاری برای حل آن کرده‌اند. زمان‌بندی گره‌های حسگر به عنوان مسئله یافتن حداکثر مجموعه‌های غالب^۲ تعریف شده و چند الگوریتم تقریبی متمرکز و توزیع شده برای حل آن ارائه شده است [۵]. در روش دیگری، با معرفی انرژی برداشت شده به عنوان مفهوم شبکه مجازی^۳، یک زمان‌بندی خواب سه سطحی ارائه شده است، که از دو روش بهینه محلی و کلی برای یافتن گروه‌های حسگر فعال استفاده می‌کند [۶]. به زمان‌بندی گره‌های حسگر با دید حداکثر مجموعه‌های پوششی^۴ نگاه کرده است، سپس با ارائه یک الگوریتم ترکیبی جستجوی هماهنگی^۵ و محلی برای هر شیار زمانی یک گره حسگر فعال پیدا می‌کند [۷]. در روش دیگری، گره مرکزی یک الگوریتمی مبتنی بر تئوری بازی اجرا می‌کند. و با استفاده از اطلاعات انرژی تمامی گره‌ها، گره با بیشترین انرژی لحظه‌ای را به عنوان برنده حراج معرفی می‌کند. گره برنده در برش‌های زمانی اختصاص یافته داده‌ی خود را ارسال می‌کند و بقیه گره‌ها با انرژی ناکافی فرصت برداشت انرژی از محیط را خواهند داشت [۸]. یک الگوریتم خودسازگار برای تنظیم خودکار چرخه کار گره‌ها پیشنهاد شده است. هر گره به صورت پویا چرخه کار خود را متناسب با سطح انرژی برداشت شده تنظیم می‌کند [۹]. یک سیستم استنتاج فازی^۶ برای مدیریت توان شبکه بی‌سیم ایجاد کرده، از الگوریتم Q-Learning در ارزیابی و به روزرسانی قاعده این سیستم استفاده می‌کند [۱۰]. با توجه به عملکرد بهتر الگوریتم‌های یادگیری تقویتی در

1-Duty Cycle
 2- Dominating Sets
 3- Virtual Network
 4- Set Covers
 5- Harmony Search
 6- Fuzzy Inference System (FIS)

هنگام تصمیم‌گیری در سیستم غیرقطعی به عنوان یک روش امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شوند. عملکرد این الگوریتم‌ها به تابع پاداش آن‌ها بستگی دارد. چهار نوع تابع پاداش مختلف برای استفاده در الگوریتم Q-Learning طراحی و ارزیابی شدند [۱۱]. سه تابع پاداش دیگر با اولویت سطح انرژی باقیمانده گره حسگر در [۱۲] طراحی و با شبیه‌سازی‌های مختلف عملکرد آن‌ها بررسی شدند.

دسته دوم رویکردها که اصطلاحاً سیاست انتقال^۱ نام گرفته‌اند، بر استفاده کارآمد از انرژی در هنگام انتقال داده تمرکز دارند. در دهه اخیر، شبکه بی‌سیم بدنی با افزایش فزاینده اطلاعات برای پردازش و ارسال مواجه است. همچنین بررسی‌ها نشان داده‌اند که بیشترین توان مصرفی گره حسگر صرف ارسال و دریافت داده می‌شود. بنابراین، تمرکز اصلی این دسته روش‌ها در تعیین نرخ انتقال بهینه گره‌ها است. برخی از روش‌ها، انرژی لازم برای نظارت و سنجش داده را نیز در نظر گرفته و به دنبال ایجاد تعادل مصرف انرژی هنگام نظارت و ارسال داده هستند. روش‌های سیاست انتقال تا حد قابل قبولی فرآیندهای تصادفی موجود در شبکه حسگر بی‌سیم بدنی مجهز به برداشتگر انرژی را مدل‌سازی می‌کنند. سپس با هوشمندسازی گره‌های حسگر بهترین سیاست ممکن را برای افزایش بهره‌وری انرژی اتخاذ می‌کنند. برخی از روش‌ها صف داده را به صورت مطلوب مدیریت می‌کنند. معیارهای کیفیت خدمات^۲ در کنار بهره‌وری انرژی در نظر گرفته شده‌اند. ولی به طور جامع به الزامات کیفیت خدمات، انتقال مشارکتی، اولویت بندی گره‌ها در تعیین گره میانی، اولویت‌بندی داده و مدیریت صف داده پرداخته نشده است. در روش‌های سیاست انتقال اکثر تحقیقات اخیر سعی بر هوشمندسازی گره‌های حسگر برای اتخاذ بهترین سیاست انتقال داده دارند. یک روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و خفاش برای به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم بدنی با در نظر گرفتن محدودیت معیارهای کیفیت خدمات و خصوصیات پیوند پویا استفاده شده است [۱۳]. مسئله بهره‌وری انرژی به عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف با زمان و حالت محدود^۳ فرموله شده است. در نهایت برای دستیابی به تخصیص بهینه منابع یک الگوریتم Q-Learning بهبود یافته پیشنهاد شده است [۱۴]. یک طرح کنترل مشترک متشکل از سه رویه مدیریت انرژی مبتنی بر برداشت انرژی از بدن، کنترل صف داده و سیستم جمع‌آوری و زمان‌بندی بسته‌ها ارائه شده است [۱۵]. یک طرح مشترک کنترل انرژی و کیفیت خدمات مبتنی بر اولویت بسته‌های دریافتی ارائه کرده و بسته اضطراری را به صورت بی‌درنگ ارسال می‌کند [۱۶]. بهره‌وری انرژی که یک مسئله کسری خطی^۴ است، با تغییر چارنس کوپر^۵ به یک فرم خطی استاندارد تبدیل شده و یک راه حل زیربهینه برای تخصیص نرخ انتقال هر حسگر ارائه شده است [۱۷]. یک مسئله بهینه‌سازی جدید تحت محدودیت‌های نرخ برداشت انرژی و نرخ انتقال داده تدوین شده و با روش بهینه‌سازی لیپانوف^۶ به سه زیر مسئله تجزیه می‌شود. سپس یک الگوریتم بهینه‌سازی پایداری انرژی آنلاین برای حل این زیرمسائل پیشنهاد کرده است [۱۸].

با توجه به مطالعات انجام شده، روش‌های افزایش بهره‌وری انرژی در سال‌های اخیر را با تفکیک نوع رویکرد، مزایا و معایب هر

روش در جدول ۱ آورده‌ایم. روش‌های بالا طبق جدول ۱ با چند چالش عمده مواجه هستند:

- روش‌های چرخه کاری به میزان قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش می‌دهند ولی به صورت ذاتی باعث ایجاد تأخیر در اسال داده می‌شوند. بنابراین به تنهایی قابل استفاده نیستند.
- روش‌های چرخه کاری هیچ گونه مدیریتی بر صف داده ندارند. اطلاعات مختلف اعم از عادی، بحرانی و بسیار بحرانی همگی با یک نرخ ثابت ارسال می‌شوند.
- در روش‌های چرخه کاری معیار گزینش حسگرهای فعال فقط میزان همسایگی و انرژی باقیمانده گره حسگر است. به تأثیر معیارهای دیگر و همچنین اولویت‌بندی حسگرها پرداخته نشده است.
- در روش‌های سیاست انتقال گره‌ها از لحاظ ایفای نقش گره میانی همگن در نظر گرفته شده‌اند.
- در روش‌های سیاست انتقال الگوریتم‌های مطرح دارای سرعت همگرایی پایین هستند.

1-Transmission Policy

2-Quality Of Service

3-Discrete-Time and Finit-State Markov Decision Process (DFMDP)

4- Linear Fractional

5- Charnes-Cooper Transformation

6- Lyapunov Method

جدول (۱) - دسته بندی راهکارهای پیشین برای بهبود بهره‌وری انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی

رویکرد	روش پیشنهادی	شبکه پویا	گره‌های ناهمگن	سرعت همگرایی بالا	انتقال مشارکتی	رویکرد متمرکز	مدیریت صف داده	سربار محاسباتی	تمایز بین داده‌ها	افزایش طول عمر شبکه	افزایش بهره‌وری انرژی	سال
چرخه کاری	تعیین حداکثر تعداد مجموعه‌های غالب از گره‌های حسگر [۵]	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	x	۲۰۲۱
	طراحی هفت تابع پاداش مختلف و ارزیابی آن‌ها [۱۲]	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	۲۰۲۱
	تعیین گره‌های فعال با روش‌های بهینه محلی و کلی [۶]	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	x	۲۰۲۰
	استفاده از تئوری بازی و حراج اولین قیمت مهر و موم شده [۸]	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	۲۰۲۰
	استفاده از الگوریتم Q-Learning فازی [۱۰]	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	۲۰۱۸
	طراحی چهار تابع پاداش مختلف و ارزیابی متغیرهای استفاده شده [۱۱]	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	۲۰۱۸
	پیدا کردن حداکثر تعداد مجموعه‌های پوششی [۷]	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	x	۲۰۱۷
	الگوریتم تنظیم پویای چرخه کار متناسب با نرخ برداشت [۹]	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	۲۰۱۶
سیاست انتقال	استفاده از الگوریتم ترکیبی خفاش و ژنتیک [۱۳]	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	۲۰۲۱
	استفاده از الگوریتم بهبود یافته Q-Learning [۱۴]	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	۲۰۲۰
	تدوین یک مسئله بهینه‌سازی جدید و حل آن [۱۷]	x	x	✓	x	✓	x	x	x	✓	✓	۲۰۱۹
	تجزیه مسئله بهره‌وری انرژی به سه زیر مسئله و حل آنها [۱۸]	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	✓	۲۰۱۹
	طراحی سه رویه بهم پیوسته با اولویت‌دهی داده [۱۶]	x	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	۲۰۱۶
	طراحی سه رویه بهم پیوسته [۱۵]	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	✓	۲۰۱۶

γ

روش تحقیق:

۱-۱۰ نوع تحقیق و روش بررسی فرضیه‌ها یا پاسخگویی به سؤالات (توصیفی، تجربی، تحلیل محتوا، اسنادی، تاریخی و...):
تحقیق از نوع تجربی است. با شبیه‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم مجهز به برداشتگر انرژی تأثیر متغیرهای مختلف بر افزایش بهره‌وری انرژی گزارش می‌شود. همچنین با اجرای الگوریتم هوشمند استفاده شده سرعت همگرایی با روش‌های مشابه مقایسه خواهد شد.

۱-۲ جامعه آماری:

در این تحقیق می‌توان برای ارزیابی میزان بهره‌وری انرژی، افت بسته و توانایی مدیریت صف داده حسگرهای استفاده شده از مجموعه داده ارائه شده در پایگاه داده PhysioNet استفاده کرد [۱۹].

۱-۳ نمونه‌گیری (حجم نمونه و روش محاسبه):

با توجه به نوع حسگرهای استفاده شده، در تحقیق می‌توان از بانک اطلاعاتی مختلفی استفاده کرد. به عنوان مثال برای حسگر نوار قلب بانک اطلاعاتی MIT-BIH در نظر گرفته شده است. بانک اطلاعاتی MIT-BIH از ۱۰۰۰ قطعه سیگنال‌های ECG ۱۹ بیمار زن در رده‌ی سنی ۲۳-۸۹ سال و ۲۶ بیمار مرد در رده‌ی سنی ۸۹-۳۲ ایجاد شده است. سیگنال‌های ECG در ۱۷ کلاس حالت سینوسی طبیعی، حالت ضربان ساز و ۱۵ نوع اختلال عملکرد قلب جمع‌آوری شده است [۱۹].

۱-۴ ابزار گردآوری داده‌ها و ذکر ویژگی‌های آن‌ها (پرسشنامه، مصاحبه و ...):

در این تحقیق با استفاده از ابزار NS3 شبکه شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به این که برخی از کارهای مشابه از داده غیر واقعی استفاده کرده‌اند [۵-۱۸]. در این تحقیق نیز علاوه بر داده واقعی منتشر شده در سرویس PhysioNet از داده غیر واقعی استفاده می‌شود. داده به دو دسته عادی و اضطراری تقسیم می‌شود. داده عادی با نرخ ثابت و داده اضطراری با تابع احتمال پواسن ارسال می‌شود.

۱-۵ روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها:

در این تحقیق، بهره‌وری انرژی، طول عمر شبکه، کارایی ذخیره اطلاعات، افت بسته، کارایی تشخیص و متوسط تأخیر پایان به پایان بسته به عنوان معیارهای ارزیابی برای تجزیه و تحلیل داده استفاده می‌شوند. این معیارها به صورت زیر تعریف می‌شوند.

- بهره‌وری انرژی: نشان‌دهنده میانگین نسبت نرخ انتقال به انرژی مصرفی برای انتقال داده است. این معیار یک تابع بیشینه‌سازی دو هدفه است. به عبارت دیگر، نرخ انتقال انرژی بایستی بیشینه شود در صورتی که همزمان باید میزان انرژی مصرفی نیز کاهش یابد.
- طول عمر شبکه: بیانگر مدت زمان شروع به کار شبکه تا کمبود انرژی گره‌های میانی است. برای هر گره حسگر یک سطح آستانه انرژی تعریف می‌شود. در صورتی که انرژی گره‌های میانی نیز از حد آستانه انرژی کمتر باشد و عملاً ارسال داده به صورت مشارکتی نیز امکان‌پذیر نباشد، شبکه از کار می‌افتد.
- کارایی ذخیره اطلاعات: به عنوان تعداد رویدادهای ذخیره شده نسبت به تعداد رویدادهای شناسایی شده تعریف می‌شود. این معیار برای ارزیابی میزان موفقیت در مدیریت صف داده استفاده می‌شود.
- افت بسته: به صورت درصد بسته‌هایی که توسط گره مرکزی دریافت نشده است، تعریف می‌شود. برای هر گره متناسب با عملکرد آن یک درصدی از افت بسته تعیین می‌شود.
- کارایی تشخیص: نشان‌دهنده تعداد رویدادهای شناسایی شده نسبت به تعداد کل رویدادهای رخ داده است. این معیار بیانگر میزان عملکرد صحیح یک گره حسگر است که ارتباط مستقیم با میزان انرژی آن گره دارد.
- متوسط تأخیر پایان به پایان بسته: بیانگر مدت زمان بین تولید بسته و دریافت بسته توسط گره مرکزی است. این معیار برای ارزیابی الزامات کیفیت خدمات از جمله میزان تأخیر در شبکه استفاده می‌شود.

کاربرد نتایج تحقیق:

شبکه بی سیم بدنی به عنوان زیرمجموعه‌ای از شبکه حسگر بی سیم کلید تشخیص اولیه و رفتار بیماران با موارد جدی مثل دیابت و فشارخون بالا در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر کاربردهای پزشکی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله ۱- موارد اضطراری: حسگرهای تعبیه شده در محیط هدف قادر به تشخیص آتش سوزی یا گاز سمی هستند. ۲- ارزیابی میزان خستگی و آمادگی نبرد سربازان و حفاظت از نیروهای یگان. ۳- ارزیابی عملکرد کارمندان ۴- حوزه‌های ورزشی و سرگرمی و ... استفاده می‌شوند. در این شبکه‌ها، انرژی گره‌های حسگر در صورت تأمین با باتری یا منابع انرژی محیطی قابل اعتماد و پیش‌بینی نیستند. همچنین داده اضطراری بایستی بی‌وقفه ارسال شود. در صورت کمبود انرژی در شبکه و عدم ارسال داده یا ارسال نادرست عواقب جبران ناپذیری در پی خواهد داشت. بنابراین، استفاده از روش‌هایی برای صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری انرژی ضروری است. در این زمینه روش‌هایی برای افزایش بهره‌وری انرژی ارائه شده است. با ارائه روش‌های جدید و بهبود روش‌های پیشین با تعیین متغیرهای مناسب در تابع بهینه‌سازی و افزایش سرعت همگرایی می‌توان بهره‌وری انرژی را افزایش داد.

منابع و مأخذ:

- [1] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, and A. Jamalipour, "Wireless body area networks: A survey," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1658-1686, 2014.
- [2] K. Hasan, K. Biswas, Kh. Ahmed, N. S. Nafi, and M. S. Islam, "A comprehensive review of wireless body area network," *Network and Computer Applications*, vol. 143, pp. 178-198, 2019.
- [3] M. Salayma, A. Al-Dubai, I. Romdhani, and Y. Nasser, "Wireless body area network (WBAN) a survey on reliability, fault tolerance, and technologies coexistence," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 50, no. 1, pp. 1-38, 2017.
- [4] J. Singh, R. Kaur, and D. Singh, "A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks," *Journal of Systems Architecture*, vol. 111, pp. 101782, 2020.
- [5] R. Zhang, J. Yu, Y. Guan, J. Liu, and L. Tang, "A dominating set-based sleep scheduling in energy harvesting WBANs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2021.
- [6] R. Zhang, A. Nayak, and J. Yu, "Sleep scheduling in energy harvesting wireless body area networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 2, pp. 95-101, 2019.
- [7] C. C. Lin, Y. C. Chen, J. L. Chen, D. J. Deng, Sh. B. Wang, and Sh. Y. Jhong, "Lifetime enhancement of dynamic heterogeneous wireless sensor networks with energy-harvesting sensors," *Mobile Networks and Applications*, vol. 22, no. 5, pp. 931-942, 2017.
- [8] N. Badri, L. Nasraoui, L. A. Saidane, and N. Brinis, "Auction-based time resource allocation for energy harvesting WBAN," *In 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pp. 764-769, 2020.
- [9] X. Qi, K. Wang, A. Huang, L. Shu, and Y. Liu, "A harvesting-rate oriented self-adaptive algorithm in energy-harvesting wireless body area networks," *In 2015 International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp. 966-971, 2015.
- [10] R. Ch. Hsu, and T. H. Lin, "A fuzzy Q-learning based power management for energy harvest wireless sensor node," *In 2018 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*, pp. 957-961, 2018.
- [11] Y. Rioual, Y. L. Moullec, J. Laurent, M. I. Khan, and J. P. Diguët, "Reward function evaluation in a reinforcement learning approach for energy management," *In 2018 International Conference on Biennial Baltic Electronics (BEC)*, pp. 1-4, 2018.
- [12] Y. Rioual, Y. L. Moullec, J. L. M. I. Khan, and J. P. Diguët, "Design and comparison of reward functions in reinforcement learning for energy management of sensor nodes," *arXiv preprint arXiv:2106.01114*, 2021.

- [13] R. Goyal, R. B. Patel, H. S. Bhaduria, and D. Prasad, "An energy efficient QoS supported optimized transmission rate technique in WBANs," *Wireless Personal Communications*, vol. 117, no. 1, pp. 235-260, 2021.
- [14] Y. H. Xu, J. W. Xie, Y. G. Zhang, M. Hua, and W. Zhou, "Reinforcement learning (RL)-based energy efficient resource allocation for energy harvesting-powered wireless body area network," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 44, 2020.
- [15] E. Ibarra, A. Antonopoulos, E. Kartsakli, J. J. Rodrigues, and C. Verikoukis, "QoS-aware energy management in body sensor nodes powered by human energy harvesting," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 542-549, 2016.
- [16] J. Kaur and H. Singh, "Packet normalized based PEH-QoS energy management in WBAN network powered by human energy harvesting," *Science and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 208-219, 2016.
- [17] O. Amjad, E. Bedeer, and S. Ikki, "Energy-efficiency maximization of self-sustained wireless body area sensor networks," *IEEE Sensors Letters*, vol. 3, no. 12, pp. 1-4, 2019.
- [18] L. Guo, Zh. Chen, D. Zhang, J. Liu, and J. Pan, "Sustainability in body sensor networks with transmission scheduling and energy harvesting," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 9633-9644, 2019.
- [19] <https://www.physionet.org>

