

مدیریت انرژی هوشمند با استفاده از اینترنت اشیاء

*مسعود کاوسی

کارشناس ارشد معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز

masoud@live.com

چکیده

مدیریت انرژی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) رویکردی کلیدی برای بهینه‌سازی مصرف، تولید و توزیع انرژی در ساختمان‌ها، صنایع و شبکه‌های هوشمند است. این فناوری با اتصال حسگرها، مترهای هوشمند و تجهیزات، امکان پایش لحظه‌ای، تحلیل داده و کنترل خودکار را فراهم می‌کند و به کاهش قابل توجه مصرف انرژی و هزینه‌ها کمک می‌نماید. با این حال، ماهیت اینترنت اشیاء مستلزم مصرف انرژی در منابع مختلف است؛ از این رو بهره‌وری انرژی منابع IoT به عنوان یکی از چالش‌های مهم پژوهشی مطرح شده است.

در این مقاله، ضمن بررسی کاربردهای مدیریت انرژی هوشمند، یک معماری انرژی کارآمد برای اینترنت اشیاء پیشنهاد می‌شود که از سه لایه حس و کنترل، پردازش اطلاعات و ارائه تشکیل شده است. طراحی این معماری به سیستم اجازه می‌دهد فاصله خواب حسگرها را بر اساس سطح باتری باقی‌مانده، سابقه استفاده قبلی و کیفیت اطلاعات موردنیاز برای هر کاربرد خاص پیش‌بینی کند. مقدار پیش‌بینی شده می‌تواند برای افزایش بهره‌برداری از منابع ابری از طریق تخصیص مجدد منابع در زمان خواب گره حسگر مربوطه به کار گرفته شود. این مکانیزم منجر به استفاده کارآمد از انرژی در تمام منابع اینترنت اشیاء می‌گردد و هم‌زمان امکان بهینه‌سازی مصرف در سامانه‌های مدیریت انرژی ساختمان و شبکه‌های هوشمند را فراهم می‌آورد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی گره‌های حسگر حاصل شده، بهره‌برداری از منابع ابری بهبود یافته و در مجموع، کارایی سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند مبتنی بر IoT ارتقا یافته است.

واژه‌های کلیدی: محاسبات ابر، بهره‌وری انرژی، اینترنت اشیاء، حسگرها

۱- مقدمه

با ظهور یک دوره جدید در محاسبات، اینترنت اشیا [۱] به عنوان ساختار اصلی محاسبات فراگیر مورد استفاده قرار گرفت [۲]. اینترنت اشیا یک تکنولوژی هوشمند است که هر "چیز" را از طریق یک شبکه به یکدیگر متصل می کند. اصطلاح "چیز" شامل حسگرها، فعال کننده ها، سخت افزار، نرم افزار و ذخیره سازی در رشته هایی مانند بهداشت و درمان، صنعت، حمل و نقل و لوازم خانه است. هدف اصلی از اینترنت اشیا به حداکثر رساندن ارتباطات اشیا سخت افزاری با جهان فیزیکی برای تبدیل داده های این اشیا به اطلاعات مفید بدون هیچ گونه کمک انسانی است. اینترنت اشیا شامل سه عنصر است: سخت افزار، میان افزار و ارائه. عنصر سخت افزار از سنسورهای تعبیه شده در باتری، دیسک و سیستم های ارتباطی تشکیل شده است. این حسگرها داده ها را از منطقه نظارت جمع آوری می کنند و سخت افزار ارتباطی آنها داده های جمع آوری شده را به عنصر میان افزار می فرستند. مقدار قابل توجهی از داده های دریافت شده توسط میان افزار با استفاده از ابزارهای مختلف تجزیه و تحلیل داده برای استخراج اطلاعات تفسیری پردازش می شوند. عنصر ارائه در اینترنت اشیا مسئول مصورسازی داده های پردازش شده و نتایج به شکلی قابل خواندن است.



Fig. 1. Elements of IoT.

همچنین نیازمندی های کاربر را دریافت کرده و به عنصر میان افزار جهت انجام امور ضروری می فرستد. شکل ۱ عناصر و انتقال داده ها را در سیستم های اینترنت اشیا نشان می دهد.

انرژی محدود عناصر سخت افزاری در حال جمع آوری و انتقال داده ها مصرف می شود. بیشتر داده های جمع آوری شده، تحلیل و با دقت اطلاعات آنها استخراج می شود اما، در هر زمان، انرژی را مصرف می کنند. با توجه به محدودیت انرژی، نیاز به حفظ تعادل بین کیفیت اطلاعات استخراج شده و انرژی مصرف شده توسط سیستم های اینترنت اشیا وجود دارد. علاوه بر این، طول عمر هر منبع در اینترنت اشیا بستگی به در دسترس بودن انرژی دارد. از دست دادن انرژی، کل محیط را تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین، نیاز برجسته ای برای کاهش مصرف انرژی برای افزایش طول عمر منابع و اجرای موثر بر سیستم های اینترنت اشیا وجود دارد.

بنا به انگیزه های ایجاد شده، این مقاله یک معماری سلسله مراتبی به منظور بهبود بهره وری انرژی در اینترنت اشیا ارائه می دهد. معماری ارائه شده (PA) این واقعیت را بیان می کند که منابع اینترنت اشیا در حالت خواب مصرف انرژی قابل اغماضی دارند. از این رو، طراحی معماری اجازه می دهد تا سنسور تحت سه سناریو زیر به محیط را نظاره کند: ابتدا، زمانی که لازم است به حس محیط هدف در یک دوره زمانی معین می پردازد. سپس، وقتی منطقه تحت پوشش می تواند برای عمر باتری به خطر بیافتد. و در آخر، هنگامی که میزان باتری به شدت کم است. علاوه بر این، زمانی که سنسور در حالت خواب است، PA اجازه می دهد تا اختصاص منابع داده به یکی از دو حالت خواب یا انتشار بعد از بهره وری انرژی سوئیچ کند. بنابراین منابع عناصر سخت افزار و میان افزار اینترنت اشیا در PA برای عملکرد بهتر و ذخیره انرژی باهم "تنظیم" می شوند.

با توجه به موارد فوق، اهداف اصلی PA می تواند به صورت زیر ذکر شود: (۱) ارائه یک مکانیزم برای استفاده ی موثر از انرژی در هر دو عنصر سخت افزار و میان افزار در سیستم اینترنت اشیا؛ (۲) پیش بینی و کنترل فاصله خواب سنسور بسته به استفاده قبلی خود و میزان باتری باقی مانده؛ و (۳) اختصاص مجدد منابع ابر وقتی سنسور مربوطه در حالت خواب می باشد.

ادامه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. بخش دوم به بررسی کار مربوط به معماری و صرفه جویی انرژی در تکنیک های مورد استفاده در اینترنت اشیا و شبکه های حسگر بی سیم (WSN ها) می پردازد. بخش سوم یک معماری انرژی-کارآمد برای اینترنت اشیا پیشنهاد می دهد و بخش چهارم به ارائه تجزیه و تحلیل نظری آن می پردازد. بخش پنجم نتایج تجربی را ارائه

می‌کند. بخش ششم مقایسه‌ای تحلیلی از PA با سایر تکنیک‌های ذکر شده در بخش دوم را ارائه می‌کند. در نهایت، بخش هفتم این مقاله شامل نتیجه‌گیری است.

۲. کارهای گذشته

در سال ۲۰۱۳، Gubbi و همکارانش [۱] یک چشم‌انداز روشن از اینترنت اشیا ارائه کردند که به‌عنوان "سنجش انرژی کارآمد" در یکی از تحقیقات مورد چالش قرار گرفت. آنها یک معماری ابر محور از اینترنت اشیا ارائه دادند و تاکید کردند که در مناطق مختلف از جمله صنعت، خانه، سیستم‌های پزشکی و بسیاری از حوزه‌های دیگر قابل اجرا است. پس از آن، بسیاری از نویسندگان به سمت نرم‌افزار یکپارچه از اینترنت اشیا و محاسبات ابری در صنایعی مانند تولید [۳]، نظارت بر محیط [۴]، سیستم‌های زمان واقعی [۵]، صرفه‌جویی انرژی [۶]، تولید ابر [۷]، [۸] و زنجیره تامین [۹] سوق پیدا کردند. Xu و همکارانش در [۱۰] یک نظرسنجی برای استفاده از اینترنت اشیا در صنایع ارائه دادند. اینترنت اشیا نیز در برنامه‌های مختلف دیگری مانند موارد ذکر شده در [۱۱] - [۱۸] استفاده شد.

از آنجا که بهره‌وری انرژی یک مسئله چالش برانگیز در اینترنت اشیا است، بسیاری از نویسندگان در این حوزه تحقیقات انجام داده‌اند. در سال ۲۰۱۴، Canberk و Akgul [۱۹] مفهوم "چیزهای خودسازمان یافته" (SOT) را ارائه کردند، که در آن سنسور تحت تنظیمات خودکار، بهینه‌سازی و بهبود مکانیسم‌هایی در انرژی صرفه‌جویی می‌کرد. آنها توضیح دادند زمانی که منطقه تحت پوشش برای صرفه‌جویی در انرژی به کار می‌رود، سنسور را می‌توان در حالت خواب قرار داد. در ۲۰۱۴، Zhou و همکارانش [۲۰] یک "درخت شاخص انرژی کارآمد" (درخت EGF) برای صرفه‌جویی در انرژی مورد استفاده در جمع‌آوری، پرس و جو و جمع‌آوری داده‌ها از سنسورهای واقع در مناطق متعدد در اینترنت اشیا طراحی کردند. آنها یک روش ساخت درخت EGF پیشنهاد دادند که سازماندهی گره‌های حسگر در ساختار درختی را برعهده داشت. درخت، نتایج پرس و جو را از گره‌های حسگر به یک ایستگاه پایه و می‌فرستاد. در سال ۲۰۱۴، Tang و همکارانش [۲۱] روشی مشابه برای ساخت "درخت شاخص خوشه‌بندی" (درخت ECH) ارائه دادند. منطقه اینترنت اشیا به سلول‌های شبکه تقسیم می‌شدند که به یک روش سلسله مراتبی برای تشکیل یک درخت مرتب می‌شدند. انرژی توسط انتقال داده‌ها تنها زمانی که تغییر معنی‌داری بین مقدار حاضر و مقدار ارسال شده‌ی قبلی وجود داشت ذخیره می‌شد. در سال ۲۰۱۴، D'ORO و همکارانش [۲۲] روشی را ارائه دادند که مبتنی بر این واقعیت است که بسیاری از "اشیاء" زمانی که با هم حرکت می‌کنند توسط یک وسیله نقلیه و یا یک انسان حمل می‌شوند. از این رو، نویسندگان از تشکیل گروه و همبستگی مکانی برای کاهش مصرف انرژی در یک سیستم اینترنت اشیا استفاده کردند. در سال ۲۰۱۳، Liang و همکارانش [۲۳] یک روش برای ذخیره انرژی از تجهیزات کاربران ارائه کردند. این روش این امکان را فراهم می‌کند که تجهیزات کاربر به حالت خواب در طول زمانی که غیرفعال هستند و زمانی که مورد نیاز است از حالت خواب خارج می‌شوند سوئیچ کنند. نویسندگان در مورد یک استراتژی برای طولانی‌تر کردن مدت زمان خواب سنسور برای بهره‌وری بهتر انرژی بحث کردند. در سال ۲۰۱۳، Qiu و همکارانش [۲۴] یک پروتکل شبکه GEAR بهبود یافته پیشنهاد دادند، که نه تنها نرخ فلج شبکه را کاهش می‌داد بلکه منجر به بهبود استفاده از انرژی در شبکه می‌شد. نویسندگان از چند استراتژی برای سازماندهی گره‌ها به‌صورت انرژی کارآمد و تحمل‌پذیری خطا استفاده کردند. علاوه‌براین، نویسندگان در [۲۵] - [۲۹] تکنیک‌های انرژی کارآمد در برنامه‌های مختلف اینترنت اشیا ارائه دادند. بنابراین چنین برمی‌آید که هر یک از تکنیک‌های پیشنهادی در صرفه‌جویی انرژی و در مطالعات فوق تنها در یکی از سناریوهای اینترنت اشیا قابل اجرا هستند و هیچ یک از آنها قادر به ایجاد سیستم اینترنت اشیا با انرژی کارآمد نمی‌باشد.

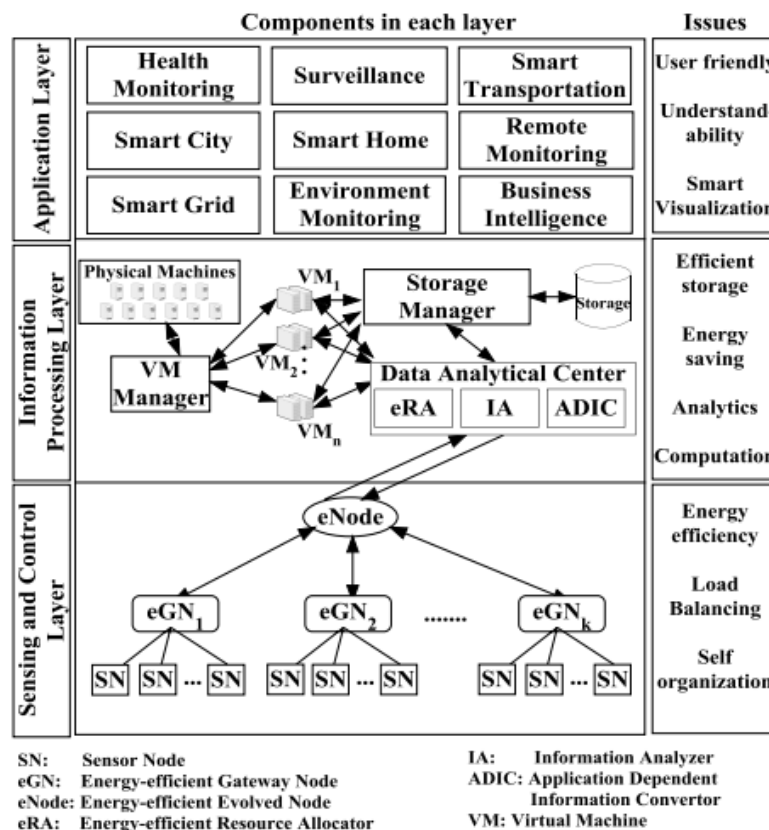


Fig. 2. Energy-efficient architecture for IoT.

علاوه بر این، از آنجا که WSN پایه‌ی سیستم اینترنت اشیا است، بنابراین کشف کار مربوط به بهره‌وری انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ضروری است. در سال ۲۰۱۴، Rault و همکارانش [۳۰] بررسی از تکنیک‌های صرفه‌جویی انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه دادند. آنها بین الزامات برنامه و گسترش عمر باتری گره‌های حسگر بحث کردند و یک راه جدید برای طبقه‌بندی تکنیک‌های صرفه‌جویی انرژی برای شبکه گیرنده بی‌سیم ارائه دادند. در سال ۲۰۱۴، Khan و همکارانش [۳۱] یک بررسی مختصر از طرح‌های انرژی کارآمد مورد استفاده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای حفاظت از قدرت باتری گره سنسور ارائه کردند. آنها همچنین راه‌های مختلفی برای حفظ انرژی از منابع مختلف انرژی از قبیل انرژی خورشیدی ارائه کردند. همچنین محققان بیشمار در زمینه بهره‌وری انرژی بر روی شبکه گیرنده بی‌سیم [۳۲] - [۴۳] کار می‌کنند.

همه مطالعات فوق تکنیک‌های مختلف برای ذخیره انرژی از سنسورهای اینترنت اشیا را مورد بحث قرار دادند. با این حال، هیچ یک از نویسندگان توجه خود را برای ساخت معماری انرژی کارآمد اینترنت اشیا معطوف نکردند. علاوه بر این، هیچ یک از آنها، مکانیزمی برای پیش‌بینی فاصله خواب گره‌های حسگر براساس باقی‌مانده باتری و سابقه استفاده قبلی و افزایش بهره‌برداری از منابع ابر اختصاص داده زمانی که سنسور مربوطه در حالت صرفه‌جویی در انرژی می‌باشد پیشنهاد ندادند.

۳. PA

شکل ۲ نشان می‌دهد که PA متشکل از سه لایه، سنجش و لایه کنترل (SCL)، لایه پردازش اطلاعات (IPL) و لایه کاربرد (AL)، همراه با مسائل به کار گرفته شده توسط هر لایه است. SCL داده‌ها را از محیط هدف و به صورت انرژی کارآمد جمع‌آوری کرده و آنها را به IPL می‌فرستد. AL از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط IPL در حوزه‌های مختلف مانند نظارت بر

سلامت، شهر هوشمند، حمل و نقل هوشمند و غیره استفاده می کند. این سه لایه با جزئیات بیشتر در پایین شرح داده شده است.

SCL.A

SCL متشکل از عناصر سخت افزاری یک سیستم اینترنت اشیا است. که داده های خام در حجم بزرگ را جمع آوری کرده و آنها را برای تحلیل و بررسی داده می فرستد. سه جزء اصلی این لایه، گره های حسگر (SNS)، گره های دروازه با صرفه جویی در انرژی (eGNs) و یک ایستگاه پایه با انرژی کارآمد (که گره تکامل یافته یا eNode نامیده می شود) است. هر یک از این اجزا در زیر توضیح داده شده اند.

۱) SN: SN مسئول جمع آوری اطلاعات می باشد. آنها محیط را بررسی کرده و معیارهای سنسور را به یک گره دروازه (EGN) ارسال می کنند. براساس فرکانس جمع آوری و انتقال داده، SN به صورت دوره ای طبقه بندی می شود [۱۹]. SN مبتنی بر trigger برای رویداد خاصی و انتقال داده ها منتظر می ماند. از سوی دیگر، سنسورهای دوره ای داده ها را در فواصل منظم و یا به هنگام پرس و جو جمع آوری و انتقال می دهند. هر دو نوع SN داده ها را در بافر مربوطه جمع آوری می کند و سخت افزار ارتباطی آنها اطلاعات جمع آوری شده را به eGN می فرستد.

علاوه بر این، SN ها دارای باتری و مقدار انرژی محدود هستند، که به هنگام فعال شدن SN مورد استفاده قرار می گیرند. SN زمانی "فعال" است که در انرژی بالا باشد و به طور فعال در حال سنجش و انتقال داده ها به eGN باشد. PA به SN اجازه می دهد تا انرژی خود را با خاموش کردن فرستنده و گیرنده آن یا تغییر به یک حالت انرژی پایین (همچنین به نام حالت خواب) حفظ کند. SN بلافاصله پس از اتمام انتقال داده به حالت خواب سوئیچ کرده و تا زمانی که eGN یک سیگنال بیدار باش بفرستد در حالت خواب باقی می ماند. eGN می تواند سیگنال بیدار کردن را در سه موقعیت ارسال کند: ابتدا، زمانی که فاصله خواب برای SN تمام شده باشد. سپس، در هنگام پرس و جو؛ و در نهایت، زمانی که برخی SN های دیگر خواستار برقراری ارتباط با آن هستند. در دو مورد اولی، SN محیط هدف را برای پر کردن بافر آن نظارت می کند، درحالی که در مورد سوم، SN داده های ورودی را در بافر آن دریافت می کند. داده های دریافت شده می تواند توسط SN به عنوان یک محرک استفاده شود. SN بعد از تکمیل عمل مورد نیاز مجدداً به حالت خواب سوئیچ می کند. SN حتی اگر برای نظارت بر محیط هدف برای مدت زمان طولانی مورد نیاز نباشد به حالت خواب می رود. بنابراین، سنسورها از قدرت باتری خود برای سوئیچینگ بین حالت فعال و حالت خواب هنگامی که مورد نیاز هستند استفاده می کنند.

۲) eGN ها: eGN یکی از عوامل اصلی برای صرفه جویی در انرژی است در SCL. نه تنها رسانه های ذخیره سازی برای داده های دریافتی از حسگرها را فراهم می کند بلکه به عنوان یک کنترلر از SN متصل به آن عمل می کند. که فاصله خواب هر SN متصل به آن در دو مرحله محاسبه می شود. در اولین قدم، فاصله تا خواب بعدی هر SN براساس سابقه استفاده قبلی آن پیش بینی می شود. گام های بعدی از این مقدار پیش بینی شده برای محاسبه فاصله خواب واقعی براساس عوامل مختلف که در زیر شرح داده شده استفاده می کنند.

فرض کنید T_{n+1}^i مقدار پیش بینی شده از $(N + 1)$ امین فاصله خواب در SN^i و t_n^i مقدار واقعی n امین فاصله خواب SN^i است. T_{n+1}^i ، SN^i را با استفاده از متوسط نمایی [۴۴] طول اندازه گیری از فواصل قبلی خواب، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است پیش بینی می کند. عامل Δt^i برای محاسبه مقدار واقعی $N + 1$ امین فاصله خواب با استفاده از (۲) به T_{n+1}^i اضافه شده است.

$$T_{n+1}^i = \alpha t_n^i + (1 - \alpha) T_n^i; 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$

$$t_{n+1}^i = T_{n+1}^i + \Delta t^i. \quad (2)$$

در معادله (۱)، T_n^i شامل تاریخ گذشته است، درحالی که t_n^i اطلاعات اخیر است. مقدار اولیه، به عنوان مثال، T_0 ، مستقل از نرم افزار و برای هر برنامه ثابت است. α پارامتر کنترلی برای وزن نسبی از تاریخ گذشته و سناریو حاضر در پیش بینی است و تعیین می کند چگونه گذشته سپری شده است. مقدار α بین ۰ و ۱ تغییر می کند. اگر $\alpha = 0$ ، آنگاه سناریوی تازه تاثیر ندارد، و مقدار فاصله خواب بعدی بستگی به تاریخ گذشته دارد. اگر $\alpha = 1$ ، فاصله خواب بعدی برابر با فاصله های قبلی است. مقدار α با توجه به نوع سنسور استفاده شده تعیین می شود. در سنسور تناوبی، سناریوهای گذشته و حال معمولاً با اهمیت یکسان در نظر گرفته می شوند، از این رو، مقدار α به ۰.۵ نزدیک می شود. در یک سنسور مبتنی بر trigger، تجارب گذشته برای برآورد زمان وقوع رویداد مهم است، از این رو، مقدار α نزدیک به ۰ می شود.

در (۲)، عامل Δt_i تغییر در فاصله خواب است. مقدار Δt_i می تواند صفر، مثبت یا منفی باشد که به عوامل مختلفی مانند نوع سنسور بستگی دارد. در سنسور تناوبی، عامل Δt_i به عوامل مختلفی بستگی دارد که در زیر توضیح داده شده است و می تواند با استفاده رابطه زیر محاسبه شود

$$\Delta t^i = \frac{\phi(k) + \xi_i}{E_i * CoV}. \quad (3)$$

(۱) کیفیت اطلاعات ϕ : با فواصل خواب کوتاه تر، حسگر داده های بیشتری از محیط مورد نظر دریافت می کند، از این رو، کیفیت اطلاعات بهبود می یابد، اما باتری بیشتری مصرف می شود. به طور مشابه، فواصل خواب طولانی موجب کاهش مقدار داده های حسگر می شود، که به تبع آن منجر به کاهش کیفیت اطلاعات می گردد. علاوه بر این، فواصل خواب طولانی با صرفه جویی در باتری همراه هستند، اما آنها نمی توانند کیفیت اطلاعات استخراج شده را که بطور قابل توجهی کاهش می یابند افزایش دهند. بنابراین، برای حفظ تعادل بین کیفیت اطلاعات استخراج شده و مصرف انرژی سیستم های اینترنت اشیا، eNode با مرکز داده برای استخراج کیفیت اطلاعات ارتباط برقرار می کند. کیفیت اطلاعات به L سطح اعم از سطح ۱ (بسیار کم) به سطح L (بسیار بالا) تقسیم می شود. مقدار $\phi(k)$ با تقسیم سطح اطلاعات به تعداد کل سطوح به دست می آید

$$\phi(k) = \frac{\text{current level of information}}{\text{total number of levels}}. \quad (4)$$

برای مثال، اگر ده سطح از اطلاعات وجود داشته باشد، سطح پنجم از مقدار $\phi(k)$ برابر با ۰.۵ خواهد بود. مقدار محاسبه شده توسط مرکز تحلیل اطلاعات از IPL به eNode انتقال می یابد، سپس به eGN منتقل می شود. eGN، به نوبه خود، در مورد فاصله خواب بسته به اطلاعات ارائه شده توسط eNode تصمیم می گیرد.

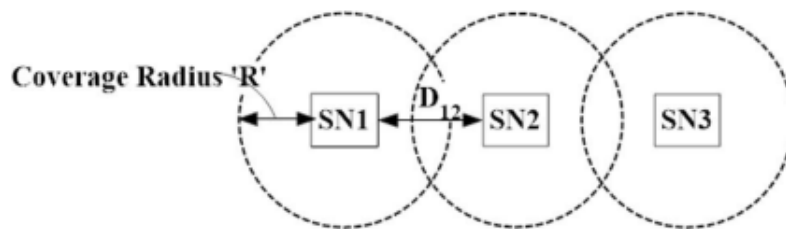


Fig. 3. SNs and their coverage area.

(۲) عامل تضاد (ξ_i) : گاهی اوقات، منطقه تحت پوشش دو یا چند سنسور ممکن است با هم تداخل داشته باشند. شکل ۳ نشان دهنده چنین موردی است، که در آن خط نقطه چین نشان دهنده منطقه ای تحت پوشش از هر گره است. در اینجا، منطقه تحت پوشش SN2 در تضاد با منطقه تحت پوشش از SN1 و SN3 است. عامل تضاد (ξ_i) مقدار منطقه همپوشانی گره i را محاسبه می کند

$$\xi_i = \sum (2R - D_{ik}) \quad (5)$$

که در آن R شعاع پوشش SN ، و D_{ik} فاصله بین گره i ام و k ام است.

(۳) سطح باتری (E_i): به باقی مانده سطح باتری SN^i مربوط می شود. سطح باتری می تواند خیلی کم (کمتر از ۲۰٪) به بسیار بالا (بیشتر از ۸۰٪) باشد. وقتی که میزان مصرف باتری بالا باشد، فاصله خواب می تواند کاهش یابد. از سوی دیگر، با کاهش میزان مصرف باتری، فاصله خواب به تدریج برای بهره‌وری انرژی افزایش می یابد.

(۴) ضریب تغییرات (CoV): eGN بر میزان انحراف بین مقادیر حاضر و قبلی نظارت دارد. اگر مقادیر تنوع قابل توجهی نشان ندهد، فاصله خواب را می توان برای استفاده بهتر از انرژی طولانی مدت انجام داد. از سوی دیگر، اگر مقادیر انحراف زیادی داشتند، فاصله خواب برای نظارت موثر بر محیط هدف کاهش یافته است.

$$CoV = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \mu)^2}}{\mu} \quad (6)$$

که در آن x_i مقدار حسگر و $\mu = \sum n_i = 1$ میانگین مقادیر حسگر است.

در حسگرهای مبتنی بر $trigger$ ، مقدار Δt_i به سه عوامل زیر بستگی دارد که در زیر توضیح داده شده است و با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است

$$\Delta t^i = \frac{\Delta \phi + \xi_i}{E_i} \quad (7)$$

(۱) عامل تضاد (ξ_i): شبیه به مورد بحث شده در سنسور تناوبی است، با این تفاوت که منطقه همپوشانی با در نظر گرفتن محل وقوع در نظر گرفته می شود. اگر p_i احتمال عدم وقوع $trigger$ در منطقه تحت پوشش SN_i باشد، ξ_i را می توان به صورت زیر محاسبه کرد

$$\xi_i = \sum ((2R - D_{ik}) * p_i) \quad (8)$$

(۲) سطح باتری (E_i): سطح باتری یک عامل کم اهمیت در تصمیم گیری در مورد فاصله خواب گره های براساس $trigger$ است زیرا برای حس $trigger$ مهم است و موجب صرفه جویی در انرژی می گردد. باین حال، میزان مصرف باتری نمی تواند نادیده گرفته شود. در صورتی که احتمال وقوع $trigger$ ناچیز باشد و میزان باتری پایین باشد فاصله خواب می تواند افزایش یابد.

(۳) تاثیر $trigger$ بر روی سیستم ($\Delta \phi$): فرض کنید زمانی که سیستم در حالت "S" است رویداد $trigger$ رخ دهد. مرکز

تحلیل داده، تغییر در کیفیت اطلاعات ($\Delta \phi$) را پس از وقوع هر $trigger$ اندازه گیری می کند. اگر بهبود قابل توجهی در کیفیت اطلاعات رخ ندهد، تاثیر $trigger$ بسیار ناچیز بوده است. مرکز تحلیل اطلاعات حالت "S" را ذخیره کرده و از طریق $eNode$ با eGN ارتباط برقرار می کند. تمام حالت ها را در حافظه خود ذخیره می کند، چرا که اگر رویداد تحت چنین حالتی رخ دهد، تاثیر آن به احتمال زیاد ناچیز خواهد بود. از این رو، به هنگام وقوع رویداد $trigger$ بعدی، eGN حالت فعلی سیستم را با تمام حالت های ذخیره شده در حافظه آن مقایسه می کند و اگر انطباقی یافته شود، رویداد نادیده گرفته می شود. این مکانیسم موجب افزایش طول عمر باتری خواهد شد.

پس از محاسبه فاصله خواب واقعی هر SN متصل به آن، eGN یک سیگنال از خواب بیدار شدن به SN می فرستد. علاوه بر این، هر گونه ارتباطی بین SN ها از طریق eGN ها انجام شده است. ارتباطات بین دو SN حالت انتقادی به خود می گیرد اگر اقدام فوری با دریافت SN در پذیرش پیام مورد نیاز باشد. باین حال، اگر پیام ارتباطی حاوی اطلاعاتی باشد که می تواند با دریافت SN در آینده مورد استفاده قرار گیرد، ارتباطات غیر بحرانی نامیده می شود. گره فرستنده می تواند نوع ارتباطات را با تعبیه یک بیت در عنوان پیام نشان دهد.

هنگامی که SN ها می خواهند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، eGN بررسی می کند که آیا SN دریافتی فعال است. اگر SN دریافتی در حالت خواب و ارتباطات بسیار مهم باشد، eGN بلافاصله یک سیگنال از خواب بیدار کردن برای اطمینان از عدم وجود فقدان بسته زمانی که ارتباطات آغاز شده است به آن می فرستد. باین حال، اگر ارتباطات به اندازه کافی مهم نباشد، eGN پیام SN ارسالی را در بافر ذخیره کرده و آن را به SN دریافتی به هنگام از خواب بیدار شدن انتقال می دهد. علاوه بر این، زمانی که یک پیام جستجو می رسد eGN یک سیگنال از خواب بیدار کردن به SN (اگر در حالت خواب باشد) می فرستد. بنابراین، eGN به SN کمک می کند تا به طور موثر از انرژی خود با تعویض به حالت خواب در هر زمانی که بیکار است و با توجه به الگوریتم ۱ استفاده کند.

۳) eNode انرژی کارآمد: SCL شامل یک ایستگاه پایه یا یک eNode است که تمام eGN ها را کنترل می کند. که هر گونه اطلاعات مورد نیاز [مانند کیفیت اطلاعات ()] را از مرکز تحلیلی ابر اطلاعات بازخوانی کرده و آن را به eGN انتقال می دهد. همچنین تمام داده های ببه دست آمده با SN را به IPL انتقال می دهد، از این رو، یک مسیر ارتباطی بین سنسور و منابع ابر ایجاد می کند. علاوه بر این، eNode، SN را به هر eGN بر اساس میزان مصرف باتری و فاصله SN از eGN اختصاص می دهد.

فرض کنید $d(i,k)$ فاصله بین SN_i و SN_k دروازه eGN_k باشد. فرض کنید E_k باتری eGN_k ، و عامل تخصیص $A(i,k)$ از eGN_k با توجه به SN_i می تواند با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شود.

$$A(i,k) = \frac{E_k}{d(i,k)}. \quad (9)$$

Algorithm 1 Working of eGN

Step 1: For each SN (SN_i) in active mode do in parallel

Step 1.1: Collect data from SN_i and store in its buffer

Step 1.2: Send query to eNode to fetch value of α and β

Step 1.3: Predict the next sleep interval T_{n+1}^i of SN_i as

$$T_{n+1}^i = \alpha t_n^i + (1 - \alpha)T_n^i$$

Step 1.4: Calculate the actual next sleep interval

$$t_{n+1}^i = T_{n+1}^i + \Delta t^i$$

Step 1.5: If SN_i is periodic sensor

Step 1.5.1: $\xi_i = \sum (2R - D_{ik})$

Step 1.5.2: $CoV = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \mu)^2}}{\mu}$;
where x_i 's are the sensed values and $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

Step 1.5.3: $\Delta t^i = \frac{\beta(k) + \xi_i}{E_i + CoV}$

Step 1.6: Else

Step 1.6.1: $\xi_i = \sum ((2R - D_{ik}) * p_i)$

Step 1.6.2: $\Delta t^i = \frac{\Delta \beta + \xi_i}{E_i}$

Step 2: For each sensor, SN_i , in sleep mode do

Step 2.1: Send a wake-up signal on expiry of sleep interval

Step 3: For every communication request reaching eGN for SN_i

Step 3.1: If communication is critical

Step 3.1.1: If sensor status = "sleep" send a wake-up signal to SN_i

Step 3.1.2: Initiate the communication

Step 3.2: Else

Step 3.2.1: Buffer the information and send it when SN_i wakes up

Step 4: For every query reaching eGN for SN_i

Step 4.1: If sensor status = "sleep"

Step 4.1.1: Send a wake-up signal to SN_i

علاوه بر این، eNode تغییرات سطح باتری هر eGN را نگه می دارد. و مقدار انرژی باتری باقی مانده را به سه سطح طبقه بندی می کند: بالا ($> 70\%$)، متوسط ($40\% \leq < 70\%$)، و پایین ($\geq 40\%$). هر زمان که میزان باتری برخی از تغییرات eGNi به یک سطح پایین تر نزدیک گردد، eNode عامل تخصیص برای هر دروازه را مجدد محاسبه می کند. این عمل با شیفت "X" تعداد از SN متصل به eGNi و eGNk به دست می آید، که در آن eGNk دروازه با حداکثر عامل تخصیص و "X" با استفاده از رابطه ی زیر قابل محاسبه است

$$x = \frac{\text{Difference in number of SNs connected to eGN}_i \text{ and eGN}_k}{A(k)} \quad (10)$$

به این ترتیب، eNode تعادل بار هر eGN را برای بهره برداری موثر از انرژی در تمام گره های دروازه حفظ می کند. علاوه بر این، eNode حداکثر مقدار داده ها (D_{max}) را که می تواند در طول زمان Δt بعدی بسته به تعداد سنسورهای فعال در Δt تولید شود محاسبه می کند. تعداد حسگرهای فعال را می توان از فواصل خواب آنها تعیین کرد. اگر n تعداد حسگرهای فعال در طول Δt و a متوسط داده تولید شده توسط یک SN در یک دوره ی زمانی باشد، $D_{max} = a * n$. eNode مقدار به D_{max} را به مرکز تحلیل اطلاعات می فرستد به طوری که می تواند منابع ابر را اختصاص دهد.

IPL.B

داده های جمع آوری شده توسط SN به صورت خام و در حجم زیاد هستند. این داده ها برای استخراج اطلاعات تفسیری از آن باید ذخیره، پردازش و تجزیه و تحلیل شوند. این وظیفه توسط IPL انجام می گیرد، که از حافظه و ابزارهای تحلیلی داده ارائه شده توسط پلت فرم محاسبات ابری استفاده می کند. این لایه شامل یک مرکز تجزیه و تحلیل داده ها، رسانه های ذخیره سازی و ماشین های مجازی و فیزیکی متفاوت است. مرکز تحلیلی داده بیشتر شامل تخصیص کارآمد منابع انرژی (ERA)، تجزیه و تحلیل اطلاعات (IA) و مبدل اطلاعات وابسته به نرم افزار است (ADIC). هر یک از اجزای IPL در زیر توضیح داده شده است.

(۱) eRA: eRA یک جزء صرفه جویی در انرژی از IPL است. آن منابع سخت افزاری را برای پردازش داده ها و با توجه به شرایط SCL اختصاص می دهد. eNode مقدار Dmax را به eRA انتقال می دهد که، برای تنظیم انرژی از منابع اختصاص داده شده استفاده می کند. بنابراین، منابع SCL و IPL باهم "تنظیم" شده و در جهت عملکرد بهتر و ذخیره انرژی. این مکانیزم امکان استفاده انرژی کارآمد از منابع ابر را فراهم می کند.

(۲) IA: IA سطح اطلاعات استخراج شده از داده های جمع آوری شده توسط SCL را محاسبه می کند. بنابراین سطح اطلاعات را به L سطح اعم از بسیار پایین (سطح ۱) تا بسیار بالا (سطح L) طبقه بندی می کند. عامل § (کیفیت اطلاعات) توسط IA محاسبه شده و هر زمان که از سطح بالاتر به سطح پایین تر انتقال یافت و یا پذیرش پرس و جو از eNode صورت گرفت به eNode انتقال می یابد.

(۳) ADIC: اطلاعات استخراج شده توسط IPL می تواند توسط هر برنامه در AL استفاده شود. اطلاعات یکسان می تواند توسط برنامه های مختلف اما در اشکال مختلف استفاده شود. ADIC اطلاعات را به شکل مورد نیاز برای برنامه های مختلف تبدیل می کند. این مکانیزم برای توسعه دهندگان نرم افزار یک پلت فرم (PaaS) برای توسعه آسان نرم افزار فراهم می کند.

(۴) ماشین های فیزیکی/ مجازی و رسانه های ذخیره سازی: ماشین های فیزیکی در IPL برای تشکیل ماشین های مجازی توسط مدیر ماشین مجازی خوشه بندی می شوند. از این رو ماشین های مجازی تشکیل شده و سپس برای پردازش داده ها استفاده می شوند. آنان اطلاعات را به یک فرم تفسیری تبدیل کرده و آنها را در رسانه های ذخیره سازی، که توسط یک مدیر ذخیره سازی کنترل می شود ذخیره می کنند.

AL.C

AL خدماتی را برای کاربران نهایی ارائه می دهد. برای این کار یک رابط برای کاربران و برای برنامه های کاربردی مانند نظارت بر سلامت، شهرهای هوشمند، حمل و نقل هوشمند، نظارت بر محیط، کسب و کار هوشمند، شبکه هوشمند و نظارت از راه دور فراهم می کند. اطلاعات به دست آمده از داده های خام جمع آوری شده توسط سنسورها را می توان توسط هر برنامه ای استفاده کرد. علاوه بر این، این لایه ابزار تصویرسازی برای نشان دادن داده پردازش شده فراهم می کند.

TABLE I
INITIAL SYSTEM STATE

Parameter	Value
ϕ	5
CoV	0.6
ξ	0
E	80%
t_n	12 min
T_n	6 min
α	0.5
Active time interval	5 min
E_s	0.002% of the remaining battery power
E_a (With sleep intervals)	0.4% of the remaining battery power
E_a (Without sleep intervals)	0.3% of the remaining battery power

بنابراین، PA به طور موثر موجب صرفه جویی در انرژی منابع سخت افزاری SCL و IPL می گردد. سطح باتری های ذخیره شده سنسورها به طولانی شدن عمر سیستم اینترنت اشیا کمک می کند. به طور خلاصه، بهره وری انرژی توسط eGN و eNode در SCL و توسط eRA در IPL معماری اینترنت اشیا به دست می آید.

4. تجزیه و تحلیل نظری

قبل از ارائه ی تجزیه و تحلیل نظری از سیستم، ابتدا روش محاسبه سطح انرژی یک گره توضیح داده می شود. مشاهده شده است که مصرف انرژی گره خاص در سیستم با فاصله خواب آن نسبت عکس دارد، که به نوبه خود، به عوامل مختلف از جمله باقی مانده سطح باتری، عامل تضاد، کیفیت اطلاعات و COV بستگی دارد. هرچه قدر فاصله خواب بیشتر، مصرف انرژی کمتر و بالعکس. علاوه بر این، هر گره یک مقدار مشخص از انرژی را در حالت فعال (EA) و در حالت خواب (ES) مصرف می کند. مقدار انرژی مصرف شده در حالت فعال و خواب به گره وابسته است. از این رو، با محاسبه فاصله خواب و با استفاده از عوامل مختلف، سطح انرژی یک گره را می توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد

$$\text{Energy consumed} = T_s * E_s + (T - T_s) * E_a. \quad (11)$$

در اینجا، T_s مجموع تمام فواصل خواب و T مجموع مدت زمان سپری شده است. از این رو، $(T - T_s)$ نشان دهنده مجموع مدت زمان برای گره در حالت فعال است.

برای تجزیه و تحلیل نظری PA، یک مطالعه موردی صورت گرفته شده است که در آن شرایط اولیه برای سیستم در جدول ۱ نشان داده شده است. فاصله زمانی فعال زمانی است که SN در حالت فعال قرار دارد. فرض کنید این زمان ثابت و برابر با ۵ دقیقه باشد. بعد از ۵ دقیقه، سنسور برای مدت فاصله که با استفاده از (۱) - (۶) محاسبه می شود به حالت خواب سوئیچ می کند. مقدار EA (با فواصل خواب) برابر با ۰.۴٪ است، که به شیوه ای یکسان با انرژی اضافی مورد نیاز برای انتقال حالت از حالت خواب به حالت فعال محاسبه می شود. با این حال اگر سنسور به طور مداوم در حالت فعال باقی بماند (به عنوان مثال، فاصله خواب وجود نداشته باشد)، $E_a = 0.3\%$ از قدرت باتری باقی مانده، چرا که هیچ حالت انتقالی وجود ندارد.

تاثیر PA در سطح باتری یک سنسور متناوب محاسبه شده و در جدول ۲ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که اندیس "1" در نمادهای جدول ۲ در نظر گرفته نشده است چرا که تنها یک گره در اینجا مد نظر قرار گرفته است. از نتایج چنین برمی آید که در ۱۲۰ دقیقه، سنسور $(44 - 61.85) / 100 = 17.85\%$ از قدرت باتری را با استفاده از PA ذخیره می کند.

TABLE II
THEORETICAL RESULTS

<i>Time Elapsed (min)</i>	<i>T_{n+1} (min)</i>	<i>t_{n+1} (min)</i>	<i>E (with sleep interval)</i>	<i>E (without sleep interval)</i>
0	--	--	80	80
5	9	9.1	78	78.5
14.1	--	--	77.9818	75.77
19.1	9.05	9.159675	75.9818	74.27
28.25968	--	--	75.96348	71.5221
33.25968	9.104838	9.217506	73.96348	70.0221
42.47718	--	--	73.94505	67.25685
47.47718	9.161172	9.277001	71.94505	65.75685
56.75418	--	--	71.92649	62.97375
61.75418	9.219086	9.338259	69.92649	61.47375
71.09244	--	--	69.90782	58.67227
76.09244	9.278673	9.401388	67.90782	57.17227
85.49383	--	--	67.88901	54.35185
90.49383	9.34003	9.466506	65.88901	52.85185
99.96034	--	--	65.87008	50.0119
104.9603	9.403268	9.533741	63.87008	48.5119
114.4941	--	--	63.85101	45.65178
119.4941	9.468505	9.603237	61.85101	44.15178
120	--	--	61.85	44

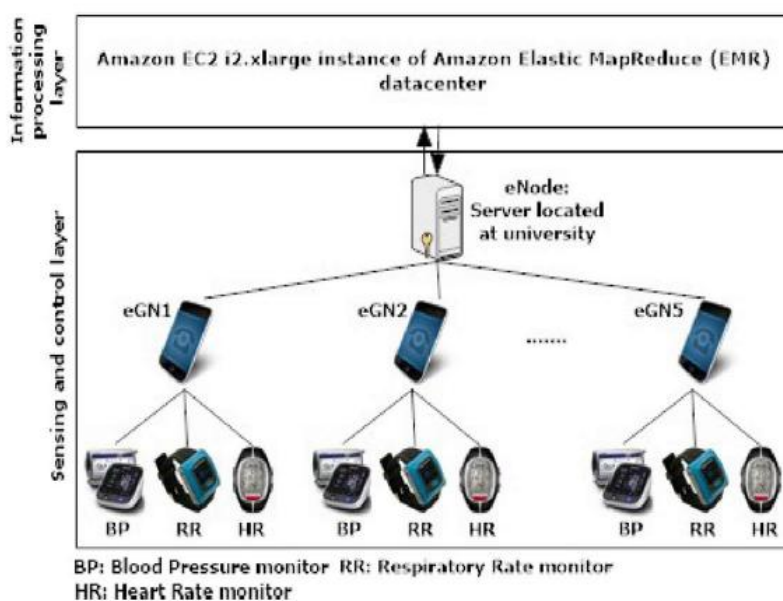


Fig. 4. Experimental setup for the PA.

5. راه اندازی تجربی و تجزیه و تحلیل عملکرد

این بخش در مورد تجزیه و تحلیل تجربی PA بحث می کند. راه اندازی آزمایشی به دو بخش تقسیم می شود: (۱) مقداردهی اولیه در SCL و (۲) انتقال داده ها به محیط ابر.

A. مقداردهی اولیه در SCL

شکل ۴ راه اندازی آزمایشی استفاده شده برای ارزیابی PA در دانشگاه را نشان می دهد. در اینجا، پنج نفر داوطلبانه از دانشگاه، برای مشاهده فشار خون (BP)، ضربان قلب (HR) و نرخ تنفس (RR) به سه سنسور متصل شدند. این حسگرها برای نظارت

بر فشار خون، ضربان قلب، و RR این افراد عبارتند از: (۱) Omron 10 upper arm BP monitor Model BP785 [45] و (2) RS 300 polar HR monitor [46] و (۳) سیستم مدیریت محتوا 50F OLED wrist RR monitor [47]. جداول ۳ و ۴ جزئیات مربوط به افراد و سنسورها را بیان می کنند.

TABLE III
DETAILS OF FIVE VOLUNTARY INDIVIDUALS FROM
UNIVERSITY CAMPUS

<i>S.No.</i>	<i>Age (yrs)</i>	<i>Height (cm)</i>	<i>Weight (kg)</i>	<i>Medical history</i>
1	19	168	68	None
2	26	176	75	Hypertension
3	34	165	72	Asthma
4	47	172	89	None
5	62	170	83	Heart Patient

TABLE IV
AMOUNT OF DATA GENERATED BY EACH SENSOR

<i>Sensor</i>	<i>Data generated</i>
Omron 10 upper arm BP monitor	52KB per 10 sec
Polar RS 300x HR monitor	108 KB per 10sec
CMS 50F OLED wrist RR monitor	143 KB per trigger

دو سنسور اول به عنوان سنسور دوره درمان و سنسور سوم به عنوان یک سنسور مبتنی بر trigger است که به هنگامی که HR از یک مقدار خاص افزایش می یابد موجب تغییر می شود. فرض شده است که عامل تضاد هر سنسور صفر است. این سنسورها از طریق بلوتوث به موبایل های مبتنی بر اندروید متصل می شوند. تلفن همراه به عنوان eGN از PA عمل می کند. نرم افزار مبتنی بر جاوا اسکریپت بر روی هر تلفن همراه برای اجرای الگوریتم انرژی کارآمد برای EGN نصب می شود. سرور واقع در دانشگاه به عنوان eNode در PA عمل می کند. eNode داده های حسگر را به مرکز داده نگاشت کاهش الاستیک آمازون (آمازون EMR) [۴۸] که میزبانی خوشه V1.0.3 Hadoop را دارد می فرستد.

در یک آزمایش ۱۲۰ دقیقه ای، عملکرد سنسورها، به عنوان مثال، eNode و eGN، با و بدون فواصل خواب اندازه گیری شد که در شکل ۵ (یک) - (ه) نشان داده شده است. تغییر در فاصله خواب با تغییرات α در شکل ۵ (ج) نشان داده شده است. شکل ۵ (g) و (h) تنوع عامل Δt را با کاهش میزان مصرف باتری برای سطوح مختلف و مقادیر COV نشان می دهد. وابستگی فاصله واقعی خواب در فاصله خواب پیش بینی شده و Δt با تغییرات در سطح باتری در شکل ۵ (i) نشان داده شده است.

B. انتقال داده به محیط ابر

از آنجا که اطلاعات تولید شده توسط حسگرها کم است، روش های خودراه انداز [۴۹] استفاده شده است. داده های به دست آمده از پنج کاربر برای ۵۰۰۰ کاربر با استفاده از ضریب همبستگی به عنوان نوع راه اندازی شده است. ۹۵٪ فاصله اطمینان برای ضریب همبستگی بین سن و BP [۰.۹۴۲۷ ۰.۳۳۱۹] است، که بین سن و منابع انسانی [۰.۴۵۲۶ ۰.۹۳۴۸] و بین منابع انسانی و RR [۰.۹۴۳۶ ۰.۵۶۹۲] است. داده ای راه اندازی شده به ابر فرستاده می شود. ذخیره سازی بهینه سازی آمازون EC2 i2.xlarge [۵۰] برای تست عملکرد PA استفاده شده است. زمان پاسخ و بهره برداری از منابع ابر اندازه گیری شده و در شکل ۵ (j) و (k) نشان داده شده است. برای بررسی مقیاس پذیری PA، آزمایش با تعداد گره های مختلف تکرار شده است. شکل ۵ (L) نتایج را نشان می دهد.

C. نتایج و بحث

شکل ۵ (a) - (d) عملکرد سه سنسور و eGN را با توجه به میزان مصرف باتری نشان می دهد. مشاهده شده است که یک مصرف انرژی کارآمد برای انرژی باتری با استفاده از فواصل خواب وجود دارد زیرا انرژی با تعویض سنسور و eGN به حالت انرژی پایین براساس عوامل مختلف همانطور که در بخش سوم بیان شد ذخیره می شود. در مورد سنسور تن RR، کاهش ناگهانی در میزان مصرف باتری در شکل ۵ (b) نشان داده شده است. شکل ۵ (e) بهره‌وری انرژی در eNode را نشان می دهد. می توان مشاهده کرد که، در مورد سیستم با هیچ فاصله خوابی، یک مصرف ناگهانی انرژی توسط eNode در ابتدا وجود دارد. دلیل این مورد انرژی مصرف شده برای پیکربندی تمام گره های فعال برای شروع است. پس از آن، تمام گره ها به طور مداوم داده را بدون سوئیچ به حالت خواب ارسال می کنند، از این رو، eNode تقریباً همان مقدار انرژی را در مدت زمان معین مصرف می کند. از سوی دیگر، زمانی که گره به حالت خواب سوئیچ می کند، eNode مقدار نسبتاً کوچکی از داده ها را به دلیل ک مصرف انرژی کمتر دریافت می کند. هنگامی که یک سنسور حالت خود را از حالت خواب به حالت فعال تبدیل می کند، مقدار انرژی اضافی مصرف می شود. با این حال، انرژی ذخیره شده توسط PA بیش از انرژی اضافی مصرف شده توسط این سیستم با توجه به انتقال حالت می باشد. نتایج در شکل ۵ (a) - (e) از این موارد پشتیبانی می کنند.

شکل ۵ (f) تاثیر α در فاصله خواب پیش بینی شده را نشان می دهد. روند نمودار نشان می دهد که مقادیر پایین تر از α فاصله خواب های اخیر است از این رو، یک منحنی مسطح را نشان می دهد. از سوی دیگر، مقادیر بزرگتر از α به تنوع بیشتری در فاصله خواب با توجه به وزن های داده شده را نشان می دهد.

شکل ۵ (g) نشان می دهد که تنوع Δt با کاهش سطح باتری و سطوح مختلف، منجر به حفظ $COV = 0.5$ در یک مقدار ثابت گردیده است. مشاهده می شود زمانی که کیفیت اطلاعات بسیار کم است، فاصله خواب تقریباً صفر است بنابراین اطلاعات بیشتری را می توان از محیط هدف دریافت، از این رو، کیفیت اطلاعات را می توان داد. فاصله خواب با افزایش کیفیت اطلاعات و کاهش میزان مصرف باتری افزایش می یابد زیرا اگر کیفیت اطلاعات بالاتر باشد، فاصله خواب به طور موثر و بدون تنوع در کیفیت اطلاعات بسیار افزایش می یابد.

شکل ۵ (h) روند را با توجه به مقادیر مختلف Δt در COV نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که Δt به سرعت با کاهش میزان مصرف باتری افزایش می یابد. بنابراین این افزایش در Δt با کاهش قدرت باتری موجب افزایش فاصله خواب یک SN می گردد که برای صرفه جویی در انرژی مطلوب است. علاوه بر این، افزایش برای مقادیر پایین تر از COV زیاد است چرا که اگر تنوع زیادی در توالی حس شود، پس از آن فاصله خواب را نمی توان به سرعت داد و بالعکس. شکل ۵ (i) تنوع Δt ، پیش بینی فاصله خواب و فاصله خواب واقعی با کاهش سطح باتری سنسور را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که فاصله خواب واقعی در ابتدا از روند فاصله خواب پیش بینی شده پیروی می کند زیرا مقداری مازاد بر قدرت باتری در دسترس وجود دارد. با این حال، هنگامی که میزان باتری به زیر ۵۰٪ رسید، فاصله خواب واقعی شروع به پیروی از Δt می کند چرا که سطح باتری کاهش می یابد و فاصله خواب با کاهش کیفیت اطلاعات افزایش می یابد. عملکرد PA در محیط ابر در شکل ۵ (j) و (K) نشان داده شده است. قابل مشاهده است که بهبود قابل توجهی در زمان پاسخ و بهره برداری از منابع ابر وجود دارد. بنابراین منابع ابر به حالت خواب یا به حالتی بر اساس مقدار D_{max} تغییر می کنند.

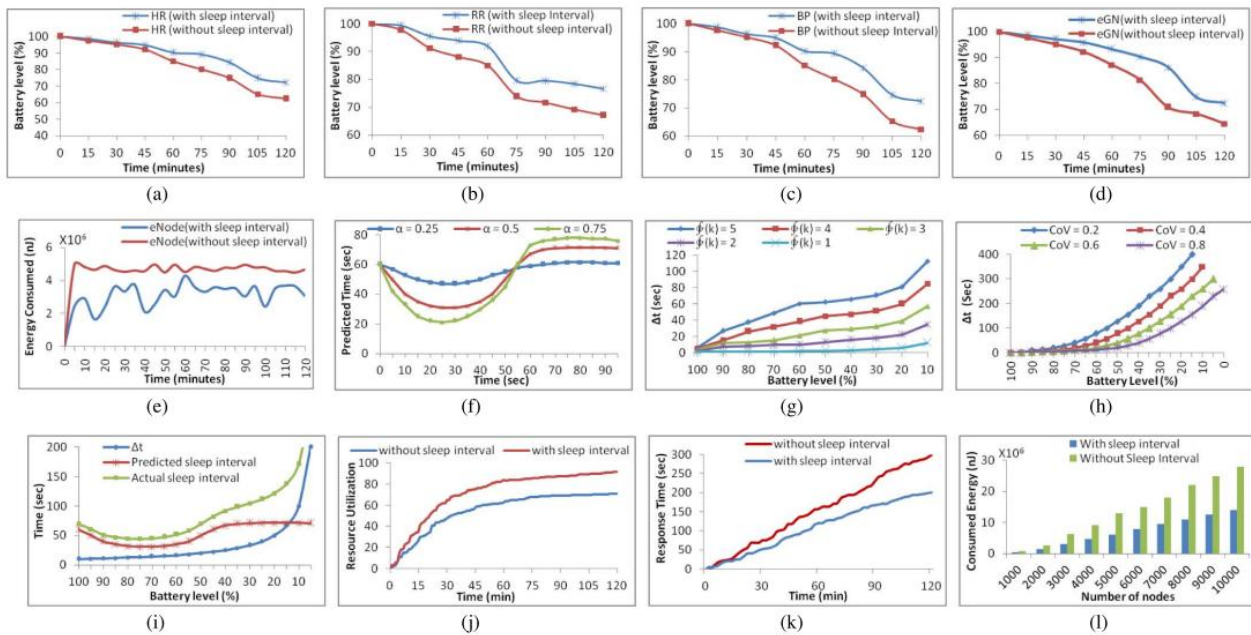


Fig. 5. (a)–(l) Experimental results: (a)–(c) variation of the battery levels of HR, RR, and BP monitors, respectively, when they sense data with and without sleep intervals; (d) variation of the battery levels of the eGN, both with and without sleep intervals; (e) energy consumed by the eNode with and without sleep intervals; (f) variation of predicted sleep intervals with the variation of α ; (g) and (h) variation of Δt with quality of information and CoV, respectively; (i) dependence of actual sleep interval on predicted sleep interval and Δt with the variation of battery levels; (j) and (k) variation of response time and resource utilization, respectively, of cloud resources, both with and without sleep intervals; (l) variation of energy consumed with respect to the number of nodes.

بنابراین، منابع ابر به شیوه‌ای انرژی کارآمد استفاده می‌شوند. شکل ۵ (L) مقیاس‌پذیری PA را با تعدادی گره نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گره‌ها، یک مقدار پایین از انرژی توسط PA مصرف شده است.

6. تجزیه و تحلیل

در این بخش به سمت مقایسه عملکرد PA در سه مورد زیر حرکت می‌کنیم: (۱) مقایسه عملکرد با تکنیک‌های مرتبط؛ (۲) مقایسه تجربی با تکنیک مرتبط؛ و (۳) مقایسه عملکرد PA تحت حالات و تنظیمات مختلف سیستم. دو مورد اول PA را با برخی از روش‌های بهره‌وری انرژی که در بخش دوم بحث شد مقایسه می‌کند. روش‌های مورد استفاده برای مقایسه SOT [19]، درخت EGF [۲۰]، درخت ECH [۲۱] و در محلی‌سازی گروه شی (OGL) [۲۲] هستند. مورد سوم تناسب PA در سناریوهای مختلف را برجسته می‌کند.

A. مقایسه عملکرد

جدول ۵ مقایسه عملکرد PA با روش‌های دیگر را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که (۱) بهره‌وری انرژی از منابع ابر تنها در PA در نظر گرفته شده است و (۲) بهره‌وری انرژی SN فکر خوبی در ECF، SOT و PA است، درحالی‌که EGF و OGL بر روی این موضوع عمل نمی‌کند.

(۱) اجازه می‌دهد تا گره‌ها در شبکه حرکت کنند زیرا محاسبه فاصله خواب و تمامی عوامل مرتبط پویا است. OGL به‌طور خاص برای شبکه‌های تلفن همراه اینترنت اشیا طراحی شده است. در تناقض با این روش، روش دیگر اجازه نمی‌دهد گره در شبکه اینترنت اشیا حرکت کند.

(۲) سطح باتری باقی‌مانده از SN نسبت به محاسبه فاصله خواب در PA یک عنصر کلیدی است. هیچ یک از تکنیک‌های دیگر میزان مصرف باتری را در نظر نگرفته‌اند.

(۳) تمام روش‌ها به جز SOT با تغییر تعداد گره‌ها در یک شبکه اینترنت اشیا مقیاس خوبی ایجاد می‌کنند.

(۴) همه روش ها، به غیر از PA، تنها در برخی از سناریوهای اینترنت اشیا قابل اجرا هستند. ازسوی دیگر، از آنجا که یک معماری در این مقاله پیشنهاد (به جای یک روش) شده است، می توان آن را به تعداد زیادی از شبکه های اینترنت اشیا اعمال کرد.

از موارد فوق، می توان نتیجه گرفت که PA قابلیت کاربردی تری را نسبت به روش های دیگر نشان می دهد.

B. مقایسه تجربی

شکل (۶) مقایسه عملکرد PA با SOT، EGF، ECH و OGL را نشان می دهد. PA بهبود عملکرد را نسبت به روش های دیگر و با مصرف مقدار کمتر انرژی نشان می دهد.

C. مقایسه سناریو

می توان مشاهده کرد که تنظیمات سیستم در برنامه های کاربردی مختلف و واقعی به طور عمده متفاوت از تعداد گره ها در سیستم، میزان ترافیک شبکه و تراکم گره است. به عنوان مثال، شبکه های اینترنت اشیا صنعتی مترکم هستند و نرخ ترافیک بالایی دارند. تعداد زیادی گره در چنین شبکه هایی وجود دارد. از سوی دیگر، خانه های هوشمند شامل میزان ترافیک کم و تعداد و تراکم گره کمتری هستند. از این رو، برای بررسی کاربرد PA در سناریوهای مختلف، سیستم توسط نرخ ترافیک های مختلف، تراکم گره و تعداد گره تست شده است.

TABLE V
FUNCTIONALITY ANALYSIS

S.No.	Parameters	SoT	EGF	ECF	OGL	Proposed Architecture
1.	Energy efficiency of cloud resources	No	No	No	No	Yes
2.	Energy efficiency of SNs	Yes	No	Yes	No	Yes
3.	Node Mobility	No	No	No	Yes	Yes
4.	Battery level consideration	No	No	No	No	Yes
5.	Scalability	No	Yes	Yes	Yes	Yes
6.	Applicability	Dense IoT network with low traffic rate	Data collection and aggregation for query handling in IoT	Handle time correlated region queries	Mobile IoT networks	Many IoT networks
7.	Methodology used	Sleep scheduling	EGF- Tree	ECH-Tree	Object Group Mobility	Sleep scheduling based architecture
8.	Self learning mechanism	Yes	Yes	No	Yes	Yes

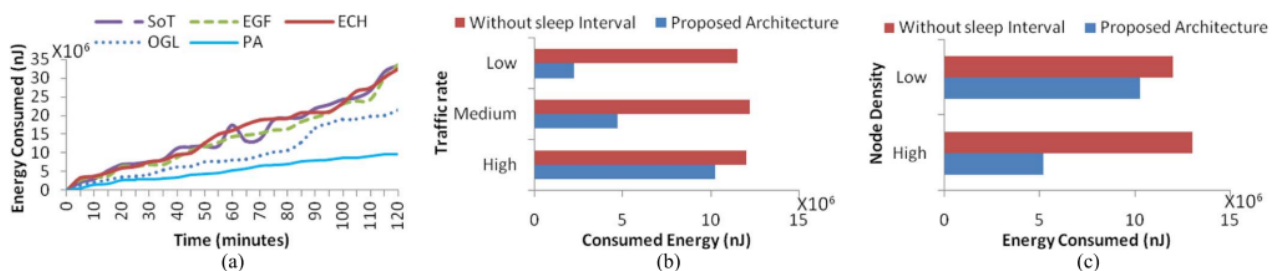


Fig. 6. (a)–(c) Comparative results: (a) performance comparison of the PA with SoT, EGF-tree, ECH-tree, and OGL; (b) and (c) amount of energy consumed by the system with 4500 nodes with various levels of traffic rate and node density, respectively.

نرخ ترافیک با تغییر تعداد دفعاتی که SN داده ها را می فرستد و پیام به eGN و SN می رسد تغییر می یابد. زمانی که داده بیشتری ارتباط برقرار می کنند، نرخ ترافیک بیشتر می شود و بالعکس.

بنابراین، برای تست مناسب بودن PA برای تنظیمات و حالات سیستم های مختلف، یک آزمایش با تغییر تعداد گره، میزان ترافیک شبکه و تراکم در سیستم انجام شده است. عملکرد سیستم با افزایش تعداد گره ها افزایش می یابد که در بخش قبلی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج، مقدار انرژی مصرف شده توسط یک سیستم با ۴۵۰۰ گره و با نرخ ترافیک مختلف و تراکم گره را در شکل ۶ (ب) و (ج)، به ترتیب نشان داده است.

شکل ۶ (ب) مقدار انرژی مصرف شده توسط سیستم با ترافیک شبکه بالا، متوسط و کم را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که PA به بهترین عملکرد خود در هنگام نرخ ترافیک پایین می رسد. دلیل این امر این است که ترافیک کم منجر به فواصل خواب بزرگتر می شود. از سوی دیگر، نرخ ترافیک بالاتر موجب کاهش فاصله خواب گره ها می شود. همچنین می تواند بیان کرد که نرخ ترافیک بالا، منجر به مصرف انرژی کم برای PA و بدون استفاده از فاصله خواب می گردد.

انرژی مصرف شده توسط این سیستم با تراکم گره تغییر می یابد. شکل ۶ (ج) نتایج را نشان می دهد. نتایج بیان می کند که تراکم گره بالاتر، منجر به انرژی پایین تر می گردد. زیرا تراکم گره بالاتر منجر به درگیری میان گره ها می شود، از این رو، گره بیشتر به حالت خواب تغییر می کند، که به نوبه خود، منجر به مصرف انرژی پایین تر می گردد. از تمامی نتایج فوق، می توان نتیجه گرفت که PA برای اینترنت اشیا انرژی کارآمد است و در تمام شبکه های اینترنت اشیا قابل اجرا است.

7. نتیجه گیری

در این مقاله، معماری برای اینترنت اشیا مطرح شده است، که استفاده انرژی کارآمد از منابع را تضمین می کند. معماری با استفاده از داده های پزشکی در آمازون i2.xlarge EC2 تست شده است. نتایج نشان می دهد که انرژی به صورت موثر و کارآمد با تعویض سخت افزار ذخیره منابع از SCL و IPL به حالت خواب می رود. ویژگی کلیدی مدل ارائه شده تبادل اطلاعات مبتنی بر انرژی بین دو لایه است. سنسور براساس نیروی باتری خود و دیگر عوامل، مانند کیفیت اطلاعات استخراج شده، عامل تضاد و COV به حالت خواب می رود. این مکانیزم محیط ابر را آماده ی پیش بینی حداکثر مقدار داده می کند که می تواند در طول بازه زمانی بعدی دریافت شود. از این رو، PA موجب افزایش بهره برداری از منابع سخت افزاری در SCL و IPL می گردد. به طور خلاصه، PA انرژی کارآمد است. علاوه بر این، با توجه به ماهیت انعطاف پذیر PA، می توان آن را به تعداد زیادی شبکه از اینترنت اشیا اعمال کرد.

REFERENCES:

- [1] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013.
- [2] R. Caceres and A. Friday, "Ubicomp systems at 20: Progress, opportunities, and challenges," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 14–21, Jan./Mar. 2012.
- [3] Z. Bi, L. D. Xu, and C. Wang, "Internet of things for enterprise systems of modern manufacturing," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 2, pp. 1537–1546, May 2014.
- [4] S. Fang et al., "An integrated system for regional environmental monitoring and management based on Internet of things," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 2, pp. 1596–1605, May 2014.
- [5] D. Zhang et al., "Real-time locating systems using active RFID for Internet of things," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2346625, to be published.
- [6] F. Tao, Y. Zuo, L. D. Xu, L. Lv, and L. Zhang, "Internet of things and BOM-based life cycle assessment of energy-saving and emission reduction of products," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 2, pp. 1252–1261, May 2014.

- [7] F. Tao, Y. Cheng, L. D. Xu, L. Zhang, and B. H. Li, "CCIoT-CMfg: Cloud computing and Internet of things-based cloud manufacturing service system," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 2, pp. 1435–1442, May 2014.
- [8] F. Tao, Y. Zuo, L. D. Xu, and L. Zhang, "IoT-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 2, pp. 1547–1557, May 2014.
- [9] L. Liu, W. Han, T. Zhou, and X. Zhang, "SCout: Prying into supply chains via a public query interface," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2337519, to be published.
- [10] L. D. Xu, W. He, and S. Li, "Internet of things in industries: A survey," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, Nov. 2014.
- [11] F. Paganelli, S. Turchi, and D. Giuli, "A web of things framework for RESTful applications and its experimentation in a smart city," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2354835, to be published.
- [12] E. Patti et al., "Event-driven user-centric middleware for energy-efficient buildings and public spaces," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2302750, to be published.
- [13] O. Bello and S. Zeadally, "Intelligent device-to-device communication in the Internet of things," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2298837, to be published.
- [14] J. Chen, B. Wang, W. Liu, L. T. Yang, and X. Deng, "Rotating directional sensors to mend barrier gaps in a line-based deployed directional sensor network," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2327793, to be published.
- [15] A. H. Celdran, F. J. Garcia Clemente, M. G. Perez, and G. M. Perez, "SeCoMan: A semantic-aware policy framework for developing privacy-preserving and context-aware smart applications," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2013.2297707, to be published.
- [16] Y. Liang et al., "An integrated approach of sensing tobacco-oriented activities in online participatory media," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2304706, to be published.
- [17] Y. Hu, M. Dong, K. Ota, A. Liu, and M. Guo, "Mobile target detection in wireless sensor networks with adjustable sensing frequency," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2308391, to be published.
- [18] J. Pan et al., "A Internet of things framework for smart energy in buildings: Designs, prototype, and experiments," *IEEE Internet Things J.*, DOI: 10.1109/JIOT.2015.2413397, to be published.
- [19] O. U. Akgul and B. Canberk, "Self-Organized Things (SoT): An energy efficient next generation network management," *Comput. Commun.*, DOI: 10.1016/j.comcom.2014.07.004, to be published.
- [20] Z. Zhou, J. Tang, L. Zhang, K. Ning, and Q. Wang, "EGF-tree: An energy-efficient index tree for facilitating multi-region query aggregation in the Internet of things," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 18, no. 4, pp. 951–966, Apr. 2014.
- [21] J. Tang, Z. Zhou, J. Niu, and Q. Wang, "An energy efficient hierarchical clustering index tree for facilitating time-correlated region queries in the Internet of things," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 40, pp. 1–11, Apr. 2014.
- [22] S. D'Oro, L. Galluccio, G. Morabito, and S. Palazzo, "Exploiting object group localization in the Internet of things: A performance analysis," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 8, pp. 3645–3656, Aug. 2015.
- [23] J. Liang, J. Chen, H. Cheng, and Y. Tseng, "An energy-efficient sleep scheduling with QoS consideration in 3GPP LTE-advanced networks for Internet of things," *IEEE J. Emerging Sel. Topics Circuits Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–22, Mar. 2013.

- [24] T. Qui, W. Sun, Y. Bai, and Y. Zhou, "An efficient multi-path selforganizing strategy in Internet of things," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 73, no. 4, pp. 1613–1629, Dec. 2013.
- [25] M. A. Hoque, M. Siekkinen, and J. K. Nurminen, "Energy efficient multimedia streaming to mobile devices—A survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 16, no. 1, pp. 579–597, 1st Quart. 2014.
- [26] V. Sai and M. H. Mickle, "Exploring energy efficient architectures in passive wireless nodes for IoT applications," *IEEE Circuits Syst. Mag.*, vol. 14, no. 2, pp. 48–54, 2nd Quart. 2014.
- [27] F. Lin, Q. Liu, X. Zhou, Y. Chen, and D. Huang, "Cooperative differential game for model energy–bandwidth efficiency tradeoff in the Internet of things," *China Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 92–102, Jan. 2014.
- [28] C. Hou and Q. Zhao, "Bayesian prediction-based energy-saving algorithm for embedded intelligent terminal," *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst.*, DOI: 10.1109/TVLSI.2014.2385791, to be published.
- [29] C. H. Liu, J. Fan, J. W. Branch, and K. K. Leung, "Toward QoI and energy-efficiency in Internet-of-things sensory environments," *IEEE Trans. Emerg. Topics Comput.*, vol. 2, no. 4, pp. 473–487, Dec. 2014.
- [30] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, "Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey," *Comput. Netw.*, vol. 67, pp. 104–122, Jul. 2014.
- [31] J. A. Khan, H. K. Qureshi, and A. Iqbal, "Energy management in wireless sensor networks: A survey," *Comput. Elect. Eng.*, vol. 41, pp. 159–176, Jan. 2015.
- [32] K. Lin, J. J. P. C. Rodrigues, H. Ge, N. Xiong, and X. Liang, "Energy efficiency QoS assurance routing in wireless multimedia sensor networks," *IEEE Syst. J.*, vol. 5, no. 4, pp. 495–505, Dec. 2011.
- [33] H. K. Deva Sarma, R. Mall, and A. Kar, "E2R2: Energy-efficient and reliable routing for mobile wireless sensor networks," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2015.2410592, to be published.
- [34] K. Illanko, M. Naeem, A. Anpalagan, and D. Androutsos, "Energyefficient frequency and power allocation for cognitive radios in television systems," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2015.2393834, to be published.
- [35] M. M. Hasan, F. Farahmand, J. P. Jue, and J. J. P. C. Rodrigues, "A study of energy-aware traffic grooming in optical networks: Static and dynamic cases," *IEEE Syst. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 161–173, Mar. 2013.
- [36] C. Yu, D. Yao, L. T. Yang, and H. Jin, "Energy conservation in progressive decentralized single-hop wireless sensor networks for pervasive computing environment," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2339311, to be published.
- [37] K. Heussen, S. Koch, A. Ulbig, and G. Andersson, "Unified system-level modeling of intermittent renewable energy sources and energy storage for power system operation," *IEEE Syst. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 140–151, Mar. 2012.
- [38] M. de Paula Marques, F. R. Durand, and T. Abrao, "WDM/OCDM energy-efficient networks based on heuristic ant colony optimization," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2345665, to be published.
- [39] G. Sun et al., "Power-efficient provisioning for online virtual network requests in cloud-based data centers," *IEEE Syst. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 427–441, Jun. 2015.
- [40] V. Pal, G. Singh, and R. P. Yadav, "Balanced cluster size solution to extend lifetime of wireless sensor networks," *IEEE Internet Things J.*, DOI: 10.1109/JIOT.2015.2408115, to be published.

- [41] Y. Liu, C. Xu, and S. Cheung, "Diagnosing energy efficiency and performance for mobile Internetware applications: Challenges and opportunities," *IEEE Softw.*, vol. 32, no. 1, pp. 67–75, Jan./Feb. 2015.
- [42] H. P. Gupta and S. V. Rao, "Demand-based coverage and connectivitypreserving routing in wireless sensor networks," *IEEE Syst. J.*, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2333656, to be published.
- [43] U. Kulau, F. Busching, and L. Wolf, "Undervolting in WSNs—Theory and practice," *IEEE Internet Things J.*, vol. 2, no. 3, pp. 190–198, 2015.
- [44] A. Silberschatz, P. B. Galvin, and G. Gagne, *Operating System Concepts*, 8th ed. New Delhi, India: Wiley, ch. 5, pp. 189–192.
- [45] Omron, Last accessed on Jul. 5, 2015. [Online]. Available: [http://www. omron-healthcare.com/eu/en/our-products/blood-pressure-monitoring](http://www.omron-healthcare.com/eu/en/our-products/blood-pressure-monitoring)
- [46] Polar, Last accessed on Jul. 3, 2015. [Online]. Available: http://www.polar.com/en/products/improve_fitness/running_multisport/RS300X
- [47] Amazon, Last accessed on Jul. 3, 2015. [Online]. Available: <http://www.amazon.com/Wrist-Color-Oximeter-Acc-SnugFit/dp/B00EGL9SC0>
- [48] Amazon Elastic MapReduce, Last accessed on Jul. 3, 2015. [Online]. Available: <http://aws.amazon.com/elasticmapreduce/>
- [49] X. Bao et al., "Helping mobile apps bootstrap with fewer users," in *Proc. UbiComp*, 2012, pp. 1–10.
- [50] Amazon, Last accessed on Jul. 5, 2015. [Online]. Available: <http://aws.amazon.com/ec2/instance-types/>

Smart Energy Management Using the Internet of Things

Masoud Kavsi*

Senior Expert, Deputy of Transport and Traffic, Shiraz Municipality
masoud@live.com

Abstract_ Smart energy management based on the Internet of Things (IoT) is a key approach to optimizing energy consumption, production and distribution in buildings, industries and smart networks. By connecting sensors, smart meters and equipment, this technology enables real-time monitoring, data analysis and automatic control, and helps to significantly reduce energy consumption and costs. However, the nature of the Internet of Things requires energy consumption in various sources; therefore, energy efficiency of IoT sources has been raised as one of the important research challenges.

In this paper, while examining the applications of smart energy management, an energy-efficient architecture for the Internet of Things is proposed, which consists of three layers: sensing and control, information processing and presentation. The design of this architecture allows the system to predict the sleep interval of sensors based on the remaining battery level, previous usage history, and the quality of information required for each specific application. The predicted value can be used to increase the utilization of cloud resources by reallocating resources during the sleep time of the corresponding sensor node. This mechanism leads to efficient energy use across all IoT resources and at the same time allows for consumption optimization in building energy management systems and smart grids.

Experimental results show that significant savings in sensor node energy consumption are achieved, cloud resource utilization is improved, and overall, the efficiency of IoT-based smart energy management systems is enhanced.

Keywords: Cloud Computing, Energy Efficiency, Internet of Things, Sensors