مدیریت انرژی به‌عنوان یک سرویس بر روی بستر محاسباتی مه

چکیده

با معرفی ریزشبکه، مدیریت انرژی برای کنترل تولید برق و مصرف در حوزه‌های مسکونی، صنعتی و تجاری، به عنوان مثال در ریزشبکه مسکونی و خانه‌ها ضروری است. مدیریت انرژی ممکن است برای رسیدن به انرژی خالص صفر برای حوزه‌های مسکونی به ما کمک کند. بهبود در فن‌آوری، هزینه و اندازه ویژگی موجب می‌شود دستگاه‌ها در همه جا به یکدیگر متصل شوند و تعامل برقرار کنند، که اینترنت اشیاء نامیده می‌شود. افزایش پیچیدگی و داده‌ها، با توجه به تعداد فزاینده‌ی دستگاه‌هایی مانند سنسورها و دیسک، نیاز به منابع محاسباتی قدرتمند دارند که ممکن است توسط محاسبات ابری ارائه شده باشد. با این حال، مقیاس‌پذیری به موضوعی بالقوه در محاسبات ابری تبدیل شده است. در این مقاله، محاسبات مه به‌عنوان یک پلت‌فرم جدید برای مدیریت انرژی معرفی شده است. مقیاس‌پذیری، سازگاری و ویژگی‌های نرم‌افزاری/سخت‌افزاری منبع باز در پلت‌فرم پیشنهادی موجب می‌شود تا کاربر مدیریت انرژی کنترل به عنوان را انجام دهد، درحالی‌که هزینه اجرا و زمان ارائه به بازار به حداقل رسیده است. برای نشان دادن مدیریت انرژی به‌عنوان یک سرویس بر روی پلت‌فرم محاسباتی مه در حوزه‌های مختلف، دو نمونه‌ی مدیریت انرژی خانه و مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه اجرا و آزمایش شده است.

کلمات کلیدی: محاسبات مه، ریز شبکه، مدیریت انرژی خانه، کنترل به‌عنوان یک سرویس، نرم‌افزار به‌عنوان یک سرویس، پلت‌فرم‌های شبکه، اینترنت اشیا

1. مقدمه و کارهای مرتبط

قدرت شبکه‌ها با معرفی پارادایم جدید ریزشبکه در حال گرفتن کارآمدتر و دقیق شدن است. ریزشبکه از ژنراتورهای توزیع‌شده، منابع انرژی و بارهایی تشکیل شده است که ممکن است به شبکه برق متصل و یا به طور خودکار عمل کنند [1] - [3]. از این رو، یک سیستم مدیریت انرژی برای کنترل تولید برق و مصرف ضروری است. ریزشبکه به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان، بهره‌وری و سودآوری برای نصب و راه اندازی در مناطق مسکونی و تجاری نشان داده شده است [2]. بااین حال، در این مقاله، به حوزه‌های مسکونی برای مدیریت انرژی طرف تقاضا تمرکز می‌کنیم.

در سال 2013، حدود 40.7 درصد از انرژی اولیه ایالات متحده مصرف ساختمان‌های تجاری و مسکونی و خانه‌های موجود در شبکه برق شده است [4]. کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها و خانه‌ها ممکن است به کاهش قابل توجهی منجر شود. به‌عنوان مثال، در ایالت کالیفرنیا آمریکا، کمیسیون انرژی کالیفرنیا (CEC)، برای رسیدن به انرژی خالص صفر (ZNE) ساختمان‌ها تا سال 2020 برنامه‌ریزی کرده است [5]. همچنین، وزارت انرژی ایالات متحده (DOE) به دنبال توسعه فن‌آوری و تکنیک‌هایی برای بهبود بهره‌وری خانه‌ها و ساختمان‌های جدید مسکونی و تجاری و در نتیجه کاهش مصرف انرژی ملی است [6]. از این رو، نیاز به ساختمان‌هایی با انرژی کارآمد با رشد سریعی مواجه است. علاوه بر این، پیشرفت در تکنولوژی، امکان یکپارچه‌سازی دستگاه‌های الکترونیکی با قدرت کم و کارایی بالا، ما را قادر به ساخت سیستم‌های پیشرفته خواهد ساخت. همچنین، کاهش در هزینه و اندازه دستگاه‌ها مانند: سنسورها، آداپتورهای شبکه، سوئیچ‌ها و غیره، فرصت ساخت سیستم‌های کم هزینه‌ی مدیریت انرژی را ارائه می‌کند [7] - [12]. به‌طور معمول، کاهش مصرف انرژی ممکن است بااستفاده‌ی دوره‌ای بازخورد هزینه‌ی انرژی و نظارت از راه دور دستگاه‌های هوشمند (پاسخ به تقاضا) انجام گیرد [13]، [14]. در این مقاله، تمرکز ما بر روی ساختمان‌های مسکونی خاص – خانه‌ها - برای مدیریت مصرف انرژی خود است.

به‌منظور پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت انرژی، پلت‌فرمی مورد نیاز است که تعامل و همکاری بین دستگاه‌ها و انعطاف‌پذیری را فراهم کند. در [15]، مدیریت انرژی خانه بر روی پلت‌فرم شبکه به‌منظور مرتفع کردن نیازمندی‌های

ذکر شده در کاهش هزینه‌ها پیاده‌سازی شده است، با این حال، حوزه عملیاتی سیستم، مقیاس‌پذیری، عدم تجانس، دستگاه‌های حساس به تاخیر و هزینه کنترل به‌درستی در نظر گرفته نشده است.

یکی از ویژگی‌های مهم در نظر گرفته شده احتمال نفوذ به بازار مصرف و قیمت پلت‌فرم برای یک مصرف کننده عادی است. عمده الزامات مورد نیاز برای معماری که قیمت را تحت تاثیر قرار می‌دهد عبارتند از: 1) قابلیت همکاری؛ 2) مقیاس‌پذیری؛ 3) سهولت استقرار؛ 4) معماری باز؛ 5) قابلیت پلاگین n- بازی ؛ و 6) نظارت محلی و از راه دور [16]، [17]. علاوه بر این، دستیابی به این شرایط در یک بسته باید مقرون به صرفه باشد. از آنجا که مصرف‌کنندگان در ساختمان مسکونی بودجه و فضای محدود در اختیار دارند به‌صورت مطالعه موردی در نظر گرفته شده‌اند

A. مطالعه موردی انگیزشی

مدیریت انرژی خانه (HEM) به‌عنوان مثالی برای سیستم مدیریت انرژی باید سیاست‌ها و قوانین ذکر شده را مرتفع سازد. در حالی که سخت افزارهای مختلف، نرم‌افزار، معماری ارتباطات توسط مصرف برق، عملکرد و غیره ارائه و مقایسه شده است [14]، [18] -[22]، هزینه اجرای پلت‌فرم مانند: محاسبه دستگاه‌ها، نرم‌افزار پشته، دستگاه‌های ارتباطی و غیره هنوز هم به اندازه کافی بالا هستند و مانع روند استقرار آن برای کاربران مسکونی معمولی می‌شود. علاوه‌براین، سخت‌افزار و معماری نرم‌افزار ممکن است قادر به رسیدگی به رشد تعداد سنسورها و محرک‌ها در کنار عدم تجانس آنها نباشد. Control4 ، Honeywell و شرکت‌های مختلف دیگر [23] -[26] در حال ارائه سیستم عامل HEM به مشتریان خود هستند که خانه‌های موجود را به خانه‌های هوشمند تبدیل می‌کند. این محصولات ویژگی‌های مختلفی از قبیل: کنترل درجه حرارت، استفاده بهینه از روشنایی، و مدیریت دستگاه‌های هوشمند را پیاده‌سازی می‌کنند. تمام این ویژگی‌ها توسط یک دستگاه واحد ارائه شده است. از این رو، مقیاس‌پذیری، سازگاری و هزینه آن ممکن است به یک مسئله برای مشتریان تبدیل شود. به‌عنوان مثال، محصولات در مورد تعداد دستگاه‌های متصل به آنها برای مدیریت سخت‌گیر هستند. همچنین، مقیاس‌گذاری محصولات برای خانه‌های بزرگتر، ممکن است به طور قابل توجهی گران

باشد. علاوه‌براین، کاربران نباید گزینه‌ی سفارشی کردن خدمات برای اجبار به خرید آنها را در دستور کار خود قرار دهند.

B. چالش‌های تحقیقاتی و نمای کلی مفهوم

به‌طورخلاصه، مشکل اعمال پلت‌فرم مدیریت انرژی به عمده چالش‌های زیر است:

1) عملکرد، قابلیت همکاری و تعامل میان دستگاه‌های ناهمگن در پلت‌فرم مدیریت انرژی.

2) قابلیت سفارشی کردن خدمات، سازگاری و مقیاس‌پذیری پلت‌فرم مدیریت انرژی برای انواع مختلف ساختمان‌ها، خانه‌ها و برنامه‌های کاربردی.

3) هزینه اجرای پلت‌فرم مدیریت انرژی، پشته سخت‌افزار و نرم‌افزار.

C. کار پیشنهادی ما

برای پرداختن به چالش فوق، یک پلت‌فرم برای سیستم مدیریت انرژی ارائه شده است که:

1) مقیاس‌پذیری، سازگاری و اتصال بین دستگاه‌های هوشمند برروی پلت‌فرم محاسباتی مه (بخش دوم را مشاهده کنید) که متشکل از:

2) دستگاه‌های کم توان و کم هزینه برای محاسبات، ذخیره‌سازی و ارتباطات.

3) معماری نرم‌افزار منبع باز و زیرساخت‌های سخت‌افزاری (معماری باز) ساخته شده بر روی پلت‌فرم محاسباتی مه ما را قادر به مقیاس‌پذیری پلت‌فرم می‌کند (مقیاس‌پذیری).

4) نرم‌افزار مدیریت انرژی و یا کنترل به‌عنوان یک سرویس بااستفاده از دستگاه مشخصات برای خدمات وب پیاده‌سازی شده است [17] (DPWS)، 19]]، [27] که با هدف کشف و ارائه ویژگی‌های پلاگین n- بازی استفاده می‌شود. این معماری سرویس‌گرا ارتباطات و ناهمگنی سخت‌افزار را خلاصه‌سازی می‌کند.

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، محاسبات مه، اتصال و قابلیت همکاری را در دستگاه‌های هوشمند به ارمغان می‌آورد. انتقال داده‌ها با ابر و نیاز به قدرت محاسباتی ابر در این پلت‌فرم حذف شده است. مدیریت انرژی برروی این پلت‌فرم به عنوان یک سرویس و دو نمونه برای نشان دادن ویژگی‌های آن پیاده‌سازی شده است.

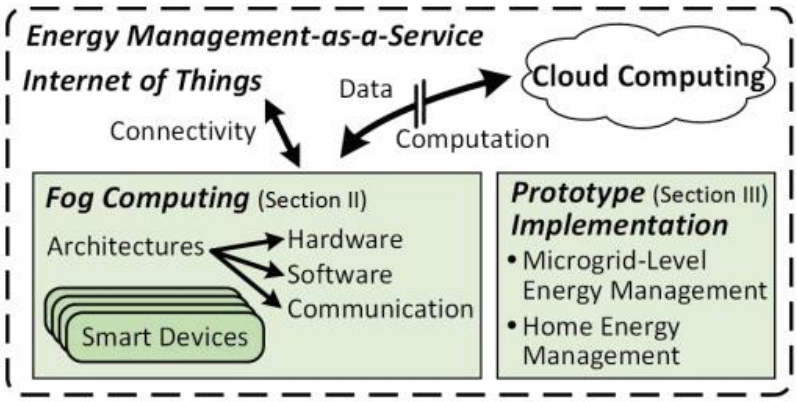

Fig. 1. Our Energy Management-as-a-Service Over Fog Computing Platform. The Dashed and Highlighted Parts are Our Novel Contributions.

2. پلت‌فرم محاسباتی مه

بسترهای نرم‌افزاری برای یک سیستم مدیریت انرژی باید ویژگی‌هایی داشته باشد و پاسخگوی نیازهای ذکر شده در بخش 1 به‌منظور مقرون به صرفه بودن برای مشتریان عادی باشد. اینترنت اشیاء به یک پارادایم جدید برای اتصال دستگاه‌های هوشمند و قابلیت تنظیم در یک پلت‌فرم پویا و جهانی شبکه تبدیل شده است. که بر فاصله بین دنیای فیزیکی و حضور آن در سیستم‌های اطلاعات غلبه می‌کند [28] - [33].

از این رو، اینترنت اشیا به‌عنوان یک پلت‌فرم ممکن برای فن‌آوری‌های مدرن دیده می‌شود، به‌عنوان مثال، سیستم مدیریت انرژی، خانه‌های هوشمند، و شبکه‌های هوشمند. دامنه عملکرد این پلت‌فرم مقیاس‌پذیر و وابسته به برنامه کاربردی است، به‌عنوان مثال، نظارت HEM و کنترل دستگاه‌های داخل یک خانه [28].

علاوه بر این، اینترنت اشیا ممکن است شامل میلیاردها دستگاه باشد که می‌توانند حس، ارتباط، محاسبه و بکار انداخته شوند. با اینکه، تعداد دستگاه‌ها به شدت وابسته به دامنه عملیات اینترنت اشیا است، به‌عنوان مثال خانه و یا ریزشبکه، در طول سال‌ها حتی در درون یک خانه به شدت در حال رشد بوده است. این عملیات موجب تغییر کنترل از روش

سنتی و دستی به سمت کنترل یکپارچه شده است. همچنین، این مقدار زیاد از داده‌های تولید شده توسط اینترنت اشیا احتمالا به‌عنوان بخشی از روش مدیریت، پردازش و تجزیه و تحلیل خواهد شد [34]. ازاین رو، محاسبات ابری به‌عنوان یک راه جدید برای محاسبات متمرکز و ادغام با اینترنت اشیا به‌منظور ارائه قدرت محاسباتی خواهد شد [23]. علاوه‌براین، محاسبات ابری برای مشتریان، زیرساخت، پلت‌فرم، نرم افزار و شبکه حسگر را به‌عنوان خدمات فراهم می‌کند [12]، [35] - [43]. این خدمات به‌منظور داشتن قابلیت اطمینان و عملکرد مندرج در توافق نامه، که برای پلت‌فرم مدیریت انرژی ضروری است، تضمین شده هستند.

بااین حال، افزایش تعداد دستگاه‌ها در اینترنت اشیا، به عنوان مثال سیستم مدیریت انرژی، با استفاده از محاسبات ابری، ممکن است موجب افزایش زمان پاسخ‌دهی و زمان تاخیر برای برخی از دستگاه‌های حساس به تاخیر شود [44] - [46]. از این رو، محاسبات مه برای کاهش برخی از مشکلات ذکر شده در بالا معرفی شده است [47].

محاسبات مه پارادایم محاسبات ابریرا به لبه شبکه هدایت می‌کند. این یک پلت‌فرم است که ممکن است اینترنت اشیا با قابلیت پیش پردازش داده‌ها را در حالی که با نیازهای زمان تاخیر کم مواجهه می‌شوند ارائه کند [29].

همانند سیستم مدیریت انرژی، پلت‌فرم باید صرف‌نظر از اندازه سیستم تطبیقی و مقیاس‌پذیر باشد. همچنین باید دستگاه‌هایی با عملکرد، قابلیت همکاری و ویژگی‌های تعامل به‌منظور کمک به انتقال و پردازش داده‌های تولید شده در زمان پاسخ کافی ارائه کند. مدیریت انرژی – مانند یک برنامه کنترل- در پلت‌فرم محاسبات مه پیاده‌سازی شده است. پلت‌فرم مدیریت انرژی را می‌توان برای هر نوع ساختمان و حوزه‌های عملکردی مختلفی استفاده کرد، به‌عنوان مثال، خانه و یا ریزشبکه. مدیریت انرژی ممکن است مقاصد مختلفی داشته باشد مانند: 1) نظارت و اندازه‌گیری مصرف برق هر دستگاه، به‌عنوان مثال مصرف انرژی خانه ؛ 2) مدیریت مصرف انرژی با کنترل دستگاه‌های کارآمد، به‌عنوان مثال، روشنایی هوشمند، شارژر برق خودرو (EV) [48]، گرمایش، مدیریت تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) و غیره. پلت‌فرم مدیریت انرژی یک سیستم از سیستم‌ها است. به‌منظور طراحی پلت‌فرم، سخت‌افزار (بخش دوم-الف را مشاهده کنید)، نرم‌افزار (بخش دوم-ب رامشاهده کنید) و معماری ارتباطات (بخش دوم-ج را مشاهده کنید) باید به‌درستی برای این سیستم‌ها تعریف و یکپارچه گردد (به بخش دوم-د نگاه کنید).

A. معماری سخت‌افزار

سخت‌افزار پلت‌فرم مدیریت انرژی شامل دستگاه‌های متعددی است، بسته به دامنه عملیاتی آن، به‌عنوان مثال، خانه و یا ریزشبکه. این دستگاه‌ها ممکن است براساس ویژگی‌های خود به‌صورت زیر طبقه‌بندی شوند:

1) **اتصال**: این دستگاه‌ها اتصال میان دستگاه‌های موجود و سازگار را ارائه می‌کنند. سیم‌ها، سوکت‌ها و آنتن‌ها در این دسته جای می‌گیرند.

2) **دروازه:** دستگاه‌های مختلف ممکن است استانداردها و پروتکل‌های اتصال مختلف داشته باشند، به‌عنوان مثال ZigBee، بلوتوث و اترنت [49]. دستگاه‌های دروازه در صورت لزوم یک اتصال سازگار بین دستگاه‌های متعدد ایجاد می‌کنند.

3) **سنسور:** سیستم مدیریت انرژی نیاز به نظارت محیط زیست برای تغییرات به موقع دارد، به‌عنوان مثال، آب‌وهوا، نور، انرژی قیمت و غیره. این حسگرها ممکن است سیگنال آنالوگ تولید شده توسط محیط زیست را نشان دهند.

4) **محرک:** سیستم مدیریت انرژی ممکن است برای پیکربندی دستگاه‌های متعدد با توجه به تغییرات محیط زیست، به‌منظور بهینه‌سازی یک متغیر، به‌عنوان مثال مصرف انرژی تصمیم بگیرد. این دستگاه با قابلیت تنظیم در نظر گرفته می‌شوند که ممکن است به صورت محلی و یا از راه دور کنترل شود.

5) **پردازش:** دستگاه‌هایی که داده‌ها را در سیستم ذخیره، پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کنند. همچنین ممکن است پیاده‌سازی کنترل برای پیکربندی دستگاه‌های محرک پیچیده باشد.

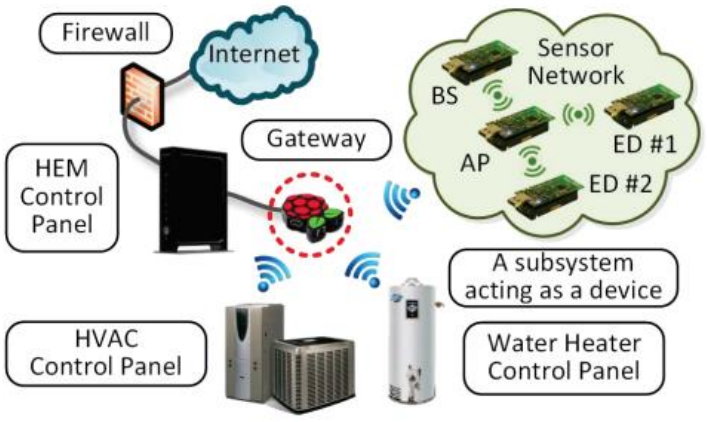

Fig. 2. The Hardware Architecture of the Fog Computing Platform for HEM.

تمام دستگاه‌های موجود در یک پلت‌فرم مدیریت انرژی به‌عنوان گره‌های متصل در شبکه‌ی اینترنت اشیا در نظر گرفته می‌شوند. علاوه‌براین، دستگاه‌های متعدد و یا گره‌ها ممکن است به‌عنوان زیرسیستم به‌منظور انجام یک تابع تنها گروه‌بندی شوند. در یک پلت‌فرم HEM، دستگاه‌های هوشمند متعددی، به‌عنوان مثال، تهویه مطبوع، برای بررسی و کنترل به‌منظور کاهش کل مصرف انرژی دردسترس هستند. دستگاه محاسبات ضروری که تمام وظایف نظارت و کنترل را به دست گرفته است کنترل پانلHEM نام دارد. کار اصلی آن کشف و نظارت بر دستگاه‌های مختلف در پلت‌فرم به‌صورت پویا، مسئولیت رسیدگی به درخواست‌های زمانی انعطاف‌پذیر بر اساس الگوریتم پیاده‌سازی شده، به‌منظور بهینه‌سازی یک متغیر است. برای مدیریت مصرف انرژی یک خانه، پلت‌فرم HEM ممکن است نیاز به بازیابی اطلاعات در محیط زیست خانه داشته باشد. شرایط فیزیکی جهان ممکن است توسط چندین سنسور (به‌عنوان مثال دما، رطوبت، نور و غیره) در مکان‌های مختلف از خانه نظارت شود. علاوه بر این، انواع مختلف سنسورها ممکن است در یک دستگاه واحد اجرا شود (به‌عنوان مثال ماژولTelosB). همچنین، یک دستگاه هوشمند ممکن است گره محاسباتی داشته باشد، که در داخل آن پیاده‌سازی شده است. این دستگاه محاسباتی، **دستگاه کنترل پنل**، کابران یا کنترل پنلHEM را قادر به پیکربندی دستگاه و یا زیرسیستم در پایین‌تر سطح و با جزئیات بسیار بیشتر از کنترل پنل HEM می‌کند (به شکل 2 نگاه کنید). شکل 2 معماری سخت‌افزار مورد استفاده برای ارتباطات و محاسبات در پلت‌فرم محاسبات مه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید، در صورتی که دستگاه و یا زیرسیستم قادر به برقراری ارتباط مستقیم با پلت‌فرم باشد دروازه ممکن است حذف شود.

B. معماری نرم‌افزار

گره‌های محاسباتی، کنترلرها را برای جمع‌آوری، ذخیره، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدیریت دستگاه‌ها اجرا می‌کنند. روترهای منبع باز با قابلیت تنظیم توسط کاربر، یک توزیع لینوکس موجود در [50] در یک پردازنده MIPS را اجرا می‌کنند. با استفاده از این روترها به‌عنوان گره‌های محاسباتی ممکن است به توسعه‌دهندگان در کنترل راحت برنامه، تدوین و اجرای آنها بر روی روتر کمک کند.

دستگاه‌های سنسور، به‌عنوان مثال ماژول TelosB با TinyOS سازگار هستند [51] که یک سیستم عامل منبع باز (موجود در [52]) طراحی شده برای سنسورهای بی‌سیم کم قدرت هستند. بنابراین، الگوریتم اجرا شده برای نظارت، فرمان دادن به سنسورها و دریافت داده‌ها از آنها ممکن است به راحتی و به صورت پویا در سنسورها برنامه‌ریزی شود. این انعطاف‌پذیری ممکن است در برنامه‌ریزی سنسور براساس نیازهای خود به توسعه‌دهندگان کمک کند. به‌عبارت دیگر، الگوریتم‌های مسیریابی مختلف و کشف برای انواع مختلف سنسورها (به‌عنوان مثال دما، رطوبت، و نور) ممکن است در حالات مختلف اجرا شود.

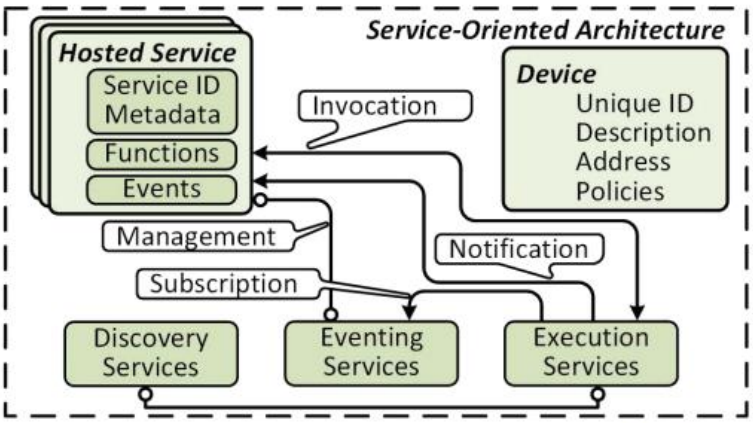

Fig. 3. Demonstration of the Software Architecture Implemented by SOA.

کنترل پانل‌ها برای هر زیرسیستم، دستگاه‌های آنها را در شبکه آنها و از طریق یک پروتکل از پیش تعریف شده مدیریت می‌کند. بااین حال، همه زیرسیستم‌ها و دستگاه‌های متصل به شبکه اصلی باید به دنبال یک پروتکل تعریف شده منحصربه فرد توسط کنترل پنلHEM (به‌عنوان مثال ZigBee) باشند. بنابراین، ارتباطات بین دستگاه‌ها، اطراف مشخصات دستگاه برای سرویس‌های وب (DPWS) از سرویس‌های وب برای دستگاه‌ها (WS4D) ساخته شده است. همچنین، متکی بر SOAP برروی UDP، SOAP، WSDL و XML Schema است. این پشته پروتکل می‌تواند برای ارسال پیام‌های امن از یک دستگاه به دستگاه دیگر در پلت‌فرم ناهمگون استفاده شود. توسعه‌دهندگان ممکن است از ابزار دردسترس WS4D-gSOAP [53] برای اجرای سرویس مورد نیاز برای هر دستگاه استفاده کنند. دستگاه‌ها ممکن است میزبان خدمات مختلف DPWS سازگار با استفاده از موارد زیر باشند:

1) آردس‌دهی WS: یک مکانیزم آدرس‌دهی برای خدمات وب همانند پیام‌های منتقل شده فراهم می‌دهد.

2) کشفWS : روشی برای کشف خدمات با اعمال نفوذ در پروتکل مبتنی برIP چندپخشی فراهم می‌کند.

3) WS-MetadataExchange: انواع داده‌های مختلف و عملیات برای دریافت ابرداده را تعریف می‌کند.

4) انتقالWS : برای انتقال ابرداده استفاده می‌شود و بسیار شبیه به HTTP است.

5) WS-Eventing: یک پروتکل تعریف می‌کند که اجازه عضویت خدمات وب یا قبول اشتراک برای پیام‌های اطلاع‌رسانی را فراهم می‌کند.

از آنجا که خدمات وب، پلت‌فرم اگنوستیک می‌باشند، با استفاده از معماری سرویس‌گرا (SOA)، پلت‌فرم انعطاف‌پذیری خود را با اضافه کردن دستگاه‌های جدید، کشف دستگاه‌ها و هماهنگی بین دستگاه‌ها و انتقال داده‌های ساخت یافته بین آنها حفظ می‌کند. همچنین، در پلت‌فرم HEM، دستگاه‌ها و یا کنترلرهای مورد نیاز یک کاربر ممکن است به‌عنوان یک سرویس اضافه و اداره شوند (کنترل به‌عنوان سرویس). علاوه براین، برای ایجاد قابلیت هماهنگ‌سازی و ایجاد قابلیت همکاری بین دستگاه‌ها در شبکه، به‌عنوان مثال، کنترل پنل HEM، دستگاه ممکن است، میزبان خدمات وب eventing باشد. بنابراین، دستگاه‌ها از هر گونه تغییر و حوادثی مربوط به دستگاه‌های دیگر مطلع خواهند شد اگر وقایع به اشتراک گذارده شوند. شکل 3 نشان می‌دهد که چگونه این خدمات در پلت‌فرم به‌منظور ارائه ارتباطات و ویژگی‌های خاص مورد نیاز برای دستگاه اجرا و پیکربندی می‌شود.

C. معماری ارتباطات

دستگاه‌های موجود در پلت‌فرم با استفاده از آداپتورهای موجود شبکه و رابط‌ها ارتباط برقرار می‌کنند. به‌عنوان مثال، روترها در پلت‌فرم HEM ممکن است بی‌سیم، اترنت، بلوتوث، (USB) و غیره، با توجه به مشخصات خود داشته باشند. از آنجا که یک پروتکل منحصربه‌فرد (به‌عنوان مثال ZigBee) باید برای شبکه اصلی استفاده شود، در صورت لزوم این رابط نیاز به تبدیل با استفاده از دستگاه‌های دروازه برای پروتکل مورد نظر دارد.

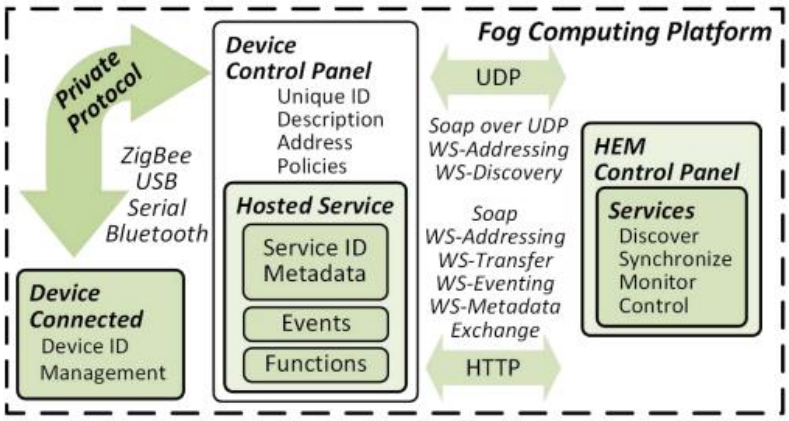

Fig. 4. Communication Architecture used in the Fog Computing Platform.

دستگاه‌های سنسور، به‌عنوان مثال ماژول‌های TelosB، ممکن است از فن‌آوری‌های بی‌سیم کم قدرت مبتنی بر استانداردها، ZigBee برای برقراری ارتباط با یکدیگر استفاده کنند. علاوه بر این، استاندارد استفاده شده برای برقراری ارتباط بین گره‌های مختلف ممکن است مشخصات انرژی هوشمند (2.0 SEP) را داشته باشد، که یک استاندارد برای IP مبتنی بر کنترل برای مدیریت انرژی خانه است و توسط این دستگاه‌ها پشتیبانی می‌شود، اما این مشخصات هنوز آماده نیست (استاندارد، پشته پروتکل و سخت‌افزار). علاوه بر این، انعطاف‌پذیری شبکه‌های ZigBee می‌تواند حدود 65535 دستگاه را در یک دسته شبکه کنترل کند. همه این دستگاه‌ها با استفاده از یک برچسب شناسایی منحصربه فرد (شماره شناسایی) شناخته می‌شوند. این شناسه‌ها به سختی در دستگاه سنسور کدگذاری می‌شوند درحالی که برنامه نویسی و شاید مسیریابی و انتقال داده‌ها در همان شبکه استفاده می‌شود. همچنین، خدمات به کنترل پنل HEM برای کشف دستگاه جدید اضافه شده از طریق پلاگین n- بازی کمک می‌کنند. کنترل پنل HEM دستگاه‌های جدید متصل به پلت‌فرم HEM را بررسی و هویت سنجی می‌کند.

برای گسترش بیشتر محدوده‌ای که شبکه‌های حسگر پشتیبانی می‌کنند، ممکن است یک شبکه سلسله مراتبی دو سطحی استفاده کنیم. به‌عبارت دیگر، برخی از دستگاه‌های حسگر که تنها برای حسگری برنامه‌ریزی شده‌اند، دستگاه‌های پایانی نامیده می‌شوند (ED) و ممکن است در گوشه‌های مختلف یک اتاق قرار داده شده باشند. سپس، یک گره حسگر ممکن است به‌عنوان یک نقطه دسترسی (AP) برنامه‌ریزی شده باشد و به تمام دستگاه‌های پایانی در آن اتاق متصل باشد. همچنین، در یک سطح بالاتر، دستگاه سنسور دیگری ممکن است به‌عنوان یک ایستگاه پایه (BS)

عمل کند که متصل به نقاط دسترسی متعددی در تمام اتاق است. دستگاه‌های پایانی داده‌ها را از طریق نقاط دسترسی خود و سپس به ایستگاه پایه انتقال می‌دهند. تعداد نقاط دسترسی متصل به هر ایستگاه پایه و یا تعداد دستگاه‌های پایانی متصل به نقاط دسترسی، متغیر هستند که بر اساس ساختار ساختمان و نیازمندی‌ها تنظیم می‌شوند. ایستگاه پایه تمام داده‌های جمع‌آوری شده از دستگاه‌های پایانی را به کنترل پنل مستقیم یا غیر مستقیم HEM (با استفاده از دروازه)و در مرحله آخر می‌فرستد. دروازه مورد استفاده در اینجا یک Raspberry Pi است. گره‌های سنسور ممکن است با Raspberry Pi با استفاده از اتصال برروی ZigBee ارتباط برقرار کنند و سپس Raspberry Pi از طریق اترنت به کنترل پنل HEM متصل شود. بااین حال، اگر روتر دارای قابلیت برقراری ارتباط از طریق ZigBee و به طور مستقیم را داشته باشد یا روتر برای کنترل ماژول سنسور از طریق USB آمادگی داشته باشد، Raspberry Pi حذف خواهد شد. شکل 4 پروتکل‌ها و خدمات وب مورد استفاده برای ارتباطات بین دستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، کاربر ممکن است با پلت‌فرم بااستفاده از صفحات وب طراحی شده برای کنترل پنل هر دستگاه ارتباط برقرار کند. رابط کنترل پانل HEM بر روی روتر اصلی راه‌اندازی شده است. بااین‌حال، رابط برای دستگاه‌های دیگر ممکن است توسط فروشندگان دستگاه ارائه شود. علاوه براین، روش جاوا اسکریپت آسنکرون و XML (AJAX) ممکن است برای بازیابی اطلاعات از دستگاه‌ها و مشاهده آن بر روی صفحه وب و خدمات مختلف به‌منظور پردازش داده در کنترل پنل استفاده شود. علاوه براین، اتصال کنترل پنل HEM به اینترنت کاربر را قادر به نظارت و کنترل ازراه دور خانه می‌کند.

D. ادغام معماری‌ها

همانطور که در سه قسمت گذشته توضیح داده شد، انعطاف‌پذیری و زیرساخت‌های کم هزینه به اضافه کردن هر دستگاه، سنسور، عملگ و خدماتی به ما کمک می‌کند. توابع و کنترلرها به‌عنوان خدمات اجرا شده‌اند. خدمات دستگاه‌ها با استفاده از WS4D که قادر به برقرای ارتباط با روتر است تعریف می‌شود. از سوی دیگر، اگر یک زیر سیستم طراحی شده برای یک برنامه خاص، نیاز به اضافه شدن به پلت‌فرم را داشته باشد، بدون در نظر گرفتن پروتکل و معماری آن،

نیاز دارد به سازگاری با پشته پروتکل مورد استفاده در پلت‌فرم HEM دارد یا می‌توانیم آن را با استفاده از دستگاه‌های دروازه سازگار کنیم.

3. پیاده‌سازی PROTOTYPE

برای تست پلت‌فرم مدیریت انرژی، HEM و یک نمونه اولیه در سطح ریزشبکه برای نشان دادن حوزه‌های مختلف عمل برای مدیریت انرژی اجرا شده است.

نمونه اولیهHEM : پلت‌فرم HEM اجرا شده برای یک خانه در شکل 5 نشان داده شده است. مشخصات دقیق سخت‌افزار مورد استفاده در جدول 1 ذکر شده است. در خانه، چندین دستگاه هوشمند مانند: تهویه مطبوع، آب‌گرم‌کن و شارژر EV اجرا شده‌اند. هر دستگاه توسط کنترل پنل HE کنترل و نظارت می‌شود. همچنین، دستگاه‌ها کنترل پانل خود را برای نظارت بر وضعیت خود و تنظیم تنظیمات خود دارند. که در این نمونه، تمام دستگاه‌ها به‌صورت نرم‌افزاری مدل‌سازی شده‌اند، بااین حال، با اجرا در دنیای واقعی، کنترل پانل‌های دستگاه توسط خود فروشندگان ارائه خواهند شد.

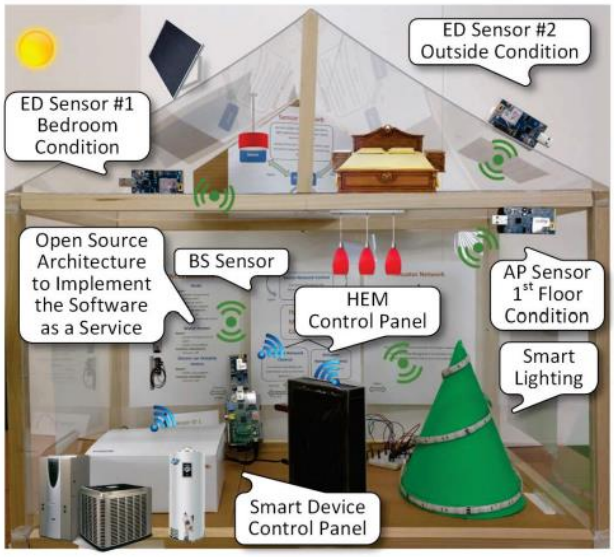

Fig. 5. HEM Prototype Demonstrating the Fog Computing Platform.

خانه توسط یک شبکه از چهار سنسور نظارت می‌شود (ماژول TelosB). شبکه‌های حسگر به‌عنوان یک زیرسیستم در داخل پلت‌فرم (سیستمی از سیستم‌ها) تعریف شده است. که نمونه‌ای از دما، رطوبت و نور در داخل و در خارج از خانه

است. همچنین، انواع مختلفی از دستورات برای فعال/غیرفعال کردن سنسور یا مجموعه‌ای از تنظیمات، به‌عنوان مثال نمونه‌برداری نرخ برای حسگرها، ممکن است توسط کنترل پانل سنسور به هر دستگاه و با مشخص کردن شماره ID آن دستگاه ارسال شود.

در پلت‌فرم HEM، یک کنترلر HVAC به‌عنوان یک سرویس اجرا شده است. الگوریتم 1 شبه کد مدیریت تهویه مطبوع در جهت کاهش مصرف برق را نشان می‌دهد. کنترلر مجموعه نقاط دما توسط کاربر را (T_C، T_h)، سیگنال پاسخ تقاضا (DR) ارسال شده توسط ترانسفورماتور، دمای اتاق فعلی (T_R) و حالت عملیات HVAC (حالت) که بین cooler و heater، به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند. خروجی این کنترلر تنظیم مجموعه نقاط دما و وضعیت HVAC (وضعیت) است که بین روشن و خاموش تغییر می‌یابد. در ابتدا، آستانه برای روشن / خاموش کردن HVAC تعریف شده است. کنترلر سیستم HVAC را براساس حالت عملیات و اختلاف درجه حرارت بین اتاق و ترجیح کاربران خاموش/ روشن می‌کند. وضعیت HVAC داخلی تعدیل شده و مجموعه نقاط دما به HVAC ارسال می‌شود.

جدول 1: مشخصات سختافزاری نمونه اولیه HEM

Router	Product Name	*NETGEAR*
	Product Number	*WNR3500L*
	WiFi Performance	*300 Mbps*
	WiFi Band	*2.4 GHz*
	Security	*WPA/WPA2-PSK*
		SPI NAT Firewall
		DoS Attack Prevention
	Processor	*480 MHz MIPS 74K*
	Memory	*128 MB NAND Flash*
	Ports	*4x Ethernet*
		1x USB 2.0
Sensor	Product Name	*TelosB Mote*
	Product Number	*TPR2420CA*
	Processor	*16-bit*
	Program Memory	*Flash 48 KB*
	RAM	*10 KB*
	Communication	*Serial UART*
		RF 2.4 to 2.4835 GHz
		USB
	Sensors	*Light 320 to 730 nm*
		IR 320 to 1100 nm
		Humidity 0 to 100% RH
		Temperature -40 to 123.8˚C
Gateway	Product Name	*Raspberry Pie*
	Model	*B*
	Processor	*700 MHz*
	RAM	*512 MB*
	Communication	*1x Ethernet*
		2x USB 2.0
		HDMI

Algorithm 1: Smart HVAC Control-as-a-Service

Input: Set Points T_c, T_h
Input: DR Signal DR
Input: Room Temperature T_r
Input: HVAC Mode $mode$
Output: Set Points T_c, T_h
Output: HVAC Status $status$

```
// define threshold for turning on/off the HVAC
Threshold = 1
// limit set points when DR signal is triggered
if DR == true then
    T_c = 79
    T_h = 65
/* turn on/off the HVAC based on temperature, set
   points, and operation mode                    */
if mode == heater then
    if T_h − T_r > Threshold then
        status = on
    else
        if T_r > T_h + Threshold then
            status = off
if mode == cooler then
    if T_r − T_c > Threshold then
        status = on
    else
        if T_r < T_c − Threshold then
            status = off
return status, T_c, T_h
```

شارژر کنترلر EV به‌عنوان یک سرویس در پلت‌فرم HEM پیاده‌سازی شده است. الگوریتم 2 یک کنترلر برای زمان شارژ باتری به‌منظور کاهش هزینه‌های برق نشان می‌دهد. کنترلر زمان خروج مشخص شده توسط کاربر ($0 \leq t_d \leq 23$، زمان فعلی روز $0 \leq t_c \leq 23$) و وضعیت فعلی باتری($0 \leq SoC \leq 100$) را دریافت می‌کند. خروجی کنترلر تنظیم جریان برای شارژ باتری EV است. در ابتدا، ظرفیت کل باتری (ظرفیت)، زمان شروع (T_{os}) و زمان پایان (T_{oe}) برای ساعات غیراوج و حداکثر نرخ شارژ که شارژر قادر به ارائه آن است (MAXI)، تعریف شده‌اند. کنترلر فرآیند شارژ در ساعت غیر اوج را برنامه‌ریزی می‌کند. سپس، اگر انرژی بیشتری مورد نیاز باشد، شارژ بیشتر در طول ساعت‌های اوج اختصاص داده خواهد شد. نرخ شارژ براساس زمان جاری اختصاص داده شده است.

Algorithm 2: Smart EV Charger Control-as-a-Service

Input: Departure Time t_d
Input: Current Time t_c
Input: Battery Status SoC
Output: Charge Rate I

// define the battery total capacity
$Capacity = 60KWh$
// define start and end time for off-peak hours
$t_{os} = 22$
$t_{oe} = 11$
// define the maximum charge rate possible
$max_I = 4KW$

// evaluate capacity remaining to charge
$Capacity_{rem} = (100 - SoC)/100 * Capacity$
// the time interval when there is off-peak hours
$Time_{off} = (min(t_{oe}, t_d) - max(t_{os}, t_c))\%24$
// the charge rate during off-peak hours
$I_{off} = min(max_I, Capacity_{rem}/Time_{off})$
// the charged capacity during off-peak hours
$Charged_{off} = I_{off} * Duration_{off}$
/* evaluate capacity remaining after charging during off-peak hours */
$Capacity_{rem} = Capacity_{rem} - Charged_{off}$
/* the time interval remaining to charge subtracting the off-peak hours */
$Time_{rem} = (t_d - t_c - Time_{off})\%24$
// the charge rate during on-peak hours
$I_{on} = min(max_I, Capacity_{Remaining}/Time_{Remaining})$

// deciding the current charge rate based on time
if $t_c \in Duration_{off-peak}$ **then**
    $I = I_{off}$
else
    $I = I_{on}$
return I

نمونه اولیه سطح ریزشبکه: پلت‌فرم مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه شامل سه خانه متصل به یک ترانسفورماتور است. کنترل پنل در سطح ترانسفورماتور برای نظارت و مدیریت مصرف برق هر خانه پیاده‌سازی شده است. کنترل پانل سطح ترانسفورماتور بار هر خانه و وضعیت فعلی ترانسفورماتور را نظارت می‌کند. براساس این اطلاعات و کنترلر، کنترل پنل ممکن است تصمیم به ارسال دستورات به HEM برای هر خانه، به‌منظور کاهش مصرف برق خود به یک مقدار خاص به نام DR داشته باشد. کاهش در مصرف برق ممکن است موجب پیشگیری در بارگذاری بیش از حد ترانسفورماتور باشد که ممکن است بهره‌وری و طول عمر را بهبود بخشد. کنترل پنل ترانسفورماتور در یک روتر و سه خانه دیگر با دستگاه‌های هوشمند شبیه‌سازی شده در شش روتر دیگر (شکل 6) اجرا شده است.

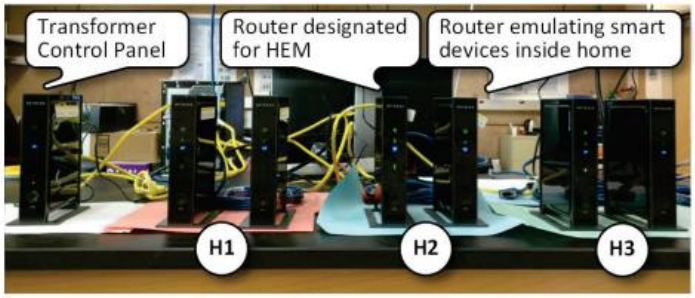

Fig. 6. Microgrid-Level Energy Management Prototype.

در پلت‌فرم مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه، مدیریت ترانسفورماتور به‌عنوان یک سرویس اجرا شده است. الگوریتم 3 شبه کد برای نظارت بر خانه‌های متصل به ترانسفورماتور را به‌منظور جلوگیری از اضافه بار ترانسفورماتور نشان می‌دهد. کنترلر مجموعه‌ای از خانه‌های متصل (H) و جریان بار در ترانسفورماتور (loadc) را، به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند. خروجی کنترلر اضافه بار وضعیت ترانسفورماتور (status) است. در ابتدا، حداکثر بار که در آن ترانسفورماتور می‌تواند به‌طورموثر عمل کند (loadmax) و حداکثر بار یک خانه (homemax) تعریف شده‌اند. کنترلر بررسی می‌کند که آیا بار ترانسفورماتور غیرمنتظره و اضافی است. در صورت اضافه بار، یک سیگنال DR به هر خانه که مصرف بیش از آستانه داشته است ارسال می‌کند.

Algorithm 3: Smart Transformer Control-as-a-Service

Input: Homes Connected to the Transformer H
Input: Current Transformer Load $load_c$
Output: Overload Status $status$

```
// define transformer rating load
load_max = 20KW
// define threshold for each home
home_max = 4KW
// assume no overloading in transformer
status = false

// check whether the transformer is overloading
if load_c > load_max then
    for h ∈ H do
        if h_load > home_max then
            /* trigger DR signal for the home with
               higher consumption than threshold */
            Trigger_DR(h)
    status = true
return status
```

4. نتایج تجربی در مطالعات موردی

برای نشان دادن و آزمایش ویژگی‌های مدیریت انرژی برروی پلت‌فرم محاسباتی مه به‌عنوان یک سرویس، چندین سرویس بر روی پلت‌فرم اجرا و ارزیابی می‌شود (به بخش سوم نگاه کنید). نمونه‌های اولیه کامل از مطالعه موردی در [54] ارائه شده است(برای ارائه مشخصات دقیق بخش دوم را ببینید).

A. مدیریت انرژی خانه

در سطح HEM، خدماتی نظیر مدیریت شبکه‌های حسگر، استفاده بهینه از روشنایی، شارژ EV هوشمند و کنترل هوشمند HVAC به سیستم مدیریت انرژی اضافه شده است.

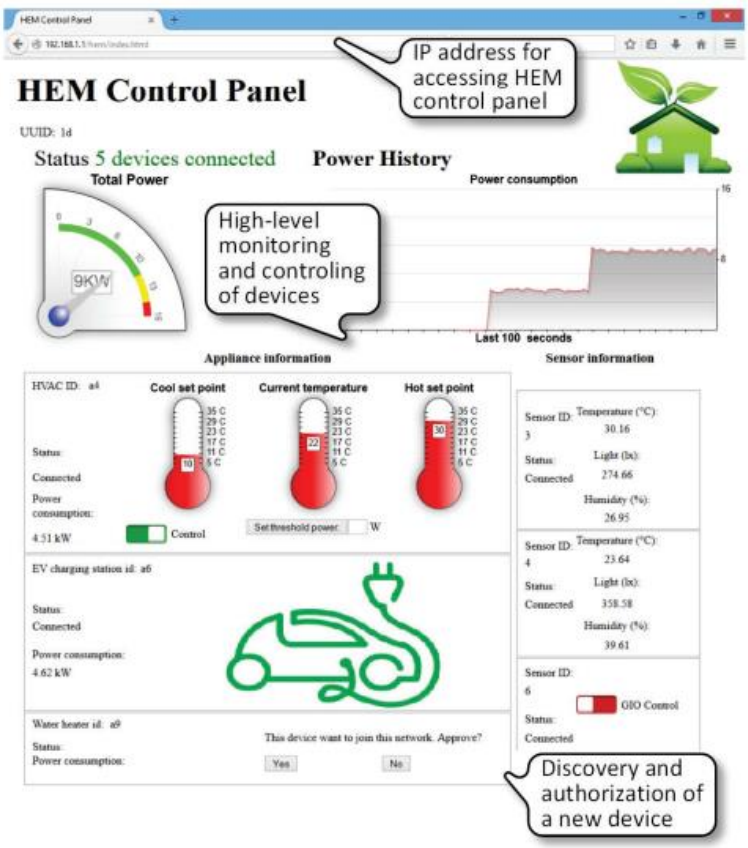

Fig. 7. HEM Control Panel for Monitoring and Controlling Smart Devices.

الگوریتم برای هر یک از خدمات در پلت‌فرم محاسباتی مه HEM (الگوریتم های 1 و 2) اجرا شده است. کنترل پنل HEM، دستگاه‌های فعلی متصل به پلت‌فرم را مشاهده می‌کند. از طریق پلت‌فرم HEM، کاربر ممکن است هر دستگاه

را روشن / خاموش کند (شکل 7 را ببینید). شکل 8 رابط کاربر برای مدیریت شبکه‌های حسگر در خانه را نشان می‌دهد. کاربر ممکن است درجه حرارت و رطوبت در نقاط مختلف از خانه را بررسی کند. با استفاده از شارژ هوشمند EV، شارژر EV به‌طور موثر درباره زمان و نحوه شارژ EV که محدودیت مصرف برق را نقض نمی‌کند تصمیم می‌گیرد (شکل 10). مصرف HVAC عمدتا وابسته به دمای تنظیم شده توسط کاربر است. با نظارت بر درجه حرارت در مکان‌های مختلف از خانه و آگاهی از قیمت انرژی، کنترلر HVAC ممکن است در تصمیم‌گیری تنظیم دما کارآمد عمل کند (شکل 9 را ببینید). این فرایند ممکن است به کاهش مصرف برق HVAC بی‌انجامد در حالی که دمای خانه در محدوده تعریف شده است.

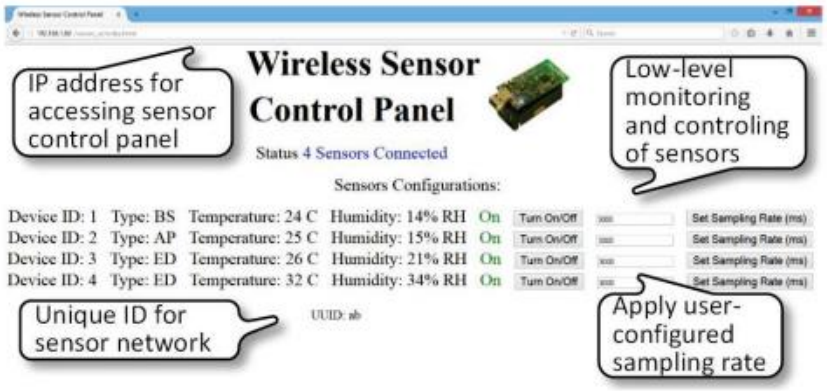

Fig. 8. Sensor Network Control Panel for Managing Sensors' Configurations.

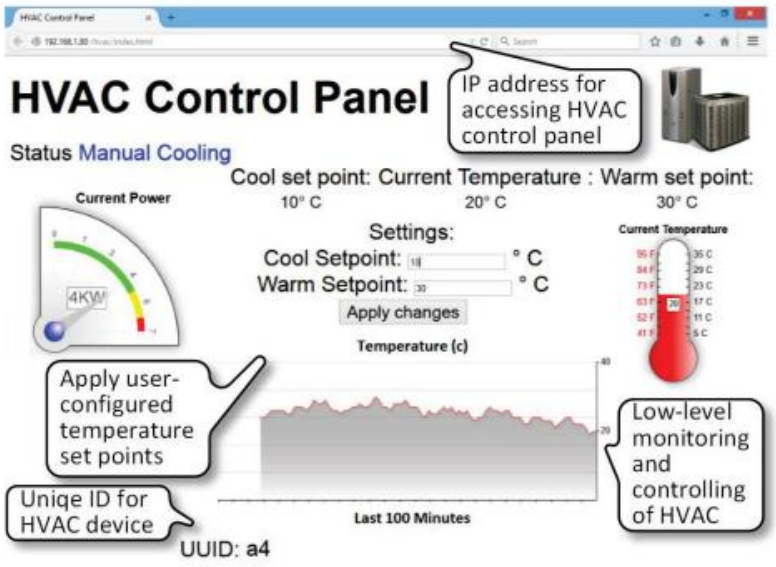

Fig. 9. HVAC Control Panel for Monitoring and Controlling HVAC Power.

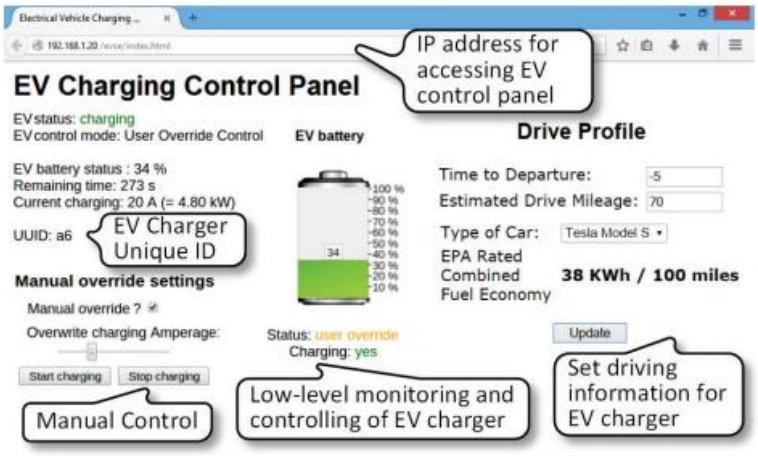

Fig. 10. EV Control Panel for Monitoring and Controlling Battery Charging.

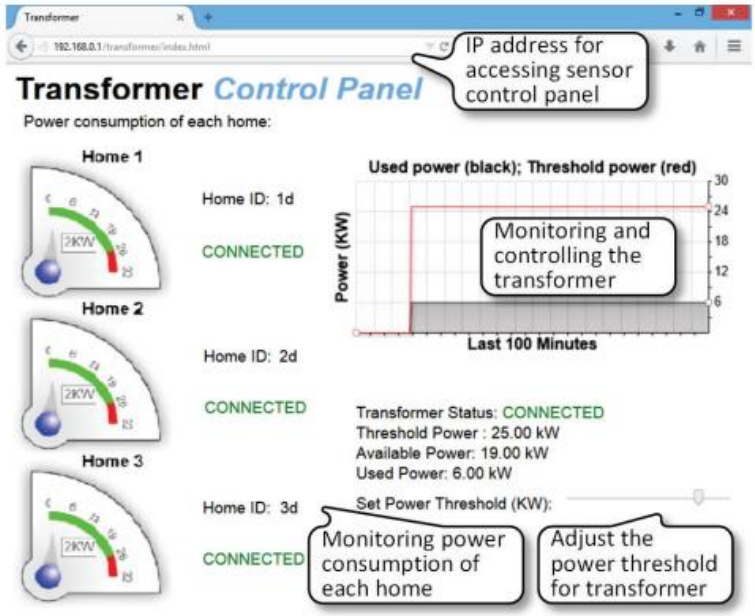

Fig. 11. Transformer Control Panel for Monitoring and Controlling Power.

B. مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه

در مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه، یک ترانسفورماتور انرژی خانه‌های متعددی را تامین می‌کند. خدماتی نظیر نظارت ترانسفورماتور، و DR ممکن است به سیستم مدیریت انرژی اضافه شوند. الگوریتم برای هر یک از خدمات در پلت‌فرم محاسباتی مه در سطح ریزشبکه پیاده‌سازی شده است (الگوریتم 3). شکل 11 رابط کاربر برای نظارت بر مصرف برق در هر خانه را نشان می‌دهد. کاربر ممکن است آستانه انرژی خاصی برای هر خانه تعریف کند. همانطور که در شکل

11 نشان داده شده است، شرایط در حال حاضر ترانسفورماتور و کل بار بر روی آن ممکن است بررسی شود. با استفاده از این اطلاعات، ترانسفورماتور، سیگنال DR را که آستانه را نقض می‌کند به خانه ارسال خواهد کرد، به‌طوری‌که ممکن است مصرف آنها را کاهش دهد. همچنین، کنترل پنل ممکن است تصمیم بگیرد که انرژی را از کجا دریافت کند (شکل 11 را ببینید).

هر دو سیستم مدیریت انرژی ویژگی‌هایی را ارائه کرده‌اند و نیازمندی‌های ذکر شده در بخش 1 را با اجرای مقرون به صرفه پلت‌فرم محاسباتی مه با استفاده از موارد مطرح در جدول 1 مرتفع ساخته‌اند، جدول 2 خلاصه‌ای از فن‌آوری‌های مورد استفاده برای ارائه این ویژگی‌ها است.

جدول 2. خلاصه‌ای از تکنولوژی‌های مورد استفاده برای پیاده‌سازی ویژگی مورد نیاز برای پلت‌فرم مدیریت انرژی

Feature	Used Technology
Interoperability	WS-Addressing and WS-Transfer enable the devices to communicate with each other.
Interactivity	WS-Eventing and WS-Metadata Exchange enable devices to synchronize each other periodically.
Flexibility	Open hardware/software used for implementing any application or adding new devices.
Scalability	Multiple devices can be connected in a shared network with their own unique IDs.
Ease of Deployment	Control panel web pages leverage HTML, AJAX, and Java scripting in order to provide user-friendly interfaces.
Open Architecture	Raspberry Pi is used as gateway and Linux-based routers and Tiny OS-based TelosB mote sensors are used for connecting and computing.
Plug-n-Play	SOAP-over-UDP is used for discovery and authentication of new devices added to network.
Local/Remote Access	IP addresses are designated for each device and they are also connected to the Internet.
Heterogeneity Abstraction	Service-Oriented Architecture is used to abstract the hardware and communication differences.

5. نتیجه‌گیری

مشاهده کردیم که مدیریت انرژی برای ریزشبکه‌ها، خانه‌ها و ساختمان‌ها ضروری است. از این رو، در این مقاله، روش مدیریت انرژی ارائه شده به‌عنوان یک سرویس برروی پلت‌فرم محاسباتی مه پیاده‌سازی شده است. اجرا برروی پلت‌فرم

محاسباتی مه، انعطاف‌پذیری، قابلیت همکاری، اتصال، حفظ حریم خصوصی داده‌ها و ویژگی‌های بی‌درنگ مورد نیاز برای مدیریت انرژی را فراهم می‌کند. همچنین، نرم‌افزار / سخت‌افزارهای منبع باز و توانایی سفارشی‌سازی موجب می‌شود تا کاربر، کنترل را به‌عنوان یک سرویس به پلت‌فرم مدیریت انرژی اضافه کند. بنابراین، هزینه پیاده‌سازی و زمان ارائه به بازار به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. برای نشان دادن مدیریت انرژی به‌عنوان یک سرویس بر روی پلت‌فرم محاسباتی مه در حوزه‌های مختلف، دو نمونه مانند مدیریت انرژی خانه و مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه اجرا و آزمایش شده است.

REFERENCES

[1] M. A. Al Faruque and F. Ahourai, “A Model-Based Design of CyberPhysical Energy Systems,” 19th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), pp. 97–104, 2014.

[2] K. Vatanparvar and M. A. Al Faruque, “Design Space Exploration for the Profitability of a Rule-Based Aggregator Business Model Within a Residential Microgrid,” IEEE Transactions on Smart Grid, 2014.

[3] DER Group at LBNL, ”WebOpt”. der.lbl.gov/News/3rd-releasedistributed-energy-resources-der-web-optimization-tool-webopt., 2014.

[4] Department of Energy (DOE), ”Buildings Energy Data Book”. buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=1.1.3., 2014.

[5] California Energy Emission, ”Building Energy Efficiency Program”. www.energy.ca.gov/title24., 2014.

[6] Department of Energy, ”US Department of Energy Strategic Plan”. energy.gov/sites/prod/files/2011 DOE Strategic Plan .pdf., 2014.

[7] H. Farhangi, “The Path of the Smart Grid,” IEEE Power and Energy Magazine, vol. 8, pp. 18–28, 2010.

[8] Y. Yao, Q. Cao, and A. V. Vasilakos, “EDAL: An energy-efficient, delayaware, and lifetime-balancing data collection protocol for wireless sensor networks,” IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS), pp. 182–190, 2013.

[9] K. Han, J. Luo, Y. Liu, and A. V. Vasilakos, “Algorithm design for data communications in duty-cycled wireless sensor networks: A survey,” IEEE Communications Magazine, vol. 51, pp. 107–113, 2013.

[10] S. Sengupta, S. Das, M. Nasir, A. V. Vasilakos, and W. Pedrycz, “An evolutionary multiobjective sleep-scheduling scheme for differentiated coverage in wireless sensor networks,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 42, pp. 1093–1102, 2012.

[11] M. Yang, Y. Li, D. Jin, L. Zeng, X. Wu, and A. V. Vasilakos, “SoftwareDefined and virtualized future mobile and wireless networks: A Survey,” Mobile Networks and Applications, pp. 1–15, 2014.

[12] L. Wang, F. Zhang, J. A. Aroca, A. V. Vasilakos, K. Zheng, C. Hou, D. Li, and Z. Liu, “GreenDCN: A general framework for achieving energy efficiency in data center networks,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, pp. 4–15, 2014.

[13] D. Niyato, L. Xiao, and P. Wang, “Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid,” IEEE Communications Magazine, vol. 49, pp. 53–59, 2011.

[14] P. Palensky and D. Dietrich, “Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, pp. 381–388, 2011.

[15] K. Vatanparvar, Q. Chau, and M. A. Al Faruque, “Home Energy Management as a Service over Networking Platforms,” IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2015.

[16] U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy Golden Service Center. Financial Assistant Funding Oppurtunity Announcement. 28 March 2013. ”DE-FOA-0000822: ”Turn Key” Open Source Software Solutions for Energy Management of Small to Medium Sized Buildings”., 2014.
[17] F. Jammes and H. Smit, “Service-Oriented Paradigms in Industrial Automation,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2005.
[18] D. Bian, M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Assessment of Communication Technologies for a Home Energy Management System,” IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), pp. 1–5, 2014.
[19] M. Rahman, M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Architecture of Web Services Interface for A Home Energy Management system,” IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), pp. 1–5, 2014.
[20] D.-M. Han and J.-H. Lim, “Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, pp. 1417–1425, 2010.
[21] Y.-S. Son, T. Pulkkinen, K.-D. Moon, and C. Kim, “Home Energy Management System based on Power Line Communication,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, pp. 1380–1386, 2010.
[22] S. Katipamula, R. M. Underhill, J. K. Goddard, D. Taasevigen, M. Piette, J. Granderson, R. E. Brown, S. M. Lanzisera, and T. Kuruganti, “Small-and Medium-Sized Commercial Building Monitoring and Controls Needs: A Scoping Study,” Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), Tech. Rep, 2012.