

راهبرد زمان بندی الکتریسیته برای سیستم مدیریت انرژی خانه با انرژی تجدید

پذیر و ذخیره باتری: یک مطالعه موردی

چکیده

با توسعه شبکه هوشمند، مصرف انرژی نقش مهمی در بازار برق ایفا می کند، اگرچه سیستم مدیریت انرژی خانه پتانسیل زیادی برای کمک به حفظ انرژی دارد. در این مطالعه، پایداری و بهره برداری کامل از انرژی تجدید پذیر اثبات می شود. بر طبق ترکیب الگوریتم ژنتیکی باطری و روش برنامه نویسی عدد صحیح، یک GA پیشرفته پیشنهاد می شود که هدف آن حداقل سازی خرید برق و بیشینه سازی استفاده از انرژی تجدید پذیر است. در نهایت می توان گفت که روش پیشنهادی در صرفه جویی هزینه و کاهش پسماند انرژی مهم است. تاثیر دستگاه های ذخیره سازی بر روی سیستم و حساسیت پاسخ تقاضا و صرفه جویی هزینه، اندازه باطری و قیمت برق نیز تحلیل می شود

1-مقدمه

1-1-انگیزه و هدف

اخیرا مصرف انرژی به سرعت افزایش یافته است. مصرف انرژی در محل اقامت و کسب و کار به 20 تا 40 درصد از کل مصرف انرژی جهان در دهه آینده افزایش خواهد یافت و نقش تعیین کننده ای در بازار برق ایفا خواهد کرد. با استفاده از مفهوم شبکه هوشمند، عادت مصرف انرژی برای مشتریان و روش های اندازه گیری انرژی الکتریکی به طور اساسی تغییر خواهد کرد. در زمینه اولویت به صرفه جویی در انرژی، لازم است که به دستیابی به هوش لوازم خانگی، که تشویق و کمک به مشتریان به استفاده از قدرت برق منطقی است. پاسخ تقاضا (DR) برای افزایش تعامل بین شبکه و کاربر توسط سیگنال قیمت و مکانیزم انگیزه معرفی می شود [2]. DR به معنی آن است که هنگامی که کاربران راهنمایی های دریافت شده توسط شرکت تامین برق را دریافت می کنند، الگوی مصرف خود را تغییر

خواهند داد. بدین معنی است که بارها را برای کاهش پایداری سیستم قدرت [3] کاهش یا تاخیر می‌اندازند، زمانی که قابلیت اطمینان سیستم قدرت با چالش مواجه می‌شود.

مدیریت انرژی در خانه توجه بیشتری را با افزایش تقاضای انرژی خانوار جذب می‌کند. (سیستم مدیریت انرژی خانه HEMS) از سنسورها برای یافتن انرژی اضافی و کنترل لوازم خانگی استفاده می‌کند تا به هدف صرفه جویی در مصرف انرژی دست یابد، که در نتیجه، صرفه جویی در مصرف انرژی خانوادگی و زندگی راحت می‌شود. این تاثیر عمیقی بر کاهش زباله های انرژی، بهبود بهره وری انرژی و تغییر مفهوم صرفه جویی در انرژی دارد HEMS. با استفاده از برنامه ریزی مطلوب و روش های پیشرفته کنترل برای به حداکثر رساندن صرفه جویی در انرژی و رضایت مشتری را تضمین می‌کند. مهم است که الگوریتم های هوشمند کارآمد و عملی را برای حل مسئله زمانبندی مطلوب HEMS مهم بدست آوریم.

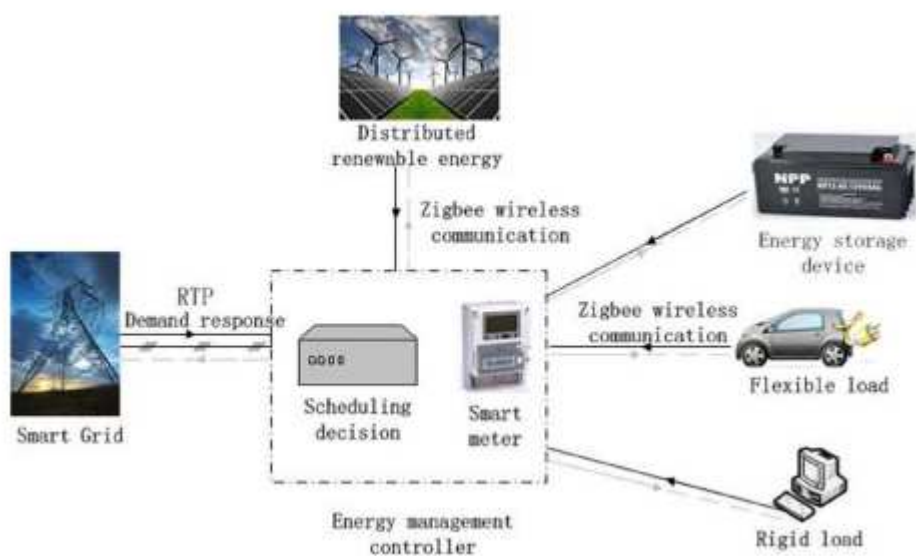
1-2 مرور منابع

در HEMS، مدل سازی و برنامه ریزی استراتژیک دو محور اصلی پژوهش است [4]. یی و همکاران [5] و پیپارتمون و همکاران. [6] در خصوص صرفه جویی در هزینه های برق ساکنان با برنامه ریزی لوازم خانگی به سبب طرح های DR مطالعه ای انجام دادند. رنجان و توماس [7] یک مدل برای HEMS ارائه می‌دهند که تنظیمات مشتری را در نظر می‌گیرد و مصرف انرژی پایین تر از حد مجاز را حفظ می‌کند، به طوری که حداقل نقض راحتی رخ می‌دهد. با این حال، مدل ها در [6، 7] تنها DR را به عنوان یک سیگنال برای هدایت رفتار کاربر معرفی می‌کنند، و نه یک استراتژی عامل را با توجه به تنوع قیمت برق در زمان واقعی برای به حداقل رساندن هزینه روزانه ارائه نمی‌دهد. پاترکیس و همکاران [8] پیشنهاد می‌کند بهینه سازی نیمی از ساعت به جلو برای دستیابی به مزایای اقتصادی خانوار در پاسخ به طرح های زمان واقعی قیمت برق (RTP)، که می‌تواند برنامه برای لوازم خانگی و رفتار شارژ / تخلیه باتری را بهینه سازی، حتی اگر اطلاعات پیش بینی دقیق نیست مدل های ذکر شده در بالا فقط از یک سیگنال تک (DR یا RTP) برای هدایت برنامه ریزی استفاده می‌کنند و واضح است که هر دو آنها برای مدیریت انرژی خانوار مفید هستند. این مدل بسیار عالی خواهد بود اگر دو سیگنال برای هدایت برنامه ریزی ترکیب شوند.

کازمی و همکاران پیشنهاد روش مبتنی بر بهینه سازی گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک (GA) برای دستیابی به برنامه مطلوب برای لوازم از لحاظ نسبت هزینه و نسبت پیک به متوسط (PAR) [9]. با این حال، در مدل سیستم، انرژی های تجدید پذیر، باتری های ذخیره سازی و وسایل نقلیه الکتریکی (EVS) در نظر گرفته نمی شود. Kuzlu مدل هوشمند HEM را شامل منابع تجدید شده و سیستم ذخیره انرژی (ESS) ارائه می دهد که اهداف حفاظت از منابع و صرفه جویی در هزینه را به دست می آورد [9]. با این حال، در مدل های ذکر شده در بالا استفاده از انرژی های تجدید پذیر، پایداری باتری و هزینه های تعامل قدرت در روند مدل سازی در نظر گرفته نمی شود. بنابراین ضروری است که یک مدل عملی و جامع HEMS طراحی شود.

برنامه ریزی بهینه یک بعد چند بعدی، مشکل غیر خطی با شرایط مختلف محدودیت است. الگوریتم های بهینه ای زیادی وجود دارد مانند برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط، بهینه سازی نورد در زمان واقعی، بهینه سازی ذرات ذرات (PSO) و الگوریتم اولویت پویا. در [10-12]، بهینه سازی HEMS به عنوان برنامه ریزی خطی (integer linear programming) (MILP integer) و فرمول بندی بعضی از روش های بهینه سازی برنامه ریزی ریاضی بالغ شد. چن و همکاران [10] و Erdinc و همکاران [11] حل شده توسط حل کننده MILP (CPLEX)، در حالی که هوانگ و همکاران [12] این مسئله MILP را با تعریف خطی و خوشبینی عمومی حل کرد. این حل کننده ها می توانند سرعت بهینه سازی را حل کنند. در برخی موارد، محاسبه فقط نیاز به بار در سطح میلی ثانیه است. با این حال، حل کننده محدودیت ها را به شیوه ای ساده (به ویژه در برنامه های برنامه نویسی عدد صحیح) مدیریت می کند. در این مورد، ما تنها می توانیم در نهایت تنها راه حل را بپذیریم، که نمیتواند عملکرد کلی راه حل جامع را ارزیابی کند و در شرایط واقعی سخت است. به خاطر اینکه فرآیند حل را نمی توان تغییر داد، به منظور بهبود عملکرد، آنچه که ما می توانیم انجام دهیم این است که مدل را بهینه سازی کنیم. برای بهبود سازگاری، الگوریتم های هوشمند برای حل مسئله برنامه ریزی HEMS اتخاذ می شوند. PSO یکی از الگوریتم های اکتشافی است که اغلب در برنامه ریزی بهینه HEMS استفاده می شود. رحمان [13] یک الگوریتم دودویی BPSO PSO را طراحی کرد. این تقاضای انرژی را بر اساس منبع تغذیه مدیریت می کند، به طور خودکار کنترل دستگاه ها یا با تغییر بار از

اوج به ساعت های پائین. با این حال، PSO مناسب برای حل مسائل بهینه سازی تعداد واقعی است، به جای مشکلات بهینه سازی گسسته. برای مسائل بهینه سازی گسسته (به عنوان مثال HEMS)، به راحتی به بهترین حالت محلی می رسد. گنگ و همکاران [14] الگوریتم کلاسیک چندتایی لیزر باکتری چند منظوره (DMOBCC) را برای حل مسئله برنامه ریزی HEMS اتخاذ کرد. تابع هدف این است که به حداقل رساندن هزینه های برق کاربران و همچنین به حداکثر رساندن رضایت کاربران. Basit و همکاران. [15] یک الگوریتم Dijkstra را برای حل مسئله برنامه ریزی HEMS ارائه می دهد که پیچیدگی بسیار کمتری دارد. همچنین الگوریتم بهینه سازی تئوری جنبشی مولکولی چند گانه در الگوریتم [5] و الگوریتم رانش الکترون الکترونیک [16] نیز ارائه شده است که برنامه مصرف انرژی آنها را برای صرفه جویی در انرژی، کاهش انتشار، بار پیک تغییر و کاهش بار مالی ارائه می دهد. در مقایسه با الگوریتم های هنجاری سنتی، این الگوریتم ها می توانند پیچیدگی را کاهش دهند، اما هیچ قاعده قطعی برای تنظیمات پارامترهای مختلف وجود ندارد و عدم اطمینان زیادی دارد. علاوه بر این، توانایی مقابله با مقادیر زیاد متغیرها در یک زمان محدود است.



شکل 1 چارچوب HEMS

GA می تواند توابع و محدودیت های خطی یا غیر خطی، گسسته یا پیوسته را حل کند. خواص رگودی از اپراتورهای تکاملی را قادر می سازد به طور موثر بهینه سازی جهانی در یک معنی احتمالات. جاوید و همکاران GA [17] برای

برنامه ریزی HEM را اتخاذ کرده است، روش کدگذاری می تواند در همان زمان انواع متفاوت متغیرها را اداره کند، که بر رفع اشکال ذکر شده در بالا غلبه می کند. با این حال، GA سنتی آسان است به دام افتاده در محلی بهینه و حساس به راه حل های اولیه. به منظور اجتناب از این کاستی ها، عملکرد GA سنتی باید بهبود یابد و این تمرکز این مقاله است.

به طور خلاصه، برخی از مشکلات وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد:

1. گرچه مدل های ذکر شده در بالا می توانند به هدف کاهش هزینه های برق یا افزایش رضایت کاربر کمک کنند، استفاده از انرژی های تجدید پذیر، پایداری باتری و هزینه های تعامل قدرت هنوز در آثار قبلی مطرح نشده است، که می تواند باعث تلف شدن انرژی و هزینه های اضافی شود.

2. با توجه به زمان محاسبه و پیچیدگی، الگوریتم های فوق عملکرد ضعیف همگرایی دارند و به راحتی می توانند به بهینه محلی وارد شوند. علاوه بر این، آنها به راه حل های اولیه داده شده حساس هستند.

1.3 مشارکت و سازمان

سهام اصلی این مقاله می تواند به شرح زیر باشد:

1. ما پایداری باتری و استفاده کامل انرژی تجدیدپذیر در سیستم را در بر میگیریم و یک مدل جامع و عملیتر را ایجاد میکنیم که در کار قبلی ذکر نشده است.

2. ترکیب GA و روش برنامه ریزی عدد صحیح چند محدوده، GA بهبود یافته به نام الگوریتم ژنتیک برنامه ریزی عدد صحیح چند بعدی (MCIP GA) پیشنهاد شده است، هدف این است که به حداقل رساندن هزینه برق و حداکثر استفاده از انرژی های تجدید پذیر. الگوریتم پیشنهادی می تواند از مزایایی که می توانند در یک بهینه محلی به دام افتاده و از راه حل های اولیه حساس باشند، جلوگیری کنند. ما همچنین ثابت می کنیم که الگوریتم راه حل را به طور قابل توجهی کوتاه تر از روش های قبلی تولید می کند.

مقاله به شرح زیر است: بخش 2 مدل سیستم، از جمله مدل ریاضی همه دستگاه ها را ایجاد می کند. بخش 3 اهداف برنامه ریزی HEMS را نشان می دهد. بخش 4 به طراحی MCIP-GA می دهد. بخش 5 به تجزیه و تحلیل آزمایش شبیه سازی می پردازد. بخش 6 متن کامل را خلاصه می کند.

2. مدل سیستم

در این مقاله، مدل شامل لوازم خانگی، تولید برق توزیع شده (DG)، EV و دستگاه های ذخیره انرژی است. همراه با RTP و DR حد بالای انرژی الکتریکی) اطلاعات ارائه شده توسط شبکه، انرژی اضافی را می توان به شبکه فروخت. چارچوب HEMS در شکل 1 نشان داده شده است، جایی که اطلاعات چرخه زمانبندی بعدی در خانواده، قدرت خروجی DG، RTP و DR، قبل از برنامه ریزی، به کنترل کننده مدیریت انرژی ارسال خواهد شد. RTP اطلاعات پیش بینی را برآورده می کند. هر دستگاه با سوکت های هوشمند مجهز شده و کنترل کننده زمانبندی با هر نقطه پایانی از طریق شبکه ZigBee بی سیم ارتباط برقرار می کند تا کنترل کامل وسایل خانگی را کنترل کند.

2.1 مدل های دستگاه های الکتریکی

با توجه به انعطاف پذیری زمان برنامه ریزی، بار را می توان به بار محکم (مانند روشنایی، تلویزیون، و کامپیوتر) و بار انعطاف پذیر تقسیم کرد. برای بار محکم، هنگام درخواست، باید بلافاصله خدمت شود. رضایت کاربر کاهش می یابد اگر بار سفت و سخت در برنامه ریزی شرکت کند. بار انعطاف اثر کمی بر رضایت کاربر دارد و دارای کشش زمانی است که حساس به RTP و DR است.

لوازم خانگی با توجه به خواص دستگاه مدل سازی می شود H. به عنوان فضای برنامه ریزی تعریف شده است. در این مقاله یک روز به 48 اسلات زمان مداوم Δh ، $\Delta h = 1$ ، 2، ...، 48 تقسیم می شود. تمام لوازم با مجموعه ای از A نشان داده شده است، هر یک از آنها توسط a ، $a \in A$ نمایان می شود. قدرت دستگاه به صورت Pa بیان می شود و $P_a(h)$ نشان دهنده قدرت در هر اسلات است d طول زمان برای تکمیل کار a است و αa ، βa محدوده زمانی مجاز عملیاتی تعیین شده توسط کاربر است که کاربر شکاف انتظار دارد که دستگاه کار کند. یک متغیر

باینری کمکی S_a برای نشان دادن حالت دستگاه و $S_a(h) = 0$ نشان می دهد که a در طی h بسته و $S_a(h) = 1$ روشن است.

دستگاه باید محدودیت های زمان اولیه را به صورت زیر نشان دهد:

$$\begin{cases} \sum_{\alpha_a}^{\beta_a} S_a(h) = d_a \\ 1 \leq \alpha_a \leq H - d_a + 1 \\ d_a \leq \beta_a \leq H \end{cases} \quad (1)$$

$$S_a(h) = 0, \quad h \in H \setminus [\alpha_a, \beta_a] \quad (2)$$

$$E_a = P_a \times d_a \quad (3)$$

محدودیت های بالا برای همه بارهای انعطاف پذیر است، در حالی که E_a و P_a در (3)، کل مصرف برق و مجموع انرژی مصرف شده در شکاف واحد هستند.

2.2 مدل های بار

بار انعطاف پذیر می تواند به بار قطع (مانند EVs) و بار غیر قابل تعویض (مانند ماشین لباسشویی و ماشین ظرفشویی) تقسیم شود.

(i) بارهای قابل تعویض

$$S_a(h) = \{0, 1\}, \quad h \in [\alpha_a, \beta_a] \quad (4)$$

$$\sum_{h=\alpha_a}^{\beta_a} S_a(h) \times P_a = E_a \quad (5)$$

(ii) بارهای غیر قابل قطع: برخی از دستگاه ها نمی توانند از شروع کار تا تکمیل کار قطع شوند. با توجه به وضعیت

فوق، محدودیت های جدید باید اضافه شود

$$\sum_{h=\tau+1}^{\tau+d_a} S_a(h) \geq J_a \cdot [S_a(\tau+1) - S_a(\tau)] \quad (6)$$

$$\tau \in [\alpha_a - 1, \beta_a - d_a]$$

جایی که a تعداد ساعات زمانی مورد نیاز برای عملیات دستگاه را نشان می دهد، و اگر دستگاه در $\tau + 1$ شروع شده باشد، حداقل ساعت ها به طول می انجامد

(iii) سیستم تهویه مطبوع

$$T_{in}(h) = T_{in}(h) \cdot e^{-(\Delta h/\xi)} + R_{eq} \cdot P_a(h) \cdot K_{airc} \cdot (1 - e^{-(\Delta h/\xi)}) + T_{out}(h) \cdot (1 - e^{-(\Delta h/\xi)}) \quad (7)$$

جایی که قلع درجه حرارت داخلی است، T_{out} درجه حرارت در فضای باز، $P_a(h)$ قدرت تهویه مطبوع، R_{eq} مقاومت حرارتی برابر اتاق است، K_{airc} ضریب تبدیل قدرت است، ثابت $\xi = Mair \cdot C \cdot R_{eq}$ ، $Mair$ کیفیت هوا در محیط داخلی است و C ظرفیت گرمای جو در فشار اتمسفر $C = 0.525$ کیلووات ساعت / درجه سانتیگراد است.

$$T_{in}^{min} \leq T_{in}(h) \leq T_{in}^{max} \quad (8)$$

دمای داخلی باید در محدوده پیش تعیین شده نگه داشته شود. $([T_{in}^{min}, T_{in}^{max}])$.

مصرف انرژی تهویه مطبوع در یک اسلات زمان باید از محدودیت های زیر برخوردار باشد:

$$0 \leq P_a(h) \leq P_a^{max} \cdot S_a(h) \quad (9)$$

جایی که P_a^{max} دارای قدرت امتیاز است.

(iv) سیستم بخاری: دمای آب گرم به درجه حرارت آب، دمای محیط، میزان جریان آب گرم، ساختار آبگرمکن،

قدرت امتیاز و غیره مربوط می شود

$$T_{water}(h+1) = T_{water}(h) \cdot e^{-((1/R'(h) \cdot C) \cdot \Delta h)} + [1 - e^{-((1/R'(h) \cdot C) \cdot \Delta h)} \times \left\{ \begin{array}{l} G^{EWH} \cdot R'(h) \cdot T^{EWH,env}(h) \\ + B(h) \cdot R'(h) \cdot T^{EWH,in}(h) + Q(h) \cdot R'(h) \end{array} \right\}] \quad (10)$$

که T_{water} , $T^{EWH,env}$, $T^{EWH,in}$ دمای آب گرم، درجه حرارت محیط و درجه حرارت آب شیر ورودی در اسلات ساعت h است.

اهمیت پارامترهای دیگر در [18] ارائه شده است.

دمای آب باید در محدوده پیش تعیین شده نگه داشته شود $([T_{water}^{min}, T_{water}^{max}])$.

$$T_{water}^{min} \leq T_{water}(h) \leq T_{water}^{max} \quad (11)$$

2.3 مدل باتری باتری

باتری باتری به صورت پویا شارژ یا تخلیه را با توجه به انرژی سیستم تنظیم می کند که می تواند انعطاف پذیری بیشتری برای بهینه سازی داشته باشد. حالت ذخیره سازی باید در نظر گرفته شود، این مقاله آن را با حالت شارژ (SOC) مشخص می کند. نسبت ظرفیت باقیمانده باتری به ظرفیت امتیاز آن را نشان می دهد. یک متغیر باینری کمکی S_{batt} برای نشان دادن وضعیت باتری معرفی می شود $S_{batt}(h) = 1$ وضعیت شارژ را نشان می دهد و $S_{batt}(h) = 0$ نشان دهنده حالت تخلیه است. (و روند پویا به شرح زیر است:

$$SOC(h+1) = SOC(h) + \frac{(P_{batt}^{ch}(h) - P_{batt}^{dch}(h)) \cdot h}{E_{batt}} \quad (12)$$

جایی که $P_{batt}^{ch}(h)$ و $P_{batt}^{dch}(h)$ به ترتیب توان شارژ و تخلیه باتری را مشخص می کنند و E_{batt} ظرفیت امتیاز باتری است.

به منظور طول عمر باتری، لازم است که SOC را به یک محدوده خاص محدود کنید، شرایط محدودیت به شرح زیر است:

$$SOC^{min} < SOC(h) < SOC^{max} \quad (13)$$

جایی که SOC^{min} و SOC^{max} محدودیت های بالاتر و پایین SOC باتری را نشان می دهند.

با توجه به کارایی شارژ و تخلیه باتری، محدودیت شارژ و تخلیه باتری به شرح زیر است:

$$0 \leq \frac{P_{\text{batt}}^{\text{ch}}(h)}{\eta_{\text{ch}}} \leq P_{\text{ch}}^{\text{max}} \cdot S_{\text{batt}}(h) \quad (14)$$

$$0 \leq P_{\text{batt}}^{\text{dch}}(h) \cdot \eta_{\text{dch}} \leq P_{\text{dch}}^{\text{max}} \cdot (1 - S_{\text{batt}}(h)) \quad (15)$$

که در آن η_{ch} ، η_{dch} ، عملکرد شارژ و تخلیه باتری است، به ترتیب $P_{\text{ch}}^{\text{max}}$ ، $P_{\text{dch}}^{\text{max}}$ به ترتیب حداکثر قدرت شارژ و تخلیه باتری هستند.

$P_{\text{batt}}(h)$ ، قدرت خروجی باتری (مقدار مثبت برای شارژ و مقدار منفی برای تخلیه)، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{\text{batt}}(h) = \frac{P_{\text{batt}}^{\text{ch}}(h)}{\eta_{\text{ch}}} \cdot S_{\text{batt}}(h) - P_{\text{batt}}^{\text{dch}}(h) \cdot \eta_{\text{dch}} \cdot (1 - S_{\text{batt}}(h)) \quad (16)$$

2.4 مدل EV.

مدل EV با شارژ باتری قابل شارژ است، اما عملکرد باطری EV بدتر می شود. به منظور طول عمر EV تا زمانی که ممکن است برای کاهش عملکرد تخلیه باتری طول بکشد، بنابراین در این مقاله، EV فقط می تواند شارژ شود. فرآیند پویا به شرح زیر است:

$$\text{SOC}_{\text{EV}}(h+1) = \text{SOC}_{\text{EV}}(h) + \frac{P_{\text{EV}}^{\text{ch}}(h) \cdot h}{E_{\text{EV}}} \quad (17)$$

معادله (17) نشان می دهد که EV یک بار انعطاف پذیر در سیستم است، EV تنها می تواند توان $(P_{\text{EV}}^{\text{ch}}(h))$ را قبول کند.

$$\text{SOC}_{\text{EV}}^{\text{min}} \leq \text{SOC}_{\text{EV}}(h) \leq \text{SOC}_{\text{EV}}^{\text{max}} \quad (18)$$

محدودیت ها (18) محدوده SOC را بین $\text{SOC}_{\text{EV}}^{\text{min}}$ و $\text{SOC}_{\text{EV}}^{\text{max}}$ محدود می کند.

$$0 \leq \frac{P_{EV}^{ch}(h)}{\eta_{ch}} \leq P_{ch}^{max} \cdot S_{EV}(h) \quad (19)$$

محدودیت ها (19) یک محدودیت در قدرت شارژ EV را اعمال می کنند

$$\forall h \in [T^a, T^b] \quad (20)$$

جایی که T^a ، T^b نشان دهنده زمان ورود EV به خانه و زمان خروج EV از خانواده است. برنامه ریزی باید در این فاصله انجام شود

$$P_{EV}(h) = \frac{P_{EV}^{ch}(h)}{\eta_{ch}} \cdot S_{EV}(h) \quad (21)$$

جایی که h (PEV) قدرت خروجی باتری است (مقدار مثبت برای شارژ و مقدار منفی برای تخلیه)، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$SOC_{EV}^{ini} = SOC_{EV}(T^a) \quad (22)$$

معادله (22) SOC EV را در زمان ورود T^a SOCEV محدود می کند، که با انرژی ابتدایی SOC_{EV}^{ini} EV همخوانی دارد.

$$SOC_{EV}(h) = SOC_{EV}^{ini}, \quad \forall h \notin [T^a, T^b] \quad (23)$$

اگر در محدوده زمانبندی قرار نگرفته باشد، وضعیت انرژی از EV به حالت اولیه باقی خواهد ماند.

3. اهداف برنامه ریزی

هدف برنامه ریزی برای به حداقل رساندن خرید برق از شبکه و به حداکثر رساندن استفاده از انرژی تجدید پذیر است، مصرف برق در طول هر اسلات نشان داده شده است به عنوان

$$P_{total}(h) = \sum_{a=1}^{m+n} S_a(h) \cdot P_a(h) + P_{must}(h) + P_{batt}(h) - P_{DG}(h) \quad (24)$$

جایی که اولین اصطلاح نشان دهنده مصرف انرژی بار انعطاف پذیر است، $P_{\text{must}}(h)$ مصرف بارهای سخت است، $P_{\text{batt}}(h)$ نشان دهنده خروجی باتری (تخلیه مثبت، تخلیه منفی) است و $P_{\text{DG}}(h)$ خروجی DG را نشان می دهد. تابع هدف به عنوان نشان داده شده است

$$\begin{aligned} \min \sum_{h=1}^{48} [P_{\text{total}}(h) \cdot \text{RTP}(h)] \\ \text{s.t. } P_{\text{total}}(h) \leq D(h) \quad (25) \\ \sum_{h=1}^{48} \sum_{a=1}^{m+n} S_a(h) = \sum_{a=1}^{m+n} d_a \end{aligned}$$

محدودیت نشان می دهد که مصرف انرژی نوشابه نباید از حد مجاز حداکثر تجاوز کند.

4. طراحی MCIP-GA

GA می تواند توابع و محدودیت های خطی یا غیر خطی، گسسته یا پیوسته را حل کند. اما آسان است که در محلی بهینه و حساس به راه حل های اولیه داده شود. به منظور بهبود عملکرد GA سنتی، اپراتور اولیه، اپراتور تعمیر و جهش پویا به الگوریتم معرفی شده است.

4.1 الگوریتم طراحی

تعداد زیادی کروموزوم نامعتبر در فرایند تکرار ایجاد می شود که حالت تکاملی معتبر جمعیت را کاهش می دهد. ضروری است که طراحان عملیات اولیه، متقاطع و جهش مناسب برای ایجاد آن معتبر باشند، جایی که «معتبر» بدان معنی است که فضای راه حل تولید شده توسط اپراتورهای ژنتیک، محدودیت معادله را رعایت می کند.

(I) کدگذاری کروموزومی: کروموزومهای GA دارای باینری کدگذاری هستند که میتوانند وضعیت کار دستگاهها را در اسلات های مختلف نشان دهند و 1/0 نشان می دهد که دستگاه خاموش / روشن است. کروموزوم a می تواند به

صورت بیان شده باشد $X_a = \{X_a^h, h = 1, 2, \dots, 48\} = [X_a^1, X_a^2, \dots, X_a^{48}]$. برای دستگاه بی وقفه،

زمان شروع X_{at} است، و زمان پایان $X_{at} + d_a$ است. تمام شرایط دستگاه غیر قابل تعویق می تواند با زمان شروع با

یک کد بیان شود. تعداد کل '1' می تواند تعداد کل دوره های کار را بیان کند و محدوده کاری مجاز را می توان با

محدود کردن آغاز و محدوده پایان '1' تنظیم کرد. دستگاه های غیر قابل تعویض M وجود دارد و N دستگاه های متوقف شده، تمام دستگاه های دولتی فرد را به صورت زیر تشکیل می دهند:

$$X = \{X_a, a \in 1, \dots, m+n\} = \begin{bmatrix} X_1^1 & X_1^2 & \dots & X_1^{48} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_m^1 & X_m^2 & \dots & X_m^{48} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m+n}^1 & X_{m+n}^2 & \dots & X_{m+n}^{48} \end{bmatrix} \quad (26)$$

(ii) تولید اولیه جمعیت: جمعیت اولیه تولید شده به طور تصادفی شروع جستجو است و لازم است اطمینان حاصل شود همه افراد در گروه ها معتبر هستند. اپراتور ابتکاری می تواند راه حل هایی را در دا ایجاد کند، هر راه حل به صورت تصادفی تولید شده فردی است که با محدودیت ها مواجه می شود. اپراتور ابتدایی می تواند به صورت تصادفی و به طور تصادفی جمعیت را با یک توزیع یکنواخت تولید کند. بنابراین، این می تواند به طور موثر بر حساسیت راه حل های اولیه داده شود و عملکرد همگرا الگوریتم بهبود یافته است. به عنوان مثال، راه حل اولیه یک دستگاه می تواند به طور تصادفی در زمان بازنشستگی αa ، βa و زمان کار $da = 5$ تولید شود، جایی که ژنوتیپ به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$X_a = 00000000\underbrace{100100111000}_{[\alpha_a, \beta_a]} \dots 00000. \quad \text{Com}$$

(iii) عملکرد تناسب اندام: تناسب اندام اساس اندازه گیری کیفیت فردی است که روند تکامل را هدایت می کند و درجه کیفیت هر فرد را می دهد. سپس تابع هدف نمایش داده می شود

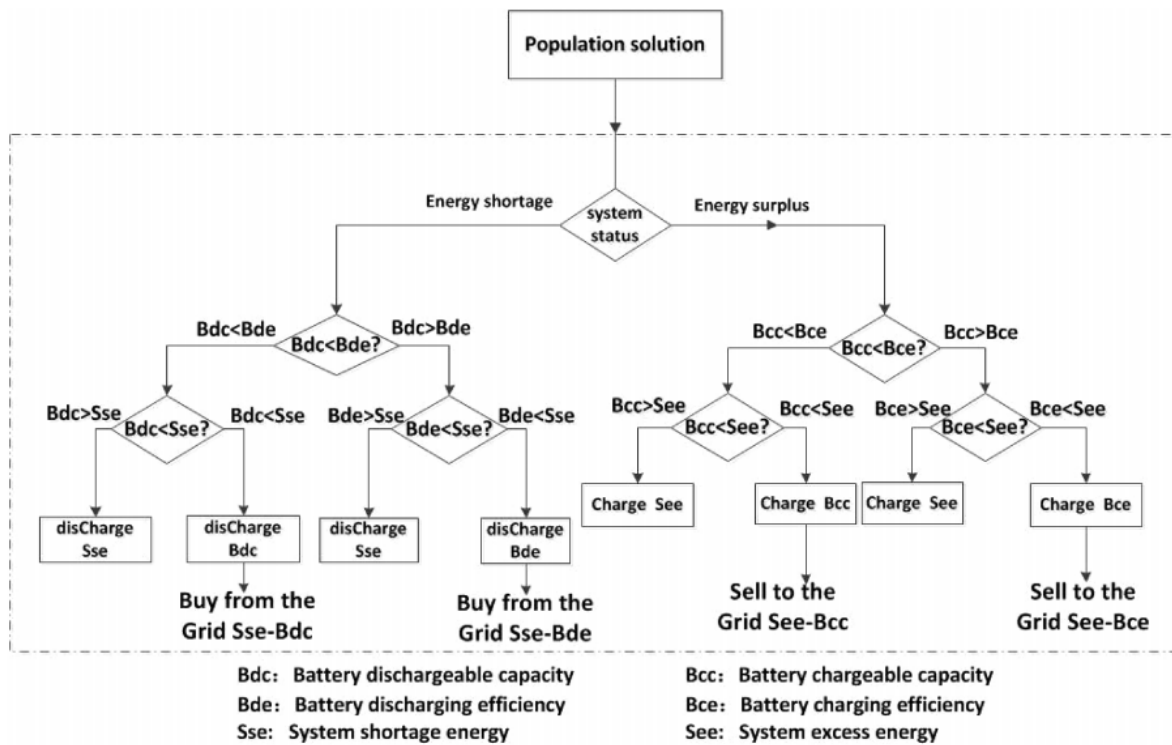
$$\text{objvalue}(h) = \sum_{h=1}^{48} \left\{ \left[\sum_{a=1}^{m+n} S_a(h) \cdot P_a(h) + P_{\text{must}}(h) \right] \cdot \text{RTP}(h) \right. \\ \left. + P_{\text{batt}}(h) - P_{\text{DG}}(h) \right\} \quad (27)$$

جایی که $\text{pmust}(h)$ بار سفت و سخت است.

GA براساس درجه تناسب اندام است تا تعیین کند که فردی که در گروه فعلی می تواند به نسل بعدی منتقل کند، نیاز دارد که مقدار تناسب اندام باید غیرقابل برگشت باشد. لازم است تابع هدف را از حداقل هزینه به حداکثر هزینه تبدیل کنید. بنابراین تناسب اندام متقابل تابع هدف است

$$\text{fitness}(h) = \frac{1}{\text{obivalue}(h) + c} \quad (28)$$

که در آن C آستانه است، که بستگی به مقدار اولیه دارد. (iv) انتخاب: انتخاب چرخ رولت برای انتخاب افراد عالی از جمعیت فعلی مورد استفاده قرار می گیرد، به طوری که آنها فرصت پدر شدن برای تکثیر نسل های نسل بعد را دارند. افراد سازنده قوی، به یک احتمال بزرگ یک یا چند فرزند برای نسل بعدی کمک می کنند. (V) متقاطع: افراد X1 و X2 ماتریس های دو بعدی هستند، که با احتمال تقارب PC انتخاب می شوند و هر ردیف عبور می کنند. از آنجا که دستگاه غیرقابل قطع با یک بیت نمایش داده می شود، هیچ معنی عملی برای عبور ندارد، بنابراین شرکت نمی کند. دستگاه متوقف شده با یک نقطه متقاطع عبور می کند که در موقعیت تصادفی تولید شده در محدوده زمانی عملیاتی مجاز می باشد. لازم است کروموزوم ها را پس از متقاطع تشخیص دهیم. برای کروموزوم های غیر قابل قبول، اپراتور تعمیر آن را به یک راه حل امکان پذیر می کند. روش اصلاح این است که ژنوتیپ درجه را از محدودیت (dBite = Xda (a , dBite) تشخیص دهد و سپس ژنوتیپ صحیح را به صورت تصادفی انتخاب می کند و در آخر مقدار معکوس را معکوس می کند..



شکل 2 پروسه تصمیم گیری باتری

(vi) موتاسیون: همه افراد با کمترین احتمال جهش Pm1 در جهش، مسلما شرکت می کنند. هنگامی که نزدیک به راه حل بهینه (تناسب از راه حل بهینه برای مدت زمان طولانی تغییر نکرده است)، سرعت جهش به Pm2 بهبود یافته است، به طوری که برای جلوگیری از راه حل از رسیدن به راه حل بهینه محلی. کروموزوم جهش یافته ممکن است غیر قابل انجام باشد و همچنین باید تعمیر شود.

با توجه به عملیات متقاطع، جهش همکاری، و رقابت با یکدیگر، GA دارای قابلیت جستجوی تعادل هر دو جهانی و محلی است. عملیات جهشی برای تعمیر برخی از ژن های ژنتیکی است که ممکن است در روند متقاطع از دست رفته باشد. این جهش نشان دهنده توانایی جستجوی محلی GA است در حالی که تنوع جمعیت را حفظ می کند. اگر نرخ متقاطع و نرخ جهش مناسب انتخاب شوند، GA پیش از موعد جلوگیری خواهد کرد. MCIP-GA پیشنهادی می تواند به طور مؤثر به دلیل سه بعدی زیر را به جلوگیری از همگرایی زودرس کمک کند: (الف) اپراتور ابتدایی می تواند به صورت یکنواخت توزیع شده به طور مستقیم و به طور تصادفی تولید کند. ب (اپراتور تعمیرات می تواند راه حل های محلی را از بین ببرد تا تنوع جمعیت را بهبود ببخشد، زمانی که جمعیت به راه

حل های بهینه یا غیرقطعی محلی (فرد فوق العاده) می رسد (c). نرخ جهش پویا. در مرحله اولیه GA، نرخ جهش برای بهبود قابلیت جستجو در کل فضای جستجو بزرگتر است. در مرحله آخر، زمانی که GA به راه حل بهینه می رسد، باید مقدار کوچکتر از نرخ جهش برای جلوگیری از تخریب ساختار برتر ساخته شود.

4.2 پردازش محدودیت

پردازش ذخیره سازی انرژی: عملکرد باتری بستگی به دلتا انرژی (h) و SOC (h) در داخل سیستم دارد و delta (h) نشان دهنده اختلاف قدرت بین کل مصرف برق و قدرت توزیع شده است. اگر پس از ارائه تمام بارها خروجی فتوولتائیک (PV) هنوز مازاد باشد، باتری انرژی اضافی را ذخیره می کند که بر ارتباط بین ظرفیت قابل شارژ باتری و میزان شارژ هر اسلات بستگی دارد. اگر هنوز قدرت بیش از حد وجود دارد، آن را به شبکه می فروشید تا مزایای اقتصادی به دست بیاورید. برعکس، اگر خروجی توزیع شده برای عرضه تمام بار (delta (h) > 0) کافی نباشد، سیستم باید از قدرت باتری استفاده کند. بارهای بیشتر شارژ / تخلیه باتری، عمر کوتاهتری از باتری خواهد بود. بنابراین ما ضرر شارژ / تخلیه را به مصرف انرژی تبدیل می کنیم. قیمت فروش شبکه به این مقاله کمتر از RTP است که 50٪ از RTP است. فرایند تصویب باتری در شکل 2 نشان داده شده است.

4.2.2 پردازش DR: مصرف کل نیز باید حد DR را برآورده سازد. عملکرد مجاز یک روش ساده و موثر در برخورد با محدودیت است که برای تبدیل قدرت محدود به تناسب استفاده می شود.

$$p(h) = \begin{cases} \mu \cdot \sum_{i=1}^{m+n} p(i), & p_{\text{total}}(h) > p_{\text{demand}}(h) \\ \sum_{i=1}^{m+n} p(i) & p_{\text{total}}(h) < p_{\text{demand}}(h) \end{cases} \quad (29)$$

جایی که μ پارامتر جریمه است، که به طور موثر می تواند تناسب راه حل را که قدرت DR از آنها بالاتر است، کاهش دهد.

از طریق تصمیم گیری، اگر قدرت کل بیش از حد DR باشد، قدرت واقعی در این اسلات با مقدار مجاز μ به ضرب خواهد شد. سپس مقدار هدف بزرگ خواهد شد در حالی که تناسب اندام کوچک خواهد بود. در فرآیند انتخاب هر نسل، این افراد به تدریج حذف خواهند شد.

5. مثال تجزیه و تحلیل

در این مقاله، داده های RTP در تاریخ 1 مارس 2017 در کوئینزلند توسط اپراتورهای بازار انرژی استرالیا [19] (AEMO) ارائه می شود. خروجی قدرت تولید PV در یک پایگاه داده منبع باز است [20]. پارامترهای الگوریتم: NIND = 40، MAXGEN = 500، PRECI = 48، mm = 6، nn = 24، GGAP = 0.9، Pc = 0.7، Pm1 = 0.005، Pm2 = 0.01 یک باتری سرب با ظرفیت 6.68 کیلو وات ساعت استفاده می شود. حداکثر توان شارژ / تخلیه در هر اسلات زمان 3 کیلو وات است SOC. باتری باید بین 0.3 و 0.9 نگه داشته شود. حالت اولیه یک عدد تصادفی تولید شده در [0.3, 0.6, 1]، SOC(1) = 0.3 + 0.6 * rand(1) است. راندمان شارژ / تخلیه $\eta_{ch} = \eta_{dch} = 0.8$ و ضرر شارژ / تخلیه یک عدد تصادفی تولید شده در [0, 1] است. پارامتر بار در جدول 1 نشان داده شده است.

5.1 تجزیه و تحلیل نتایج شبیه سازی

اول، به منظور تأکید بر تأثیر هر یک از ماژول ها بر هزینه کاربر، شبیه سازی به پنج مورد تقسیم می شود. از خانواده سنتی به خانواده هوشمند، به طور جداگانه شرایط ماژول PV، ماژول باتری و توانایی فروش برق را اضافه کنید. نتایج در جدول 2 نشان داده شده است 'Y / N'. بدان معنی است که سیستم در مورد متناظر با استفاده از ماژول (PV یا باتری) و توانایی فروش برق یا نه STG. نشان می دهد که آیا سیستم توانایی فروش برق را دارد یا خیر، و سی دی نشان می دهد که میزان هر عامل بر کاهش هزینه تاثیر می گذارد که می تواند هدایت تصمیم بعدی را فراهم کند. محاسبه CD به صورت زیر است

$$CD_i = \frac{COST_{case(i-1)} - COST_{case(i)}}{COST_{case(i-1)}} \quad (30)$$

از جدول 2 می توان دید که هزینه خانواده های سنتی (584.6568 سنت) بسیار بیشتر از خانواده های هوشمند (277.234) است. و وجود انرژی تجدیدپذیر نقش مهمی در صرفه جویی در هزینه های الکتریکی ایفا می کند که هزینه آن در مقایسه با پرونده 1 با 48.46 درصد کاهش می یابد. سپس دو عامل دیگر نیز صرفه جویی در هزینه ها را با تفاوت کمی در اثربخشی (8.10 و 11.02 درصد) . بنابراین، مدل طراحی شده در این مقاله پتانسیل بالایی در صرفه جویی در انرژی و هزینه دارد. این مقاله بر روی سیستم پرونده 5 تمرکز دارد که در بخش زیر به طور کامل مورد بحث قرار می گیرد.

با توجه به زمان انتظار کاربر، وظیفه به صورت تصادفی مرتب شده و نتیجه در شکل 3 نشان داده شده است. می توان یافت که برخی از اسلات های زمانیکه از حد مجاز (DR مثلا 7:00-7:30) تجاوز می کنند، وجود دارد. علاوه بر این، مردم از لوازم بدون برنامه ریزی استفاده می کنند، کارهای زیادی در زمان شارژ قیمت بالاتر (به عنوان ساعت 7:00 - 10:00، 16:00-20:00)، که منجر به اتلاف انرژی فراوان می شود. در دوره شبیه سازی، کاربر نیاز به پرداخت 493.1588 سنت دارد.

در شکل 4، نتیجه بهینه شده نشان داده شده است که RTP و PV نقش مهمی را بازی می کنند و مصرف انرژی همیشه کمتر از حد DR است. منحنی بار صاف است و شبکه تصمیم کاربر را از طریق DR هدایت می کند. در این مورد، کاربر نیاز به پرداخت 187.2734 سنت دارد که صرفه جویی 62٪ در مقایسه با شکل 3.

قدرت انتقال بین HEMS و شبکه در شکل 5 نشان داده شده است HEMS. می تواند برق را به شبکه در فروش سود به فروش برساند. در دوره قیمت پایین HEMS از شبکه برق دریافت می کند. هنگامی که خروجی PV کوچک است، توسط شبکه و باتری تامین می شود (به عنوان مثال 00:00-8:00). (در دوره قیمت بالا (به عنوان مثال 8:00-16:00:30)، توسط PV و باتری تامین می شود و قدرت بیش از حد به شبکه ارسال می شود.

5.2 مقایسه الگوهای مختلف کاری

با توجه به وضعیت انرژی سیستم (اضافه یا کمبود)، باتری دو الگو از شبیه سازی وجود دارد. الگوی من مستقیم عمل می کند، در حالی که الگوی II بعد از قضاوت بر روی سطح RTP عمل می کند.

5.2.1 عمل مستقیم باتری (الگوی I): این مورد به این معنی است که تا زمانی که سیستم نیاز به انرژی داشته باشد، باطری بدون نیاز به RTP به طور مستقیم شارژ می شود.

5.2.2 عمل باتری بر اساس RTP الگو (II): هنگامی که سیستم نیاز به انرژی دارد، کنترل کننده RTP قضاوت می کند تا تصمیم بگیرد که آیا از باتری استفاده کند یا خیر. هنگامی که RTP بالاتر از میانگین است، ابتدا باتری تخلیه می شود. در غیر این صورت، سیستم از شبکه برق می گیرد

نتایج شبیه سازی برای Figs نشان داده شده است 6-9. می توان دریافت که الگوی من نیاز به پرداخت 191.8308 سنت به شبکه دارد، در حالی که الگوی II سود 18.6109 سنت را به دست می آورد. این بدان معناست که الگو II ارزان تر است.

اول، در مقایسه با تبادل انرژی تحت دو الگو کار در Figs. 6 و 8، مثبت نشان می دهد قدرت خروجی شبکه به HEMS، و منفی بالعکس HEMS. وقتی که خروجی PV بزرگ است (به عنوان مثال 11:00-13:00:00)، قدرت بیشتری را به شبکه در مدل II ارسال می کند. قیمت در این دوره بیشتر است، گرچه قیمت به شبکه به فروش می رسد، فقط نصف RTP است هنوز درآمد قابل توجهی دارد.

دوم، SOC باتری در شکل ها نشان داده شده است. 7 و 9. مقایسه این دو الگو، مزیت دوم این است که تنها زمانی که سیستم نیاز به انرژی شدید (RTP بالا، بار سخت سنگین)، تخلیه باتری مانند 7:00-8:00:00، 18:00-20:00 در الگوی من، در حال حاضر در باتری هیچ رزروی وجود ندارد، اما RTP همچنان بالا است و خروجی PV نزدیک به صفر است (به عنوان مثال 17:00-19:00:00). در این زمان، HEMS مجبور به دریافت قدرت از شبکه است. در حالی که با الگوی II، باتری در این مرحله دارای انرژی در دسترس برای HEMS است، که از لحاظ عمر باتری RTP و اوج تغییرات بالا اجتناب می کند. این الگوی می تواند ظرفیت اضافی را در هر زمان و با توجه به طول عمر باتری، حفظ کند.

ماهیت الگوهای دو باتری بازی بین مزایای اقتصادی فروش برق به شبکه و مزایای بالقوه اقتصادی باتری است. هنگامی که انرژی اضافی در سیستم وجود دارد، شارژ شدن برق به باتری سود موقت را در برابر فروش قدرت به

شبکه بدست می آورد. با توجه به کمبود انرژی باتری، این سیستم نیاز به منبع تغذیه دیگر دارد و باتری در معرض خطر کم بودن ظرفیت موجود در مورد RTP قرار دارد. اگر انرژی کافی در سیستم وجود نداشته باشد، باتری فقط زمانی استفاده می شود که RTP بزرگتر از مقدار متوسط باشد. در غیر این صورت، ما برق از شبکه را خریدیم. هنگامی که RTP نسبتاً کم است، می توانیم به طور مستقیم از شبکه انرژی دریافت کنیم. این می تواند یک ظرفیت پشتیبان خاص برای باتری را ذخیره کند. بنابراین این الگوارزان تر است.

5.3 عملکرد الگوریتم

عملکرد الگوریتم با دو شاخص انجام می شود: بازده محاسباتی و استحکام.

5.3.1 بهره وری محاسباتی: یکی از چالش های کلیدی برای اجرای الگوریتم پیشنهادی، بازده محاسباتی است.

آزمایشات شبیه سازی در یک کامپیوتر Intelcore i3 با تنظیمات سخت افزاری زیر انجام می شود: پردازنده @ 3.40 گیگاهرتز، RAM 4 گیگابایتی. برای نشان دادن کارایی پیشنهاد MCIP-GA زمان محاسبه تصمیم گیری ارزیابی می شود. زمان CPU مورد نیاز MCIP-GA در جدول 3 نشان داده شده است. برای مقایسه، زمان محاسبه PSO گزارش شده در [15] و BPSO گزارش شده در [21] نیز نشان داده شده است.

از نتایج، می توان دریافت که روش پیشنهادی نسبت به سایر روش های ذکر شده برتر است. پیشنهاد MCIP-GA نیاز به حداقل زمان (12.70 ثانیه) برای دستیابی به ارزش بهینه در مقایسه با دو الگوریتم دیگر اکتشافی (18.58 و 39.28 ثانیه). (با تنظیمات سخت افزاری مشابه، زمان محاسبه به کارایی الگوریتم بستگی دارد. الگوریتم پیشنهادی بر برنامه نویسی برنامه کارایی برتر دارد که می تواند همزمان یک تعداد زیادی متغیر را اداره کند. در نتیجه، الگوریتم پیشنهادی دارای کارایی بالا است.

شکل 10 منحنی همگرایی الگوریتم را نشان می دهد. در روند تکاملی، انحراف بین مقدار متوسط و ارزش مطلوب قبل از نسل های اولیه 20 بسیار زیاد است، که نشان می دهد که تعداد زیادی از طرح های بی فایده وجود دارد. پس از 50 نسل، انحراف کمتر می شود، به این معنی که همه راه حل ها در جمعیت عالی هستند. به عبارت دیگر، راه حل هایی که با این زیستگاه سازگار نیستند، در فرآیند "زنده ماندن مطلوب ترین" حذف شده اند، در حالی که

طرح حفظ آمادگی بالا حفظ می شود. می توان مشاهده کرد که کاهش قیمت برق در 100 تکرار ثابت است. این واقعیت نشان می دهد که تعداد تکرار برای GA کافی است.

برای ارزیابی عملکرد همگرا و صحت پیشنهاد MCIP-GA، مقدار StdDev نیز محاسبه می شود. برای مقایسه، پنج الگوریتم بهینه سازی دیگر که در [5] شرح داده شده است نیز ارزیابی می شوند، که تابع هدف، شرایط محدودیت و پیچیدگی الگوریتم تقریباً همانند MCIP-GA است.

محاسبه StdDev به شرح زیر است:

$$\text{StdDev} = \frac{\text{Average value} - \text{Optimal value}}{\text{Average value}} \quad (31)$$

که در آن میانگین ارزش و ارزش بهینه به ترتیب میانگین و راه حل مطلوب در نسل گذشته نسل است. از جدول 4 دیده می شود که MCIP-GA مقدار 70 درصدی را به دست می آورد. تکرار MCIP-GA کمتر از دیگران است. MCIP-GA در جستجوی راه حل بهینه به سرعت با پیدا کردن الگوهای عالی در میان کروموزوم ها، مزیت بزرگی دارد. برای الگوریتم اکتشافی، تمام راه حل های نسل گذشته باید بسیار خوب باشد. اگر StdDev بیش از حد بزرگ است، راه حل به دست آمده خطر ابتلا به بهینه محلی است. برای MCIP-GA شکاف بین راه حل بهینه و مقدار متوسط در 6.38٪ کنترل می شود. در حالی که برای الگوریتم های دیگر، شکاف بزرگ است، حتی تا 49.26٪ (الگوریتم DSKMTOA). بنابراین، یک سری از راه حل های به دست آمده از الگوریتم بهبود یافته به طور کلی عالی است، که دارای دقت بالاتر است.

Table 1 Parameters of deferrable loads

Appliance	$[\alpha_a, \beta_a]$	Duration, h	Rated power, kW
dish washer ^a	08:00–12:00	1.5	0.73
	20:00–23:00		
washing machine ^a	06:00–07:30	1.0	0.80
	15:00–17:00		
humidifier	00:00–09:00	4.0	0.15
	14:00–20:00		
laundry drier	09:00–12:00	2.0	1.26
	20:00–23:00	1.5	
floor cleaning robot	06:00–12:00	3.0	0.74
	08:00–18:00	2.5	0.70
	20:00–23:30	1.5	0.64
water heater	04:00–08:30	3.0	0.74
	16:00–20:00	2.0	0.70
	21:00–24:00	1.5	0.64
air conditioner	0:00–8:00	—	0.75
	19:00–24:00	—	0.75
electric kettle	06:00–07:30	0.5	1.50
	16:00–20:00		
	21:00–23:00		
water pump	00:00–08:00	3.0	1.00
	07:00–18:00	4.0	1.80
	16:00–24:00	4.0	1.00
	18:00–24:00	4.0	1.10
pool pump	06:00–15:00	6.0	1.60
oil press	09:00–18:00	3.5	0.35
floor waxing	14:00–18:00	3.0	0.42
electric oven	00:00–08:00	4.0	1.10
	12:00–17:00	2.5	2.00
	13:00–18:00	2.0	1.30
PHEV	00:00–08:00	3.5	2.40

^a. Non-interruptible loads.

5.3.2 استحکام: در این مقاله بهینه سازی بر اساس داده های پیش بینی شده (RTP) ، تولید انرژی تجدید پذیر و

غیره) است. با توجه به انحراف بین ارزش پیش بینی شده و ارزش واقعی، عملکرد برنامه ریزی ممکن است متفاوت

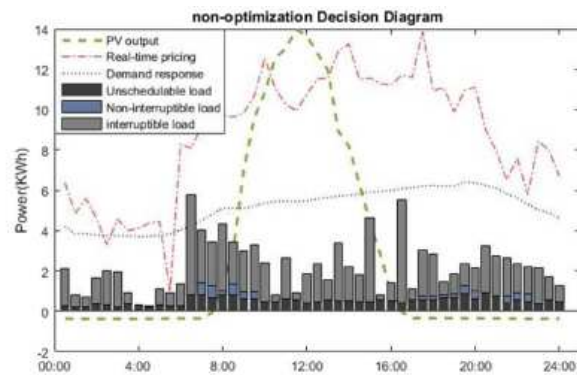
باشد. بنابراین، داده های پیش بینی را با داده های واقعی جایگزین می کنیم تا توانایی ضد اختلال در بهینه سازی (بهینه سازی قوی) را بررسی کنیم. هدف ما بررسی رابطه بین هزینه و استفاده از PV در مقایسه با عدم اطمینان PV است. حساسیت هزینه لایحه برق و استحکام با توجه به خوش بینی های مختلف در جدول 5 نشان داده شده است.

از جدول 5 نشان داده شده است که مصرف کل انرژی در سه مورد تفاوت کمی دارد. به عبارت دیگر، استراتژی برنامه ریزی تاثیر کمی بر مصرف انرژی دارد. با این حال، استفاده از PV، قدرت شبکه و هزینه تفاوت های زیادی در سه مورد دارد. استفاده PV از برنامه زمانبندی تصادفی (35.28٪) به طور قابل توجهی کمتر از دو مورد دیگر است، در حالی که بهینه سازی قوی (95.31٪) نزدیک به بهینه سازی MCIP-GA 100 است. به عبارت دیگر، بهینه سازی قوی و بهینه سازی MCIP-GA تقریباً همان استفاده از PV را دارند. علاوه بر این، همچنین می توان دریافت که سابق مصرف کمتری نسبت به بعد دارد. دلایل به شرح زیر است. اگر قدرت واقعی PV کمتر از مقدار پیش بینی شده باشد، استفاده از PV در 100٪ است. با این حال، اگر قدرت واقعی PV بالاتر از مقدار پیش بینی شده باشد، با توجه به استراتژی قبلی، قدرت اضافی مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. در این زمان، استفاده از PV به میزان 100٪ خواهد بود، به همین دلیل استفاده از PV بهینه سازی قوی کمتر از MCIP-GA است. به طور مشابه، قدرت شبکه به برنامه ریزی تصادفی (58.1 کیلو وات) به طور قابل توجهی کمتر از دو مورد دیگر است، در حالی که بهینه سازی قوی (100.5 کیلو وات) نزدیک به بهینه سازی MCIP-GA 103.4 کیلو وات است. دلیل آن مشابه استفاده از PV در بالا است. با توجه به وجود خطای پیش بینی، هزینه واقعی برق ناگزیر بالاتر از مقدار پیش بینی شده است. لذت بردن از این است که شکاف هزینه برق بین بهینه سازی قوی و بهینه سازی MCIP-GA کوچک است (198.3102 و 187.2734) و تنها 11.0368 سنت است. بنابراین، خطای داده بین مقدار واقعی و ارزش پیش بینی غیر حساس به صرفه جویی در هزینه برق است. دقت هزینه براساس (32) محاسبه می شود که 94.43٪ است. حتی اگر وجود انحراف پیش بینی شود، نتایج بهینه سازی الگوریتم پیشنهادی همچنان می تواند به دقت بالا دست یابد. در نتیجه، نتایج نشان می دهد که الگوریتم دارای قدرت قوی در اختلال خطای پیش بینی است.

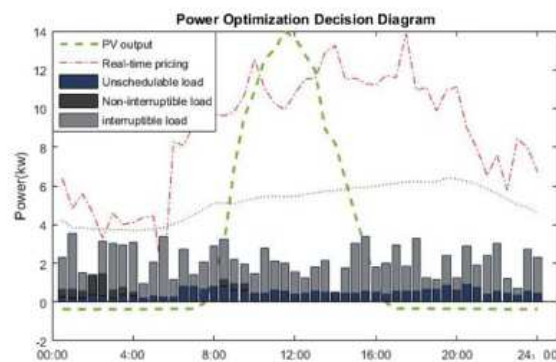
Table 2 Sensitivity analysis of various models

Case	PV	Battery	STG	Electric cost	CD, %
1	N	N	N	584.6568	—
2	Y	N	N	301.3263	48.46
3	Y	Y	N	276.9132	8.10
4	Y	N	Y	246.3951	11.02
5	Y	Y	Y	187.2734	—

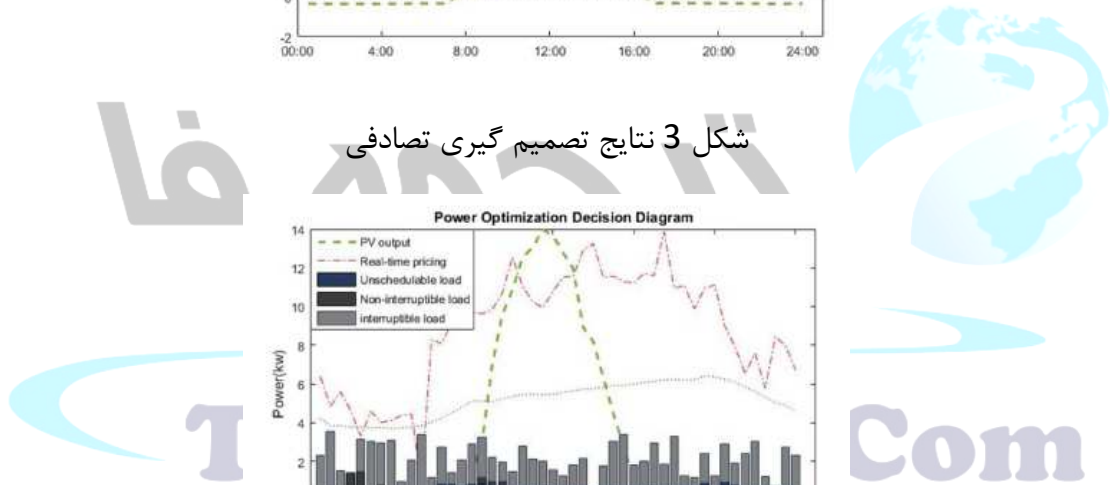
STG – sell electricity to the grid and CD – correlation degree.

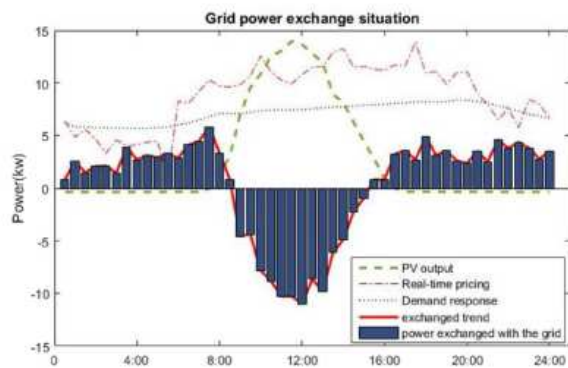


شکل 3 نتایج تصمیم گیری تصادفی

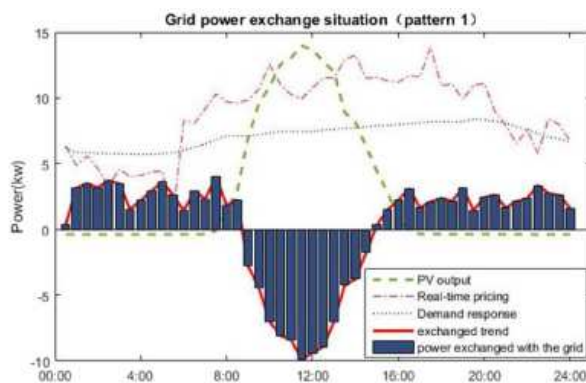


شکل 4 نتایج بهینه سازی الگوریتم

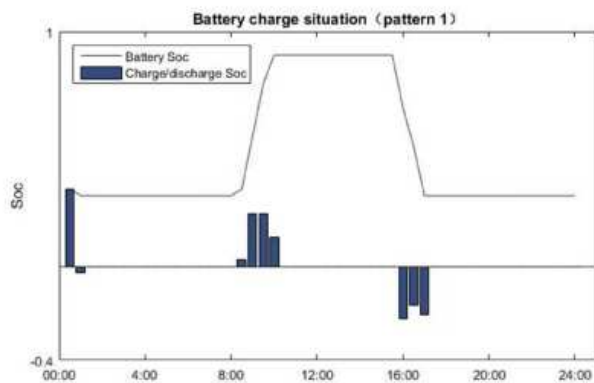




شکل 5 مبادله برق بین HEMS و شبکه



شکل 6 مبادله برق بین HEMS و شبکه در الگوی 1



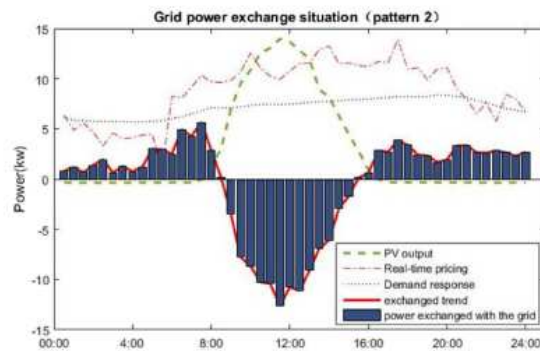
شکل 7 باطری SOC در الگوی 1

Table 3 CPU time comparison between different algorithms

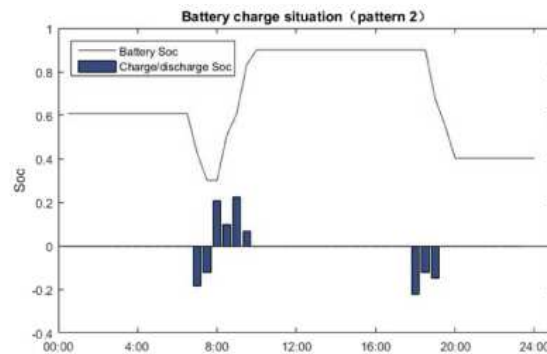
Algorithm	CPU time, s
PSO [15]	18.58
BPSO [21]	39.28
MCIP-GA	12.70

محاسبه دقت هزینه به شرح زیر است:

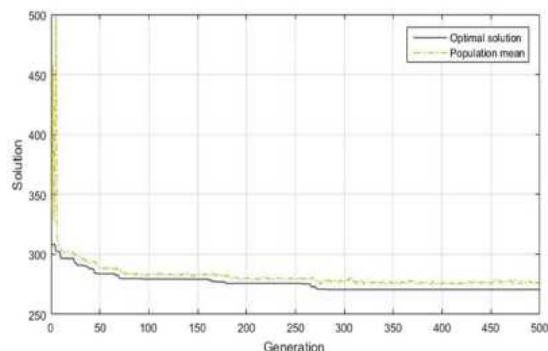
$$\zeta_{\text{cost}} = \frac{\text{COST}_{\text{robust}} - \text{COST}_{\text{MCIP-GA}}}{\text{COST}_{\text{robust}}} \quad (32)$$



شکل 8 مبادله برق بین HEMS و شبکه در الگوی II



شکل 9 باتری SOC در الگوی II



شکل 10 تغییر محلول بهینه و میانگین جمعیت

Table 4 Algorithm comparison

Algorithm	Convergence algebra	StdDev, %
BPSO	300	8.63
DSDE	600	17.6
BKMTOA	750	6.28
DSPSO	950	16.44
DSKMTA	890	49.26
MCIP-GA	70	6.38

StdDev – standard deviation of best values.

که ζ_{cost} دقت هزینه بین بهینه سازی قوی و بهینه سازی MCIP-GA، costrobust، MCIP-GA، هزینه های بهینه سازی قوی و بهینه سازی MCIP-GA است.

4-5 تحلیل حساسیت

برای بررسی بیشتر تأثیر عوامل مختلف بر صرفه جویی در هزینه، ما تجزیه و تحلیل حساسیت در مورد DR، اندازه باتری، و قیمت برق را به شبکه می فروشیم.

نتایج شبیه سازی در جدول 6 نشان داده شده است. اول، با کاهش DR، هزینه برق کاربر افزایش می یابد. وقتی DR < 5، هزینه برق به 403.1536 سنت افزایش می یابد. بنابراین، اجرای برنامه در یک حد بسیار کم قدرت، دشوار است. با این حال، زمانی که DR = 8، DR تقریباً نمی تواند رفتار کاربر را هدایت کند، بنابراین DR = 7 مناسب تر است. دوم، افزایش ظرفیت باتری نیز برای کاهش هزینه برق مفید است. بنابراین، برای کاربران، باتری های ظرفیت

باتری را تا آنجا که ممکن است، ارزان تر می کند. گرچه هزینه سرمایه گذاری در مراحل اولیه بزرگ است، بازه بلندمدت واضح است.

از جدول 7 می توانیم ببینیم که قیمت برق برای شبکه به فروش می رسد (Pr) نقش تعیین کننده ای ایفا می کند. Pr در موارد 1 و 2 مربوط به RTP است. مزیت این دو حالت این است که کاربر می تواند برق را به شبکه با قیمت بالا به فروش برساند. از آنجا که RTP بالا همیشه به معنی پیک بار است، در این زمان برق بیشتر در شبکه مورد نیاز است. در صورتی که کاربران در این دوره به فروش برق بپردازند، به نفع کاربر و شبکه خواهد بود (برای کاهش فشار بار). در حالی که RTP پایین همیشه به معنی بار بار است. هنگامی که پر کم است، کاربر مزایای کمی را به ارمغان می آورد، که باعث می شود کاربر برای پیدا کردن راه دیگری برای کسب ارزش بیشتر اقتصادی. با مقایسه موارد 1 و 2، هرچه پر بالاتر باشد، بیشتر HEMS قدرت را به شبکه می فرستد و مزایای بیشتری خواهد بود. پایین تر Pr، HEMS بیشتر از ابتدا باتری را استفاده می کند. قیمت ثابت از موارد 3 تا 6. ما می توانیم ببینیم که با کاهش Pr، فرکانس مصرف باتری به ترتیب افزایش می یابد. در ضمن، می تواند قدرت ارسال شده به شبکه را کاهش دهد و هزینه های کاربر را افزایش دهد.

6. نتیجه گیری

در این مقاله، یک مدل HEMS با هدف کاهش هزینه برق و به حداکثر رساندن استفاده از انرژی های تجدید پذیر پیشنهاد شده است. MCIP-GA جدید بهبود یافته با توجه به ترکیبات GA و روش MCIP برای طراحی استراتژی برنامه ریزی طراحی شده است. اپراتور آغازگر، اپراتور تعمیر و نرخ جهش پویا در الگوریتم بهبود یافته طراحی شده است تا اجتناب از معایبی که به راحتی در یک بهینه محلی قرار می گیرند و به راه حل های اولیه حساس هستند. از نتایج نمونه استفاده شده، می توان موارد زیر را مشاهده کرد: (1) وجود انرژی تجدید پذیر نقش مهمی در صرفه جویی در هزینه برق دارد (ii). روش پیشنهادی در صرفه جویی در هزینه و کاهش ضایعات انرژی قابل توجه است. MCIP-GA (iii) می تواند یک راه حل را با راندمان بالا تولید کند و دارای قدرت خوبی در اختلال خطای پیش بینی است که می تواند یک مرجع برای مشکلات بهینه سازی مشابه ارائه دهد (iv). باتری تخلیه می شود تنها زمانی

که سیستم نیاز به انرژی شدید، که ارزان تر است (v) برای کاربران، باتری های با ظرفیت باتری را تا حد ممکن مقرون به صرفه تر کند. گرچه هزینه سرمایه گذاری در مراحل اولیه بزرگ است، بازده بلندمدت واضح است (vi). پویا پری برای هر دو کاربر و شبکه سودمند است، که می تواند یک مرجع برای شرکت قدرت باشد.

8 References

- [1] Sarker, M.R., Ortega-Vazquez, M.A., Kirschen, D.S.: 'Optimal coordination and scheduling of demand response via monetary incentives', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2015, **6**, (3), pp. 1341–1352
- [2] Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H., Rahimi-Kian, A.: 'Cost-effective and comfort-aware residential energy management under different pricing schemes and weather conditions', *Energy Build.*, 2015, **86**, pp. 782–793
- [3] Huang, Y., Tian, H., Wang, L.: 'Demand response for home energy management system', *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 2015, **73**, pp. 448–455
- [4] Jinghao, L., Rong, H., Renfa, L., *et al.*: 'Optimal scheduling model for home energy management system based on real-time electricity pricing', *Comput. Appl. Res.*, 2015, **32**, (1), pp. 132–137
- [5] Yi, L., Li, S., Fan, C., *et al.*: 'Multi-objective kinetic-molecular theory optimization algorithm with application to automatic demand response'. 2015 5th Int. Conf. Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Changsha, 2015, pp. 2465–2470
- [6] Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S.: 'An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2012, **3**, (4), pp. 2166–2173
- [7] Ranjan, S., Thomas, M.S.: 'An efficient home energy management algorithm for demand response analysis in Indian scenario'. IEEE India Conf., 2015, pp. 1–6
- [8] Paterakis, N.G., Pappi, I.N., Catalao, J.P.S., *et al.*: 'Optimal operation of smart houses by a real-time rolling horizon algorithm'. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2016, pp. 1–5
- [9] Pertkiewicz, M., Majewska, K., Lawinski, M., *et al.*: 'Score-based intelligent home energy management (HEM) algorithm for demand response applications and impact of HEM operation on customer comfort', *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2015, **9**, (7), pp. 627–635
- [10] Chen, Z., Wu, L., Fu, Y.: 'Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2012, **3**, (4), pp. 1822–1831
- [11] Erdinc, O., Paterakis, N.G., Mendes, T.D.P., *et al.*: 'Smart household operation considering Bi-directional EV and ESS utilization by real-time pricing-based DR', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2015, **6**, (3), pp. 1281–1291
- [12] Huang, G., Junjie, Y., Chunjuan, W.: 'Cost-Effective and comfort-aware electricity scheduling for home energy management system'. IEEE Int. Conf. Big Data and Cloud Computing, 2016, pp. 453–460
- [13] Rehman, N.U., Rahim, H., Ahmad, A., *et al.*: 'Heuristic algorithm based energy management system in smart grid'. IEEE Int. Conf. Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, 2016, pp. 396–402
- [14] Lijun, G., Yi, W., Zhigang, L., *et al.*: 'A novel model for home energy management system based on internet of things'. 2016 IEEE Int. Conf. Power and Renewable Energy (ICPRE), Shanghai, 2016, pp. 474–480
- [15] Basit, A., Sidhu, G.A.S., Mahmood, A., *et al.*: 'Efficient and autonomous energy management techniques for the future smart homes', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2017, **8**, (2), pp. 917–926
- [16] Liao, J., Yang, H.: 'Novel electron drifting algorithm based BESS scheduling in home energy management system'. IECON 2016 - 42nd Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society, 2016, pp. 3996–4001
- [17] Javaid, S., Javaid, N., Javaid, M.S., *et al.*: 'Optimal scheduling in smart homes with energy storage using appliances' super-clustering'. IEEE Int. Conf. Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, 2016, pp. 342–348
- [18] Pourmousavi, S.A., Patrick, S.N., Nehrir, M.H.: 'Real-time demand response through aggregate electric water heaters for load shifting and balancing wind generation', *IEEE Trans. Smart Grid*, 2014, **5**, (2), pp. 769–778
- [19] 'AMEO', [http://www.aemo.com.au/Electricity/Data/Price-and-Demand/Aggregated-Price-and-Demand-2013-to-2017](http://www.aemo.com.au/Electricity/Data/Price-and-Demand/Aggregated-Price-and-Demand-Data-Files/Aggregated-Price-and-Demand-2013-to-2017), accessed 5 March 2017
- [20] 'GoSolarCalifornia', https://www.californiasolarstatistics.ca.gov/data_downloads/, accessed 5 March 2017
- [21] Saber, A.Y., Venayagamoorthy, G.K.: 'Intelligent unit commitment with vehicle-to-grid – a cost-emission optimization', *J. Power Sources*, 2010, **195**, (3), pp. 898–911