



طراحی و ساخت سیستم مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی

ابوذر غفاری^۱، حسن جلیلی^۲، محمد حسین جاویدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مخابراتیک، دانشگاه تبریز، abozar.gh@gmail.com
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، hm.jalili@rtm-mail.um.ac.ir
^۳ استاد گروه برق - قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، hfajrifi@ferdosi.um.ac.ir

واژه‌های کلیدی: الگوی مصرف، لوازم خانگی، پردازش سیگنال دیجیتال، امضا بردارهای ماشین پشتیبان

چکیده

مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی (Non Invasive Appliance Load Monitoring)، روشی است که در آن با پردازش سیگنال ولتاژ و جریان در محل منبع تغذیه و تحلیل آن‌ها و با توجه به اینکه هر دسته از وسایل برقی معمولاً دارای یک الگوی مصرف خاص می‌باشد (برای مثال دسته‌ی جاروبرقی‌ها، اتوها و...)، نوع وسیله برقی، زمان روشن شدن، زمان خاموش شدن، نحوه‌ی مصرف و الگوی مصرف وسایل برقی، قابل تعیین می‌باشد. در این مقاله طرحی معرفی می‌گردد که به کمک یک پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال (DSP) ساخته شده است و با استفاده از روش‌های معمول پردازش سیگنال و تصویب روش‌های طبقه‌بندی هوشمند می‌تواند وسایل برقی متصل به برق را شناسایی نماید. در این طرح، برای تشخیص نوع وسیله‌ی برقی از روش تشخیص الگو مبتنی بر بردارهای ماشین استفاده شده است.

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| محمد رضا فراهانی | محمد رضا فراهانی |
| امیر فرهادی | سجاد سعیدی |
| علی قاسمی نژاد | محمدابراهیم سربندی فراهانی |
| گورگ قره‌پنجان | رحیم سلیمان‌آذر |
| محمدرضا قهارپور | امیر سهرابی کاشانی |
| غلامرضا کیریایی طبری | شاه‌ساز |
| حسن لاجوردی | امیر شریف یزدی |
| رضا متقیان | شریفی |
| مژده زاده | محمدعلی شفیق زاده |
| نسرین محبت | محمد رضا صحتی |
| اسماعیل محسنی کبیر | سیدمجتبی صدوقی |
| هادی مدق | مهلی صلائی ناری |
| بهمن مسعودی | رضا صمدی |
| مهرداد معتدی | مهرداد صمدی |
| سیداعتماد مقیمی | محمدجواد طاهری قره‌گزلو |
| وهاب مکاری زاده | علی عازقی |
| حسن مضمف | عباس عباسی |
| سعید مهنب ترابی | سیدحسین عبدالخالق زاده |
| کیان نجف‌زاده | مجید عمیدپور |
| محمد رضا نقاشان | پرویز غیاث‌الدین |
| محمد هاشمی | منصور غیاث‌الدین |
| اکبر یارطلب | امیرفرشاد فتحی |
| | محمود فتوحی فیروزآباد |

طراحی و ساخت سیستم مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی

ابوذر غفاری^۱ حسن جلیلی^۲ محمد حسین جاویدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک، دانشگاه تبریز، ghafari@ieee.org

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، ha_ja961@stu-mail.um.ac.ir

۳- استاد گروه برق- قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

واژه‌های کلیدی: الگوی مصرف، لوازم خانگی، پردازش سیگنال دیجیتال، امضا، بردارهای ماشین پشتیبان

چکیده

نداشته باشند. از طرفی بخش عمده‌ای از مصرف نیز غیر صنعتی می‌باشد.

اصلاح الگوی مصرف از مهمترین اقدامات در جهت بهره‌وری بیشتر می‌باشد. از طرفی اولین گام برای اصلاح الگوی مصرف برق، یافتن الگوی مصرف مشترکین برق در مناطق مختلف کشور است. به کمک مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی (NIALM) می‌توان، با هزینه‌ی کم و دقت بسیار بالا، الگوی مصرف مشترکین برق را استخراج نمود و در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان صنعت برق قرار داد. سپس، باید با روش‌های علمی به بررسی این الگوی مصرف پرداخت و روش‌هایی برای اصلاح آن با توجه به نیازها ارائه نمود. در این راستا سیستم مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی برای اولین بار در ایران طراحی و ساخته شد. سیستم ساخته شده برای تعدادی از مصرف‌کننده‌های متعارف در کشور آزمایش و کارایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که دستگاه ساخته شده از کارایی بهتری نسبت به مشابه خارجی برخوردار می‌باشد. به کمک دستگاه مذکور می‌توان از وضعیت روشن و خاموش بودن

مانیتورینگ نامحسوس مصرف لوازم خانگی (Non Intrusive Appliance Load Monitoring) روشی است که در آن با پردازش سیگنال ولتاژ و جریان در محل منبع تغذیه و تحلیل آنها و با توجه به اینکه هر دسته از وسایل برقی معمولاً دارای یک الگوی مصرف خاص می‌باشد (برای مثال دسته‌ی جاروبرقی‌ها، اتوها و...)، نوع وسیله‌ی برقی، زمان روشن شدن، زمان خاموش شدن، نحوه‌ی مصرف و الگوی مصرف وسایل برقی، قابل تعیین می‌باشد.

در این مقاله طرحی معرفی می‌گردد که به کمک یک پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال (DSP) ساخته شده است و با استفاده از روش‌های معمول پردازش سیگنال و تصویر و روش‌های طبقه‌بندی هوشمند می‌تواند وسایل برقی متصل به برق را شناسایی نماید. در این طرح، برای تشخیص نوع وسیله‌ی برقی از روش تشخیص الگو مبتنی بر بردارهای ماشین استفاده شده است.

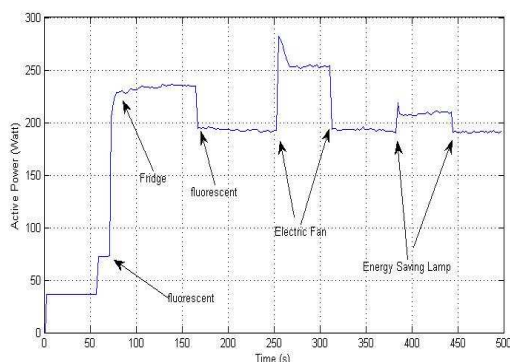
۱- مقدمه

در کشور ایران، یارانه‌ای بودن برق سبب گردیده است قیمت‌ها آنقدر کم باشد که افراد تمایلی برای مدیریت مصرف

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

طراحی گردید. در سال‌های بعد فرانسه و فنلاند نیز نمونه‌هایی از این سیستم را پیاده‌سازی کردند. تحقیقات در این زمینه همچنان ادامه دارد [2].

از این پس به جای "مانیتورینگ نامحسوس بار لوازم خانگی"، از مخفف NIALM استفاده خواهیم نمود. برای درک اینکه یک سیستم NIALM چگونه کار می‌کند، شکل (۱) را در نظر بگیرید. این شکل نمودار مصرف توان اکتیو یک خانه را در طول ۵۰۰ ثانیه نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است چهار نوع پله یا تغییر مصرف با اندازه‌های متفاوت در طول این ۵۰۰ ثانیه به وجود آمده‌اند. یک نوع از این تغییر مصرف‌ها مربوط به روشن شدن لامپ فلئورسنت، یک نوع مربوط به یخچال، یک نوع از آنها مربوط به لامپ کم‌مصرف و دیگری مربوط به پنکه است.



شکل ۱: نمودار مصرف توان اکتیو یک مشترک معمولی در مدت ۵۰۰ ثانیه

انواع NIALM از لحاظ میزان دخالت

در NIALM دو روش متمایز برای تنظیم وجود دارد [2].

این دو روش عبارتند از:

- تنظیم دستی
- تنظیم خودکار

تنظیم دستی:

این روش مستلزم ورود به منزل مشترک و بررسی تک تک وسایل برقی حائز اهمیت در منزل وی است، به عبارت دیگر باید دستگاه را به تک تک وسایل برقی موجود در منزل متصل نموده و الگوی مصرف یا امضای هر یک را به صورت جداگانه

تجهیزات خانگی و تعداد آنها اطلاع حاصل نموده و میزان مصرف آنها و نحوه مدیریت آن را پیش‌بینی کرد.

تعریف سیستم مانتورینگ نامحسوس بار لوازم خانگی

سیستم مانتورینگ نامحسوس بار، سیستمی است که در آن، با تجزیه و تحلیل جریان و ولتاژ در محل منبع تغذیه، بارهایی که به منبع متصل هستند شناسایی می‌شوند. برای مثال تصور کنید که چنین سیستمی در ورودی برق یک ساختمان نصب گردد، این سیستم قادر خواهد بود که روشن و خاموش شدن هر یک از وسایل برقی و نوع وسیله‌ی برقی را تشخیص داده و مشخص کند که هر کدام از این لوازم خانگی چه لحظه‌ای روشن شده، چه لحظه‌ای خاموش شده، در این مدت چه مقدار انرژی مصرف نموده و الگوی مصرف آن چگونه بوده است. اینکه در اینجا از لغت نامحسوس استفاده شده است، به این علت می‌باشد که در روش‌های معمول برای بدست آوردن اطلاعات مربوط به زمان روشن و خاموش شدن و الگوی مصرف، مجبور هستیم به داخل منزل مشترک رفته و بر روی هر یک از لوازم خانگی، وسیله‌ای برای اندازه‌گیری قرار دهیم که روشن و خاموش شدن آنها را تشخیص دهد. این عمل به معنای محسوس بودن این روش است. روش نامحسوس در برابر این روش قرار می‌گیرد و نیازی به ورود به منزل مشترک را ندارد.

مانیتورینگ نامحسوس بار لوازم خانگی در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ توسط دکتر Ed Kern، George W. Hart و Fred Schweppe در دانشگاه MIT ابداع و با سرمایه‌گذاری موسسه‌ی تحقیقات برق قدرت آمریکا مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت [1]. این ایده اولین بار توسط دکتر George W. Hart در حالیکه مشغول جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مربوط به یک سیستم فوتوولتاییک خانگی بود مطرح گردید. او مصرف انرژی چند خانه را در بازه‌های زمانی ۵ ثانیه‌ای ضبط نمود و متوجه شد که می‌توان از روی منحنی مصرف، نوع وسیله‌ی برقی که روشن یا خاموش شده است را تشخیص داد. ۲ نمونه‌ی اولیه از این سیستم در سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

$$a_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{if appliance } i \text{ is on at } t. \\ 0, & \text{if appliance } i \text{ is off at } t \end{cases} \quad (1)$$

برای $i = 1, \dots, n$ فرض کنید S_i توان مصرفی وسیله‌ی i ام باشد. برای منازل که معمولاً "برق تکفاز دارند S_i یک بردار مختلط است که بخش حقیقی آن، توان اکتیو و بخش موهومی آن، توان راکتیو وسیله را نشان می‌دهند. برای وسایلی که توان راکتیو مصرف نمی‌کنند، بخش دوم این بردار صفر است. با این فرض‌ها می‌توان کل برق مصرفی یک منزل را به صورت زیر مدل کرد

$$S(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) S_i + e(t) \quad (2)$$

که $S(t)$ توان ظاهری است که در محل کنتور دیده می‌شود و $e(t)$ جمله‌ی مربوط به خطا یا نویز است.

این معادله، مدل سراسری برای تخمین وضعیت لوازم برقی ارائه می‌دهد. اگر تمام S_i ها شناخته شده باشند و $S(t)$ نیز داده شده باشد، انتخاب بردار $a(t)$ به گونه‌ای که $|e(t)|$ را کمینه نماید، بهترین تخمین خواهد بود که یک مسئله‌ی بهینه-سازی با پاسخ زیر می باشد:

$$\hat{a}(t) = \arg_a \min \left| S(t) - \sum_{i=1}^n a_i S_i \right| \quad (3)$$

اینچنین مسئله‌ای یک مسئله‌ی NP کامل است. به عبارت دیگر، این مسئله از لحاظ محاسباتی بفرنج بوده و جز با تکنیک‌های بسیار پیچیده مگر در حالتیکه n به اندازه‌ی کافی کوچک باشد قابل حل نمی‌باشد.

در عمل از این مدل برای حل مسئله‌ی NIALM استفاده نمی‌شود و به روش‌های ساده‌تر اکتفا خواهیم نمود [2].

به دست آورده، آنها را در بانک داده‌ی سیستم ذخیره نمود و در مرحله‌ی بعد، سیستم را قبل از کنتور یا به عنوان کنتور متصل نموده تا سیستم وظیفه‌ی شناسایی روشن و خاموش شدن هر یک از وسایل برقی را به طور خودکار انجام دهد.

تنظیم خودکار:

در این روش، مجموعه‌ای از داده‌ها و امضاها هر یک از وسایل ممکن موجود در منزل مشترکین تهیه شده، و در سیستم ذخیره می‌شود (این مستلزم پیاده سازی روش اول و جمع آوری داده‌ها و تهیه‌ی یک بانک داده‌ی مطمئن و قوی است). در مرحله‌ی بعد سیستم در منزل مشترک نصب شده و کار تشخیص را با استفاده از داده‌های موجود در بانک داده‌ی خود انجام می‌دهد.

روش دوم پیچیده‌تر و بلند پروازانه‌تر است. از آنجا که، اولین باری است که چنین سیستمی در ایران طراحی و مورد بررسی قرار می‌گیرد، بانک داده‌ی مفیدی برای اجرای روش دوم موجود نمی‌باشد. سیستمی که در اینجا طراحی شده است، از نوع تنظیم دستی بوده و با توجه به این موضوع، اطلاعات مربوط به الگوی مصرف هر یک از وسایل برقی داخل منزل از پیش به سیستم داده شده است، بنابراین با توجه به دقت بالای اندازه‌گیری و محاسبات و الگوریتم‌های ارتقاء سیگنال، این سیستم برای لوازم برقی با مصرف پایین و متوسط در ۹۰ درصد موارد تشخیص صحیح می‌دهد اما برای وسایل برقی پرمصرف مانند اتوبه علت اینکه دارای الگوی مصرف کاملاً مشخص و برجسته‌ای هستند دقت تشخیص صحیح تا ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد.

با افزایش حجم داده‌های مربوط به الگوی مصرف و امضاها و وسایل برقی، روش دوم نیز در کشور قابل اجرا می‌گردد.

مدل مصرف کل:

فرض کنید n وسیله‌ی برقی در منزل موجود است. $a_i(t)$ وضعیت وسیله‌ی برقی i ام را در لحظه‌ی t نشان می‌دهد بطوریکه:

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

در مورد مدیای ارتباطی این سیستم نیز باید گفت که این سیستم فعلاً به صورت آفلاین عمل می‌نماید، بدین معنی که بعد از تشخیص الگوی مصرف، داده‌ها را به صورت یک فایل ذخیره می‌کند و برای انتقال اطلاعات به مرکز، بسته به شرایط از خط تلفن، GSM و یا GPRS می‌تواند استفاده می‌کند. بدین ترتیب که سیستم از طریق یک مودم داده‌ها را هر چند ساعت یک بار با استفاده از خط تلفن یا از طریق ارسال پیام کوتاه و یا از طریق شبکه‌ی جهانی به یک سرور منتقل می‌کند.

محاسبه‌ی کمیت‌های مورد نظر:

در این مرحله با استفاده از روابط معمول محاسبه‌ی توان اکتیو و راکتیو، این کمیات را به صورت لحظه‌ای محاسبه نموده و آنها را در یک آرایه پشت سر هم قرار می‌دهیم. برای کاهش حجم محاسبات، از کمیات محاسبه شده، با تناوب ۲ ثانیه‌ای نمونه‌گیری انجام گرفت. در نهایت آرایه‌ها یی خواهیم داشت که مقادیر آن، اندازه‌ی توان اکتیو و راکتیو برق منزل مورد بررسی در بازه‌های زمانی دو ثانیه‌ای است. لازم به ذکر است که فرکانس نمونه‌برداری از ولتاژ و جریان 10KHz است.

از مهمترین ویژگی‌های سیستم ساخته شده نسبت به نمونه‌های خارجی، بلادرنگ بودن آن است، بطوریکه حداکثر در مدت ۳۰ ثانیه پس از روشن یا خاموش شدن وسیله‌ی برقی، این سیستم متوجه آن می‌شود. بدین منظور، ۳۰ نمونه‌ی آخر یا به عبارتی ۶۰ ثانیه‌ی آخر توان اکتیو و راکتیو، جداگانه در یک آرایه‌ی دیگر قرار داده می‌شود تا برای تشخیص بلادرنگ اتفاقات به کار رود.

جمع‌آوری امضای لوازم برقی:
امضا (Signature):

در مقدمه عنوان کردیم که تشخیص نوع بار، با بررسی تغییراتی است که قطع و وصل وسایل برقی در کمیات مورد اندازه‌گیری می‌گذارند. به هر یک از این تغییرات (تقریباً) منحصر به فرد که مربوط به یک وسیله‌ی برقی خاص هستند، امضا گفته می‌شود [2]. به عبارت دیگر، هر امضا، الگوی

پیاپی سازی سیستم مانیتورینگ نامحسوس بار لوازم

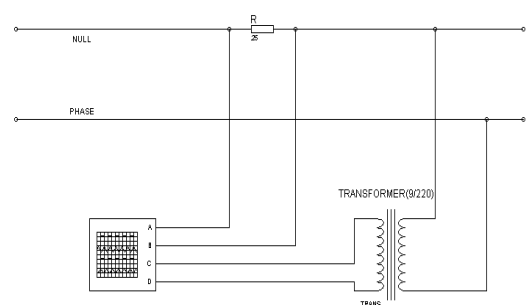
خانگی

این سیستم بایستی قادر به اندازه‌گیری ولتاژ و جریان لحظه‌ای برق مصرفی یک مشترک باشد و بتواند محاسبات و پردازش‌های لازم را بر روی این دو کمیت اعمال نماید. بنابراین باید شامل بخش‌های زیر باشد:

- بخش اندازه‌گیری و سیگنالینگ
- پردازنده
- بخش ارتباطات جانبی

بخش اندازه‌گیری و سیگنالینگ وظایفی نظیر اندازه‌گیری لحظه‌ای ولتاژ و جریان، تقویت سیگنال و انتقال مطمئن داده‌ها به پردازنده را به عهده دارد.

سخت‌افزار مهم این بخش را یک DSP تشکیل می‌دهد که دارای دو کانال برای اندازه‌گیری ولتاژ و تبدیل آن به داده‌های دیجیتال است، با قراردادن یک مقاومت در مسیر سیم نول در محل کنتور که کل جریان برگشتی مدار از آن عبور می‌کند، ولتاژی در دو سر مقاومت ایجاد می‌شود که آن را با کانال شماره‌ی یک DSP اندازه می‌گیریم. میزان جریان مصرفی وسیله‌ی برقی، از تقسیم این ولتاژ به اندازه‌ی مقاومت به دست می‌آید. ولتاژ برق شهر را نیز با متصل کردن کانال دیگر DSP به ثانویه‌ی یک ترانسفورمر اندازه‌گیری می‌کنیم. با استفاده از ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده، میزان توان اکتیو و راکتیو مصرفی وسیله‌ی برقی به دست می‌آید. نمای کلی این سیستم در شکل (۲) مشخص است.



شکل ۲: نمای کلی سیستم سخت افزار NIALM

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

آشکارسازی اتفاقها در یک سیگنال:

هر تغییر پله‌ای در سیگنال توان اکتیو را که اندازه‌ی آن از یک مقدار آستانه بیشتر و نشان دهنده‌ی یک تغییر در وضعیت یکی از لوازم برقی باشد را یک اتفاق (event) می‌نامیم [1]. آشکارسازی اتفاق، مهمترین عمل پیش از تشخیص آن اتفاق است. هر چه آشکارسازی بهتر انجام گیرد، کیفیت، صحت و دقت تشخیص نیز بهتر خواهد بود. پس توسعه‌ی یک الگوریتم مناسب برای این کار بسیار حیاتی است.

۳-۱- اصل توالی سویچها:

اصل توالی سویچها (switch continuity principle) به عنوان یک اصل یا پیش فرض بسیار مهم، در این پروژه در نظر گرفته شده است. این اصل بیان می‌کند که تعداد اتفاقها یا روشن و خاموش شدن‌های وسایل برقی در یک بازه‌ی زمانی کوتاه، عدد بسیار کوچکی خواهد بود. به عبارت دیگر، بین هر دو اتفاق معمولاً "یک بازه‌ی زمانی مشخص (در اینجا ۳۰ ثانیه) وجود دارد [2]. آشکارسازی اتفاقها در این سیستم با الگوریتم زیر صورت گرفت:

- ۱- جداکردن ۶۰ ثانیه یا ۳۰ نمونه‌ی آخراندازه‌گیری (توان اکتیو و راکتیو)، به عنوان ورودی به الگوریتم آشکارساز.
- ۲- ارتقاء سیگنال ورودی به الگوریتم - سیگنال بدست آمده در لحظات روشن و خاموش شدن دارای جهش-ها، تغییرات شدید و گذرایی‌هایی است که برای استفاده از امضاهای حالت پایدار باید به نحوی این ضربه‌ها و تغییرات آنی از سیگنال مورد بررسی حذف شوند. از این گذشته توان مصرفی به طور کل دارای نوسانات شدیدی در حدود ۱۰ تا ۱۵ وات است که منشا این نوسانات بیشتر لوازم الکترونیکی مثل تلویزیون و بعضاً "یخچال می‌باشد. این نوسانات گهگاه مانند یک اتفاق در سیگنال ظاهر می‌شوند و باعث خطا در تشخیص می‌گردند لذا پیش از آشکارسازی باید سیگنال توان اکتیو و راکتیو را ارتقاء دهیم.

مصرفی است که منحصر به یک وسیله‌ی برقی خاص می‌شود و با دیدن آن می‌توان به نوع بار پی برد.

امضاها را می‌توان در دو رده دسته‌بندی کرد:

- امضاهای حالت دائمی یا پایدار

- امضاهای حالت گذرا

• امضاهای حالت دائمی :

حالت دائمی را لحظاتی می‌نامیم که تغییرات کمیات مورد اندازه‌گیری، از یک سطح آستانه پایتتر می‌باشند. اختلاف سطح دو حالت دائمی را امضای حالت دائم و وسیله‌ی برقی می‌نامیم.

• امضاهای حالت گذرا :

حالت گذرا لحظات کوتاهی هستند که در بین حالات دائمی قرار می‌گیرند و در طی این لحظات، اندازه‌ی کمیت-های مورد اندازه‌گیری دچار تغییرات نسبتاً شدیدی می‌شود. بعد از ساخت سخت‌افزار و نرم‌افزار اولیه، باید اقدام به جمع‌آوری امضای لوازم برقی نموده، آنها را در یک بانک داده مرتب نماییم. جمع‌آوری امضاهای لوازم برقی در دو منزل با لوازم خانگی معمولی، یکی در شهر مشهد و دیگری در شهر چناران صورت گرفت. در جمع‌آوری امضاها سعی گردید که لوازمی مورد بررسی قرار گیرند که کاربرد آنها در یک خانواده‌ی ایرانی، معمول می‌باشد [2].

نحوه‌ی امضاگیری:

امضاگیری به این صورت انجام می‌گیرد که هر یک از لوازم برقی را به سخت‌افزار اندازه‌گیری متصل نموده و وسیله‌ی برقی را روشن می‌نماییم و بعد از اینکه وسیله‌ی برقی به حالت کار پایدار خود رسید (مثلاً در مورد پنکه، زمانی که به سرعت پایدار خود رسید)، وسیله‌ی برقی را خاموش نموده و اطلاعات را ذخیره می‌نماییم. بدینوسیله الگوی مصرف تجهیز مورد مطالعه را در زمان روشن و خاموش شدنش به دست می‌آوریم.

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

از ۱۳/۵ وات (حداقل توانی که یک وسیله‌ی برقی معمولی برای مثال لامپ کم‌مصرف، مصرف می‌کند) بیشتر باشد آن را به عنوان یک اتفاق تشخیص می‌دهد. در لحظه‌ی تشخیص اتفاق، میزان تغییرات توان راکتیو نیز به همین صورت محاسبه می‌شود.

- ۴- صف کردن اتفاق‌ها در یک آرایه - در این آرایه کمیت‌های زیر ثبت می‌شوند:
 - محل اتفاق
 - اندازه‌ی اتفاق یا dP
 - اندازه‌ی dQ یا مشتق سیگنال توان راکتیو در محل آشکارسازی شده.

تشخیص اتفاق‌ها:

بعد از آشکارسازی اتفاق‌ها و صف کردن آنها، در یک آرایه نوبت به تشخیص آنها می‌رسد. عمل تشخیص بر روی آخرین عنصر این صف، صورت گرفته و نتیجه‌ی آن در آرایه‌ای دیگر ثبت خواهد شد.

- تشخیص با استفاده از بردارهای ماشین پشتیبان:

۱- انتخاب خصیصه‌های مناسب:

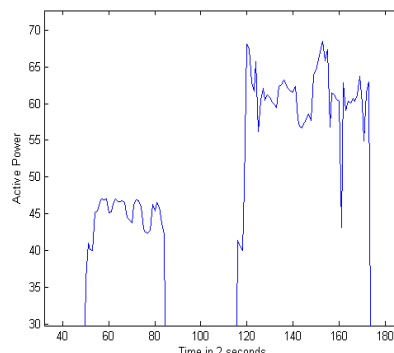
اولین گام برای استفاده از بردارهای ماشین پشتیبان (SVM)، انتخاب بهترین خصیصه‌های موجود در یک مجموعه داده برای طبقه‌بندی آنها است [3]، در اینجا امضاهای وسایل برقی به عنوان خصیصه جهت طبقه‌بندی وسایل برقی در نظر گرفته شد.

امضاهای مربوط به تعدادی از وسایل برقی منزل مجریان طرح در جدول (۱) آمده است. این امضاها بنا به نتیجه‌ی آزمایشات بهترین امضاها برای تشخیص این وسایل برقی است.

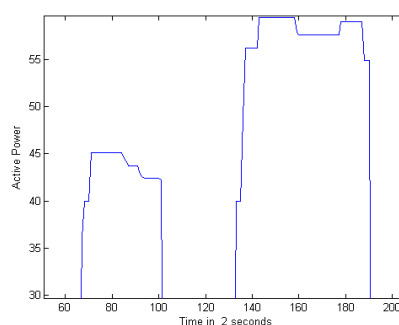
در شکل (۵) می‌توانید نحوه‌ی پخش هر یک از این وسایل برقی را در فضای دو بعدی خصیصه‌ها مشاهده کنید. برای هر یک از وسایل برقی ۱۰ نمونه در شرایط مختلف اندازه‌گیری بدست آمد،

در سیستم ارائه شده، از دو عمل پردازش تصویری "کاهش" و "افزایش" برای ارتقاء سیگنال‌ها استفاده گردید. این دو عمل به ترتیب یک فیلتر کمینه‌گیر و یک فیلتر بیشینه‌گیر می‌باشند.

شکل (۳) سیگنال توان مصرفی یک تلویزیون را در مدت ۴۰۰ ثانیه یا ۲۰۰ نمونه نشان می‌دهد. همانطور که می‌بینید، این سیگنال مملو از نوساناتی است که خاصیت بارمصرفی یک تلویزیون می‌باشد. در شکل (۴) ارتقاء یافته‌ی همین سیگنال با استفاده از سه بار عمل سایش و سه بار عمل افزایش مشاهده می‌شود. بطوریکه سیگنال بسیار صافتر شده است و بسیاری از نوسانات حذف گردیده‌اند.



شکل ۳: سیگنال مصرف توان اکتیو یک تلویزیون



شکل (۴): سیگنال مصرف توان اکتیو یک تلویزیون که با سه بار عمل سایش و افزایش ارتقاء پیدا کرده است.

۳- عبور از یک آشکارساز - این آشکارساز در نمونه-ی ۱۳ ام از سیگنال ارتقاء یافته مشتق می‌گیرد، یعنی اختلاف نمونه ۱۳ ام و ۱۵ ام آن را محاسبه می‌کند، زمانی که این مقدار

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

۲- انتخاب نوع و پارامترهای کرنل

بعد از بدست آوردن بهترین خصیصه‌ها برای تعریف فضای کلاس‌ها، باید بهترین کرنل و پارامترهای مربوط به آن برای بهترین کلاسه‌بندی، تعیین شوند. بعد از چندین آزمون و خطا، در نهایت یک کرنل گوسی با مشخصات زیر انتخاب گردید [4]:

$$H(x, x') = \exp(-\gamma \|x - x'\|^2) \quad (4)$$

$$\gamma = 0.25$$

که در آن x' بردارهای خصیصه‌ی داده‌های آموزشی بوده و x نیز بردار خصیصه داده‌هایی است که قصد طبقه‌بندی آنها را داریم. γ نیز پارامتر کرنل گوسی است که در اینجا به روش آزمون و خطا برابر 0.25 قرار گرفت به نحوی که مناسب‌ترین طبقه‌بندی را از لحاظ میزان خطا در طبقه‌بندی ایجاد نمود.

- تعریف تابع تصمیم‌گیری

این مسئله، یک مسئله‌ی بردار ماشین پشتیبان چند کلاسه است. روشی که در اینجا برای کلاسه‌بندی این فضای ورودی انتخاب گردید، استفاده از روش One Against All می‌باشد. بدین صورت که در هر مرحله فضای ورودی به دو کلاس تقسیم شد و یک کلاس از سایر کلاس‌ها جدا گردیده و بقیه‌ی کلاس‌ها هم در یک گروه قرار می‌گیرند. سپس بردارهای ماشین پشتیبان برای هر یک محاسبه گردیده و در نهایت تابع تصمیم‌گیری زیر برای مرحله‌ی i ام که کلاس i ام را از بقیه جدا می‌کند، به دست می‌آید [4].

$$D_i(x) = \sum_{i \in S} \alpha_i y_i \exp(-\gamma \|x_i - x\|^2) + b_i \quad (5)$$

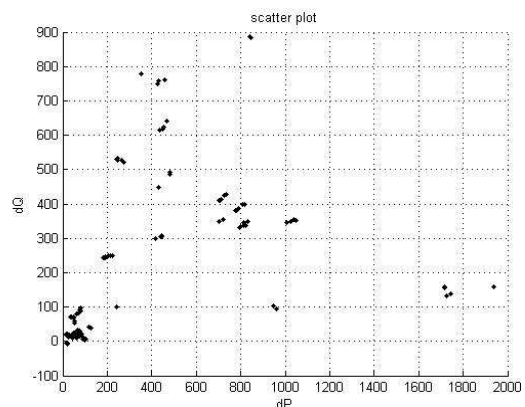
در این رابطه b_i مقدار بایاس و α_i ضرایب لاگرانژ هر بار حل مسئله است.

در نهایت برای هر ورودی x ، اگر تابع تصمیم‌گیری i ام بیشترین مقدار را به ازای این ورودی به ما بدهد، این ورودی به کلاس i ام تعلق خواهد داشت.

$$\arg_{i=1, \dots, n} \max D_i(x) \quad (6)$$

جدول ۱: امضاهای وسایل برقی

نام و حالت مصرف وسیله برقی	dP (watt)	dQ (var)
لامپ ۱۰۰ وات	۹۵	۶/۵
لامپ کم مصرف ۱۸ وات	۱۹	۲۱
جاروبرقی - حالت اول - دور کند	۴۵۰	۶۲۰
جاروبرقی - حالت دوم - دور متوسط	۷۱۰	۴۱۵
جاروبرقی - حالت سوم - دور تند	۱۰۰۰	۳۵۰
پنکه - حالت اول - دور کند	۲۸	۱۷
پنکه - حالت دوم - دور تند	۶۰	۱۶
تلویزیون	۷۵	۹۰
یخچال	۲۱۲	۲۲۵
سشوار - حالت اول - کند و سرد	۸۰	۸۶
سشوار - حالت دوم - تند و داغ	۱۷۱۷	۱۵۸
اتو	۱۶۷۰	۲۲۵



شکل ۵: نحوه‌ی پخش وسایل برقی در صفحه‌ی خصایص، ۱۰ نمونه برای هر وسیله.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

می‌توان قیمت برق را برای هر وسیله‌ی برقی به صورت جدا اعمال نمود. برای مثال برای وسایل برقی پرمصرفی مثل اتو می‌توان برق را در ساعات اوج مصرف با قیمت بالاتری اعمال نمود.

- از آنجایی که این سیستم سیگنال‌های توان اکتیو و راکتیو را تحلیل می‌کند، می‌توان به کمک آن خرابی و خطا در نحوه‌ی کار وسایل برقی را تشخیص داد و قبل از رسیدن به مرحله‌ی بحرانی به صورت خودکار آنها را از مدار جدا نمود.

- در آمریکا اداره پلیس فدرال، از یک چنین سیستمی برای یافتن افرادی که در منزل اقدام به کشت ماده‌ی مخدر ماریجوانا می‌کنند، استفاده می‌کند. زیرا کشت خانگی این ماده‌ی مخدر، نیاز به استفاده از تعداد زیادی لامپ‌های فلورسنت دارد که الگوی مصرف خاصی دارند. با تشخیص این چنین الگوی مصرفی، پلیس به این موضوع پی می‌برد.

- می‌توان از این دستگاه به عنوان دزدگیر نیز استفاده نمود. اگر در طول شبانه روز، مثل زمان‌هایی که مشترک در منزل نیست وسیله‌ی برقی روشن شود که مشکوک باشد، می‌توان آن را تشخیص داد و اقدام لازم را به عمل آورد.
- این کنتور با ارائه‌ی الگوی مصرف هر مشترک برق به صورت بسیار دقیق، می‌تواند نقش زیادی در فرهنگ‌سازی برای مصرف بهینه‌ی برق ایفا نماید [4].

مراجع

- [1] Hannu, Pihala, "Non-intrusive appliance load monitoring system based on a modern kWh-meter", Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 356. 68 p. + app. 3 p.
- [2] W. HART, GEORGE, "Non-intrusive Appliance Load Monitoring", Proceedings of the IEEE, vol. 80, No 12, December, pp. 1870 – 1891, 1992.
- [3] R. Gunn, Steve, "Support Vector Machines for Classification and Regression", Technical

در نهایت سیستم با استفاده از روابط ذکر شده هر اتفاقی که در اثر ورود یک وسیله‌ی برقی به مدار در سیگنال توان اکتیو و راکتیو ایجاد می‌شود را به یک وسیله‌ی برقی نسبت می‌دهد.

نتایج

سیستم مانیتورینگ نامحسوس مصرف وسایل خانگی برای اولین بار در ایران ساخته شده است. اجرای این پروژه را می‌توان دستیابی به یک تکنولوژی جدید در صنعت برق کشور دانست. این تکنولوژی در سطح جهان نیز هنوز تا حدودی ناشناخته است.

- همان‌طور که ذکر شد، اولین گام برای اصلاح الگوی مصرف، یافتن الگوی مصرف کنندگان است. این طرح امکان یافتن الگوی مصرف را به صورت بسیار دقیق و با کمترین مشکل و هزینه و در کمترین زمان ممکن فراهم می‌آورد.

- می‌توان با این وسیله حتی میزان تماشای تلویزیون توسط مشترک برق و تعداد و نوع وسایل برقی مشترک و الگوی مصرف آنها را بدون ورود به منزل مشترک، با دقت خوبی بدست آورد و با بررسی‌های علمی روشی برای بهینه‌سازی و اصلاح الگوی مصرف برق مشترک ارائه نمود.

- یکی از اولین کاربردهای این سیستم امکان استفاده از آن در تحقیقات مربوط به بررسی بارها در یک شبکه‌ی برق است [2].

- امکان کنترل و نظارت شرکت برق بر نحوه‌ی مصرف : برای مثال شرکت برق، با بستن یک قرارداد و ارائه‌ی مشوق‌هایی، از مشترک می‌خواهد در ساعات اوج مصرف از اتو استفاده نکند. حال در صورت استفاده از اتو، شرکت برق از طریق این سیستم و کنتور مطلع شده و می‌تواند در آخر ماه مشترک را جریمه نماید.

- از آنجایی که این چنین سیستمی می‌تواند نوع وسیله‌ی برقی که در حال مصرف انرژی است را تشخیص دهد،

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

Report, UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON,
1998

- [4] Abe, Shigeo, “*Advances in Pattern Recognition - Support Vector Machines for Pattern Classification*” Series editor: Sameer Singh, London, Springer, 2005.

در نهایت تاکید می شود که این سخت افزار نه به عنوان یک سخت افزار کامل و آماده ی ارائه به صنعت و بازار، بلکه به عنوان ابزاری جهت آزمون یک تکنولوژی نوین و اولین قدم برای تحقیقات گسترده در این زمینه طراحی شده است. هر چند که هم اکنون نیز می توان آن را برای هر گونه کار تحقیقاتی مشابه به کار گرفت.