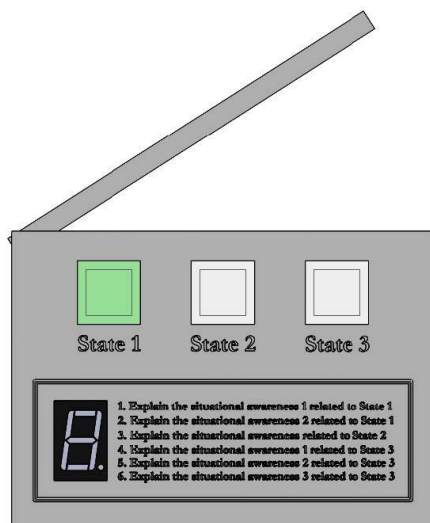


گازنامه انجمن علمی شبکه هوشمند انرژی ایران

شماره ۱۱ - بهمن ماه ۱۴۰۴

آنچه در این شماره می خوانیم:

- ❖ نقش و رفتار کاربر چگونه می تواند در سیاست مدیریت انرژی یک فضا وارد شود؟
- ❖ معماری نامتمرکز چه نقشی در توسعه سامانه های ساده و کم هزینه مدیریت انرژی دارد؟
- ❖ چگونه می توان مدیریت انرژی، وضع آگاهی و تعامل انسان و سامانه را در یک فضای کاری به هم پیوند داد؟
- ❖ نمونه های آزمایشگاهی و پژوهشی چه چشم اندازی برای ساختمان های هوشمند آینده ترسیم می کنند؟





صاحب امتیاز: انجمن شبکه هوشمند انرژی ایران

مدیر مسئول: دکتر علیرضا فریدونیان

تیم اجرایی نشریه: سعید کنش دوززاده - محمد اسلامی

❖ ساختمان هوشمند فقط ساختمانی نیست که تجهیزاتش را کنترل می‌کند.

در سال‌های اخیر، مفهوم مدیریت انرژی در ساختمان‌ها از کنترل مستقیم تجهیزات به سمت سامانه‌هایی حرکت کرده است که تلاش می‌کنند شرایط واقعی استفاده از فضا را درک کنند و تصمیم خود را با آن تطبیق دهند. روشن یا خاموش کردن یک تجهیز بر اساس زمان یا حتی تشخیص حضور یک فرد، به‌تنهایی یک مدیریت هوشمند محسوب نمی‌شود؛ پرسش اساسی‌تر این است که سامانه تا چه اندازه از وضعیت واقعی فضا، نوع استفاده از آن و نیاز کاربر اطلاع دارد.

این موضوع در ساختمان‌های اداری و دانشگاهی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. یک اتاق ممکن است در طول یک روز، چندین وضعیت متفاوت را تجربه کند. کاملاً خالی باشد، کاربری برای چند دقیقه وارد آن شود، مسئول اتاق در آن حضور داشته باشد، جلسه‌ای در جریان باشد یا فرد برای مدتی کوتاه از اتاق خارج شود. در چنین شرایطی، یک سیاست ثابت برای تمام تجهیزات نمی‌تواند همیشه بهترین تصمیم را ایجاد کند.

در نتیجه، مدیریت انرژی ساختمان به‌تدریج با مفاهیمی مانند تشخیص حضور، وضع‌آگاهی، تعامل انسان و سامانه، اینترنت اشیاء و معماری‌های نامتمرکز پیوند خورده است. هدف نهایی نیز تنها کاهش عدد مصرف نیست؛ بلکه ایجاد

فضایی است که انرژی را متناسب با نیاز واقعی مصرف کند و هم‌زمان، وضعیت خود را برای انسان قابل فهم و تفسیرپذیر نگه دارد.

❖ چرا کنترل زمان‌بندی‌شده کافی نیست؟

یکی از ساده‌ترین روش‌های مدیریت انرژی در ساختمان‌ها، تعیین برنامه زمانی است. تجهیزات در ساعات مشخص روشن و در پایان ساعات کاری خاموش می‌شوند. این روش ساده، کم‌هزینه و قابل اجراست، اما فرض می‌کند الگوی استفاده از فضا تقریباً ثابت است؛ در حالی که استفاده واقعی از یک محیط اداری یا آموزشی چنین ثباتی ندارد.

برای مثال، ممکن است یک اتاق در تمام طول یک بازه زمانی رسمی کاری در عمل خالی باشد. برعکس، ممکن است کاربر در زمانی خارج از برنامه معمول از فضا استفاده کند. کنترل دستی نیز اگرچه انعطاف‌پذیرتر است، اما اجرای برنامه‌های مدیریت انرژی را به رفتار مستمر کاربران وابسته می‌کند. خاموش نکردن تجهیزات به دلیل فراموشی یا بی‌توجهی، یکی از ساده‌ترین مسیرهای ایجاد اتلاف انرژی است.

از اینجا یک پرسش مهم شکل می‌گیرد. اینکه چگونه می‌توان وضعیت واقعی فضا را بدون افزایش بیش از حد هزینه و پیچیدگی به سیستم منتقل کرد؟

❖ نسل بعدی مدیریت انرژی: تشخیص حضور

راهکاری که در پاسخ به این پرسش توسعه پیدا کرد، استفاده از حسگرهای حضور بود. حسگرهای مادون قرمز، اولتراسونیک، رادار، داده‌های محیطی و سایر روش‌ها می‌توانند برای تشخیص یا تخمین حضور افراد به کار گرفته شوند. چنین سامانه‌هایی می‌توانند نسبت به برنامه‌های زمانی ثابت، خود را با شرایط واقعی‌تر تطبیق دهند و از روشن ماندن تجهیزات در زمان عدم استفاده جلوگیری کنند.

اما تشخیص حضور یک محدودیت بنیادی دارد، حضور یک متغیر ساده و دودویی نیست.

اگر یک حسگر اعلام کند که شخصی در اتاق حضور دارد، هنوز مشخص نیست آن شخص چه کسی است، با چه هدفی وارد اتاق شده، چه مدت باقی خواهد ماند و دقیقاً به کدام تجهیزات نیاز دارد. از دید انرژی، حضور مسئول اتاق، مراجع، نیروی خدماتی یا دانشجو لزوماً به یک سیاست یکسان منتهی نمی‌شود.

از این منظر، حتی یک سامانه بسیار دقیق در تشخیص حضور نیز ممکن است هنوز اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیری بهینه نداشته باشد.

❖ اما شاید مسئله اصلی، تشخیص نباشد.

در سال‌های اخیر، بخشی از ادبیات علمی به سمت مدل‌های پیچیده‌تر برای تخمین حضور حرکت کرده است؛ از حسگرهای ساده تا رادار، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و روش‌های مبتنی بر داده. برخی از این مطالعات دقت‌های بسیار بالایی در پیش‌بینی حضور گزارش کرده‌اند. اما افزایش دقت تشخیص، یک سؤال بنیادی را حل نمی‌کند. اینکه آیا سیستم واقعاً باید حضور را حدس بزند؟

اگر اطلاعاتی که برای تصمیم‌گیری لازم است مستقیماً و با هزینه کم از کاربر دریافت شود، بخشی از عدم قطعیت ناشی از استنتاج محیطی از بین می‌رود.

اینجاست که مفهوم اعلام وضعیت در کنار تشخیص حضور معنا پیدا می‌کند.

❖ از تشخیص به اعلام

در یک رویکرد اعلام‌محور، سیستم قرار نیست همه چیز را از روی نشانه‌های محیطی استنتاج کند. بخشی از اطلاعات، مانند نقش کاربر یا وضعیت عملکردی فضا، مستقیماً توسط کاربر اعلام می‌شود.

این دو رویکرد تفاوتی بنیادین دارند. در روش تشخیص، سیستم از داده‌های محیطی، احتمال می‌دهد فردی در

در یک سامانه وضع آگاه، اطلاعات فقط برای خود کنترلر تولید نمی‌شوند، بلکه باید به انسان نیز بازگردانده شوند. برای مثال، فردی که بیرون اتاق ایستاده است ممکن است فقط به دانستن وضعیت کلی اتاق نیاز داشته باشد، در حالی که کاربر داخل اتاق به اطلاعات دقیق‌تر و امکان تغییر وضعیت نیاز دارد.

از این منظر، وضع آگاهی حلقه‌ای میان محیط، سیستم و انسان ایجاد می‌کند.

❖ نقش کاربر، یک ورودی مهم

ورود مفهوم نقش کاربر، یک گام فراتر از تشخیص ساده حضور است. برای مدیریت انرژی، تفاوت میان اینکه چه کسی در اتاق حضور دارد با اینکه کسی در اتاق حضور داشته باشد یا خیر، می‌تواند بسیار مهم باشد. اگر فردی تنها برای دریافت یک خدمت یا مراجعه کوتاه‌مدت وارد اتاق شده باشد، فعال کردن تمام تجهیزات ممکن است منطقی نباشد. در مقابل، حضور کاربر اصلی اتاق می‌تواند نیازمند مجموعه متفاوتی از بارها باشد.

این موضوع، مفهوم سیاست انرژی وابسته به نقش را شکل می‌دهد؛ سیاستی که در آن وضعیت بارها تابعی از نقش کاربر و وضع عملکردی فضا است.

در چنین ساختاری، روشنایی، سرمایش و تجهیزات جانبی مانند پرینتر الزاماً به صورت یک بسته واحد کنترل نمی‌شوند. هر بار می‌تواند متناسب با نیاز واقعی فعال یا

اتاق حضور داشته باشد. اما در روش اعلام وضعیت، سیستم از وضعیت و نقش اعلامی کاربر استفاده می‌کند. در حالت دوم، خطای مثبت یا منفی کاذب ناشی از تشخیص حذف می‌شود؛ البته در عوض، مسئله دیگری به وجود می‌آید. کاربر ممکن است وضعیت خود را اعلام نکند. بنابراین، این رویکرد یک خطا را حذف نمی‌کند، بلکه نوع خطا را تغییر می‌دهد.

این تغییر نگاه، از آن جهت مهم است که نشان می‌دهد هوشمندسازی همیشه به معنای افزودن الگوریتم پیچیده‌تر نیست، گاهی می‌توان با تغییر نوع تعامل انسان و سامانه، مسئله را ساده‌تر کرد.

❖ وضع آگاهی؛ وقتی سیستم باید وضعیت خودش را نیز نشان دهد.

مدیریت انرژی زمانی برای کاربر قابل پذیرش‌تر خواهد بود که تصمیمات سیستم برای او قابل درک باشند. به همین دلیل، مفهوم وضع آگاهی اهمیت پیدا می‌کند.

وضع آگاهی به طور کلی به توانایی درک وضعیت جاری و ارائه اطلاعات معنادار درباره آن اشاره دارد. در محیط‌های کاری، این مفهوم می‌تواند به معنای اطلاع از وضعیت یک اتاق، وضعیت عملکردی آن، حضور یا نقش کاربر و شرایط تجهیزات باشد.

سپس فرمان کنترل به محل بازمی‌گردد. این ساختار می‌تواند برای ساختمان‌های بزرگ مفید باشد، اما در مقیاس یک اتاق، الزاماً ضروری نیست.

در طرف مقابل، در معماری نامتمرکز، یک گره محلی می‌تواند حسگرها، منطق تصمیم و عملگرهای مورد نیاز خود را در اختیار داشته باشد. در این حالت، تصمیم‌گیری در همان جایی انجام می‌شود که مسئله رخ می‌دهد.

مزیت چنین ساختاری فقط کاهش وابستگی به شبکه نیست. استقلال عملکردی، سادگی استقرار، کاهش نیاز به زیرساخت و امکان توسعه تدریجی از دیگر نتایجی است که این معماری می‌تواند به همراه داشته باشد. در معماری مورد بررسی، تمام حلقه تصمیم‌گیری در سطح اتاق بسته می‌شود و قطع شبکه به‌خودی‌خود موجب توقف عملکرد محلی سیستم نمی‌شود.

❖ آیا هوشمندی به معنای یادگیری ماشین است؟

یکی از برداشت‌های رایج از سیستم هوشمند، استفاده از الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشین است. اما همه مسائل کنترل انرژی به چنین رویکردی نیاز ندارند.

در محیط‌هایی که وضعیت‌ها، نقش‌ها و سیاست‌های مورد نظر قابل تعریف هستند، می‌توان از منطق‌های قطعی استفاده کرد. یک ماشین حالت متناهی می‌تواند وضعیت‌های مختلف فضا را تعریف و برای هر رویداد، رفتار مشخصی تعیین کند.

غیرفعال شود. همین تفکیک یکی از عوامل مهم افزایش ظرفیت صرفه‌جویی در مقایسه با روش‌هایی است که تمام بارها را هم‌زمان روشن یا خاموش می‌کنند.

❖ چرا تفکیک بارها اهمیت دارد؟

بسیاری از راهکارهای ساده مدیریت انرژی در یک فضای کاری، عملاً با یک منطق مشترک کار می‌کنند. فردی حاضر است، پس تجهیزات روشن باشند و یا کسی حضور ندارد، پس تجهیزات خاموش شوند.

اما تجهیزات مختلف، رفتار و نیاز یکسانی ندارند. روشنایی ممکن است تقریباً بلافاصله با حضور کاربر مورد نیاز باشد. اما پرینتر ممکن است فقط در بخش کوچکی از زمان استفاده شود. سیستم سرمایشی نیز می‌تواند سهم بسیار بیشتری از انرژی را مصرف کند و در عین حال برای برخی نقش‌ها ضرورتی نداشته باشد. بنابراین، هرچه کنترل از سطح کل اتاق به سطح بارهای مستقل نزدیک‌تر شود، ظرفیت بیشتری برای تطبیق مصرف با نیاز واقعی ایجاد می‌شود.

❖ معماری نامتمرکز

یکی دیگر از روندهای مهم در سامانه‌های جدید، حرکت از معماری کاملاً متمرکز به سمت معماری نامتمرکز است.

در معماری متمرکز، داده‌ها معمولاً به یک سرور یا سامانه مرکزی ارسال می‌شوند، تصمیم در آنجا گرفته می‌شود و

ارزش مستقیمی ایجاد خواهد کرد. در این صورت، صرفه‌جویی انرژی می‌تواند نتیجه جانبی رفتار کاربر باشد، نه دلیل اصلی آن.

❖ محدودیت مهم: حال رفتار انسان بخشی از سیستم است.

هر سامانه‌ای که به تعامل انسان وابسته باشد، با یک مسئله اساسی روبه‌روست، اینکه انسان کاملاً قابل پیش‌بینی نیست.

در سامانه‌های اعلام‌محور، اگر کاربر خروج خود را ثبت نکند، سیستم ممکن است برای مدتی وضعیت قبلی را حفظ کند. بنابراین، میزان واقعی صرفه‌جویی می‌تواند به میزان پایبندی کاربران وابسته باشد. این موضوع نشان می‌دهد که ارزیابی یک سیستم مدیریت انرژی تنها با معیارهای سخت‌افزاری یا الگوریتمی کامل نمی‌شود؛ رفتار واقعی کاربران نیز باید بررسی شود.

به همین دلیل، مسیرهای توسعه این حوزه به سمت ترکیب روش‌های مختلف حرکت می‌کنند. می‌توان از حسگرهای حضور برای تأیید خروج یا تمدید وضعیت استفاده کرد، در حالی که نقش کاربر همچنان به‌صورت صریح تعیین شود. چنین ترکیبی می‌تواند بخشی از خطاهای ناشی از عدم تعامل را کاهش دهد، بدون آنکه منطق قطعی سیاست انرژی از بین برود.

مزیت چنین رویکردی، تفسیرپذیری است. می‌توان دقیقاً مشخص کرد که در هر حالت چه اتفاقی می‌افتد و چرا. در طراحی چنین سیستمی، هسته منطقی سیستم با حالات و رویدادها صورت‌بندی شده و تمام ترکیب‌های ممکن حالت و رویداد در ماتریس گذار تعریف می‌شوند.

این نوع طراحی به‌ویژه در سامانه‌هایی که قابلیت پیش‌بینی، ممیزی و ایمنی اهمیت دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده بی‌دلیل از مدل‌های جعبه‌سیاه باشد.

❖ اما آیا اعلام وضعیت همیشه بهتر است؟

پاسخ لزوماً مثبت نیست. اعلام وضعیت زمانی مناسب است که کاربر بتواند با سیستم تعامل کند و این تعامل برای او مزاحمت ایجاد نکند. اگر کاربر مجبور باشد برای هر ورود و خروج چندین مرحله انجام دهد، احتمال بی‌توجهی یا رهاکردن فرآیند افزایش خواهد یافت.

به همین دلیل، طراحی انسان‌محور باید در کنار طراحی فنی قرار گیرد. کاربر نباید احساس کند که وظیفه جدیدی برای صرفه‌جویی انرژی به او تحمیل شده است.

یک راه جالب برای حل این مسئله، ایجاد انگیزه‌های غیرانرژی‌محور است. برای نمونه، اگر سامانه علاوه بر مدیریت انرژی، وضعیت اتاق را به مراجع اعلام کند، امنیت فضای کاری را افزایش دهد یا از مزاحمت‌های ناخواسته جلوگیری کند، تعامل با سیستم برای کاربر

❖ از یک اتاق هوشمند تا یک شبکه از گره‌ها

اگر هر اتاق به عنوان یک گره مستقل عمل کند، سؤال بعدی این خواهد بود که آیا این گره‌ها می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند؟

پاسخ می‌تواند مثبت باشد، اما بدون بازگشت کامل به معماری متمرکز.

چند گره محلی می‌توانند از طریق یک شبکه داخلی، اطلاعات خود را به اشتراک بگذارند و وضع‌آگاهی را از سطح اتاق به راهرو یا یک طبقه گسترش دهند. در این ساختار، هر گره همچنان استقلال محلی خود را حفظ می‌کند، اما اطلاعات مورد نیاز در مقیاس بزرگ‌تر نیز در دسترس قرار می‌گیرد.

این معماری می‌تواند زمینه را برای توسعه ساختمان‌هایی فراهم کند که مجموعه‌ای از گره‌های هوشمند محلی را در خود جای داده‌اند؛ گره‌هایی که هر یک بخشی از مصرف را کنترل می‌کنند و در عین حال می‌توانند در برنامه‌های گسترده‌تر مدیریت انرژی مشارکت داشته باشند.

❖ پیوند با مدیریت سمت تقاضا

وقتی یک سامانه نه تنها مصرف یک اتاق، بلکه وضع عملکردی آن را می‌داند، امکان استفاده از همین اطلاعات برای مدیریت سمت تقاضا نیز به وجود می‌آید.

برای مثال، در شرایط اوج بار شبکه، برخی وضعیت‌های عملکردی می‌توانند با سیاست انرژی متفاوتی همراه شوند. سیستم سرمایشی ممکن است در وضعیت استراحت با محدودیت بیشتری کنترل شود، درحالی‌که در شرایط حضور فعال کاربر، سیاست دیگری اجرا شود.

در مقیاس یک اتاق، این انعطاف‌پذیری کوچک است؛ اما اگر تعداد زیادی گره محلی در یک ساختمان یا مجموعه تجمیع شوند، مجموع آن‌ها می‌تواند به یک ظرفیت قابل توجه در سمت تقاضا تبدیل شود. این موضوع، مفهوم مدیریت انرژی در مقیاس محلی را به مباحث گسترده‌تر انعطاف‌پذیری و مدیریت شبکه پیوند می‌دهد.

❖ یک نمونه پژوهشی در این مسیر

در ایران نیز رویکرد ترکیب مدیریت نامتمرکز انرژی، وضع‌آگاهی و تعامل کاربر در قالب پروژه‌ها و پژوهش‌های دانشگاهی دنبال شده است.

یکی از نمونه‌های قابل اشاره، سامانه‌ای با عنوان «سیستم هوشمند مدیریت نامتمرکز انرژی و وضع‌آگاهی برای دفاتر اداری و دانشگاهی» است که در آن ایده‌های تشخیص و اعلام وضعیت، سیاست انرژی وابسته به نقش، معماری نامتمرکز و کنترل محلی در قالب یک سامانه واحد بررسی شده‌اند. این کار، علاوه بر توسعه معماری و منطق کنترلی، به ساخت نمونه آزمایشگاهی و ارزیابی کارکردی و تحلیلی آن نیز پرداخته است.

کنند و از سوی دیگر، آن‌ها را به برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا و سامانه‌های بزرگ‌تر انرژی متصل کنند.

❖ جمع‌بندی

مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌ها در حال عبور از یک نگاه ساده به مصرف است. پرسش دیگر فقط این نیست که چقدر انرژی مصرف می‌شود؟ بلکه این است که چرا، در چه شرایطی، توسط چه کسی و برای چه کاری این انرژی مصرف می‌شود؟

پاسخ به این پرسش، مفهوم مدیریت انرژی را به وضع آگاهی، تعامل انسان و سامانه، معماری نامتمرکز و سیاست‌های وابسته به وضعیت پیوند می‌دهد.

در این نگاه، ساختمان هوشمند ساختمانی نیست که صرفاً تجهیزات خود را به‌صورت خودکار روشن و خاموش کند. ساختمان هوشمند، سامانه‌ای است که وضعیت خود را می‌داند، آن را برای انسان قابل فهم می‌کند و تصمیم انرژی را متناسب با شرایط واقعی اتخاذ می‌نماید.

شاید مسیر آینده نیز از همین‌جا آغاز شود. به‌جای آنکه ساختمان دائماً تلاش کند رفتار انسان را حدس بزند، بخشی از اطلاعات مورد نیاز را از خود انسان دریافت کند؛ و به‌جای آنکه تمام تصمیم‌ها در یک مرکز گرفته شوند، بخشی از هوشمندی را به نزدیک‌ترین نقطه به مسئله منتقل کند.

توجه به نتیجه این پژوهش‌ها، برای تعمیم به ساختمان‌های واقعی، استقرار میدانی و اندازه‌گیری مستقیم مصرف ضروری است.

اهمیت چنین نمونه‌هایی بیش از آنکه صرفاً در یک عدد صرفه‌جویی خلاصه شود، در نشان دادن یک مسیر طراحی است. هوشمندسازی یک فضای کاری می‌تواند با ترکیب منطق ساده، تعامل مناسب با انسان و تصمیم‌گیری محلی انجام شود، بدون آنکه الزاماً به یک سامانه متمرکز و پیچیده نیاز داشته باشد.

❖ چشم‌انداز آینده

حرکت بعدی این حوزه احتمالاً نه به سمت یک فناوری واحد، بلکه به سمت ترکیب هوشمندانه چند رویکرد خواهد بود.

حسگرها می‌توانند اطلاعات محیطی را فراهم کنند. تعامل مستقیم می‌تواند اطلاعاتی را ارائه دهد که محیط به‌تنهایی قادر به انتقال آن نیست. منطق قطعی می‌تواند سیاست‌های ایمن و قابل‌تفسیر ایجاد کند. معماری نامتمرکز می‌تواند استقلال محلی را فراهم آورد و ارتباط میان گره‌ها امکان هماهنگی در مقیاس بزرگ‌تر را ایجاد کند.

در همین مسیر، پژوهش‌های آینده می‌توانند از یک سو با استقرار سامانه‌ها در محیط‌های واقعی، اثر آن‌ها بر مصرف و رفتار کاربران را به‌صورت تجربی اندازه‌گیری



گاهنامه انجمن علمی شبکه هوشمند انرژی ایران از تمامی دانشجویان، فارغ التحصیلان و صنعتگران مرتبط با حوزه شبکه های هوشمند دعوت به عمل می آورد تا با ارسال مقالات خود به این گاهنامه موجبات غنای علمی، بیشتر این گاهنامه را فراهم آورند.