

ホームネットワークシステムにおける機器状態ログからの エネルギー浪費行動の検出

北岡 賢人[†] 瀬戸 英晴[†] 松本 真佑[†] 中村 匡秀[†]

[†] 神戸大学 〒657-8531 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †{kitaoka,seto}@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ††{shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 我々の研究グループでは、家電機器やセンサを宅内のネットワークに接続したホームネットワークシステム(HNS)を研究・開発している。HNSでは各機器の稼動状態を定期的に記録している。この「機器状態ログ」を活用することで、様々な付加価値サービスが期待できる。本稿では、機器状態ログを用いてHNS内の住人が過去に行った「エネルギー浪費行動」を自動検出するシステムの開発を行う。エネルギー浪費の基準は個人によって異なるため、浪費行動の検出ルールをユーザ自らが定義できる言語 EWB-DL を提案する。システムは与えられた検出ルールに基づいてログを解析し、浪費行動が行われた時間帯と具体的な機器状態を検出する。提案システムにより、無駄なエネルギーの視覚化や省エネ診断が可能となり、家庭における省エネの促進に貢献すると期待できる。

キーワード ホームネットワークシステム, 機器状態ログ, エコ, データマイニング

On Identifying Energy Wasting Behaviors from Device Status Logs in Home Network System

Kento KITAOKA[†], Hideharu SETO[†], Shinsuke MATSUMOTO[†], and Masahide NAKAMURA[†]

[†] Kobe University Rokkoudai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8531 Japan

E-mail: †{kitaoka,seto}@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ††{shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

Abstract We have been studying and developing the home network system (HNS), which provides value-added services by orchestrating home appliances, equipments and sensors via network. Our HNS periodically records status of every device within the system. The records, called *device status log*, can be used for various value-added services. In this paper, we implement a system that automatically detects the *energy-wasting behaviors* of home users, using the device status log. The criteria of the wasting behaviors may vary from person to person. Therefore, we propose a language EWB-DL, with which a user can define own detection rules of the energy-wasting behaviors. For a given set of detection rules, the proposed system analyzes the device status log, and identifies the time and the device status where the defined wasting behaviors occurred. The proposed system can be applied to various applications such as energy visualizations and energy-saving diagnostics, which extensively contributes to energy saving at home.

Key words home network system, device status log, energy saving, data mining

1. はじめに

設備や機器の高性能化, 生活レベルの向上に伴い, 家庭での電力消費量は年々増加の一途をたどっている。家庭における省エネは, もはや社会全体で取り組む問題となっている。省エネルギー法 [1] 等, 国をあげた取り組みも盛んである。また, 省エネ家電や電気自動車, スマートグリッド [2] 等, 先端技術を取り入れた省エネ製品の開発も著しい。家庭の省エネの重要性がうかがえる。

我々の研究グループでは, 家電機器やセンサを宅内のネットワークに接続し, 様々な付加価値サービスを実現するホームネットワークシステム (以下 HNS) の研究・開発を行っている。HNS は宅内のあらゆる機器を監視・制御できることから, 次世代家庭における強力な省エネソリューションと考えられている。実際に省エネに特化した HNS は HEMS (Home Energy Management System) と呼ばれ, いくつかの製品も存在する [3] [4]。

我々は用途を特に省エネに限定せず, サービス指向アーキテクチャ (SOA) [5] の考え方を適用した HNS 環境 “CS27-HNS” を

研究室内に構築している [6]。CS27-HNS では、接続された家電機器やセンサの状態を容易に取得することができる。この機器状態をログとして蓄積したものを、我々は 機器状態ログと呼び、様々なサービスに役立てることを考えている。

HNS におけるログを応用した従来サービスの代表例として、消費電力の見える化がある [3]。日々の消費電力をグラフ等で可視化することで、ユーザのエネルギー消費に対する意識を高め、省エネにつながる生活行動を喚起させるものである。我々のグループでも、環境センサや機器操作のログを消費電力ログに重ね合わせ、電力消費の根拠と状況を細かく振り返られるサービス [7] を提案している。しかしながら、これらの従来サービスは基本的にエネルギー消費を可視化するとどまり、結果の評価や解釈はあくまでもユーザ自らの手作業による。したがって、省エネ意識の高いユーザを除いては、どこがどう無駄だったかを識別するだけでも大きな労力がかかる。

そこで本研究では、機器状態ログを利用して、ユーザが過去に行ったエネルギー浪費行動を自動検出するシステムの開発を目指す。エネルギー浪費行動とは、「つけっぱなし」に代表されるエネルギーの浪費につながるユーザ行動全般を指す。エネルギー浪費の判断基準は個人ごとに異なることから、本研究では浪費行動の検出ルールをユーザ自らが定義できる言語 EWB-DL を提案する。提案システムは、与えられた検出ルールに基づいて機器状態ログを解析し、ルールに合致する浪費行動が行われた時間帯と具体的な機器状態を出力する。

また、提案システムの有効性を示すため、CS27-HNS で取得された実際の機器状態ログからエネルギー浪費行動を検出する実験を行う。実験の結果、(1) 人が不在に関わらず機器がつけっぱなしになっていた、(2) 室内が十分明るいにもかかわらず照明がついていたという 2 種類の浪費行動を自動検出できた。

提案システムにより、省エネ意識の高さにとらわれることなく、機械的に浪費行動を検出できる。よって提案システムは、無駄なエネルギーの可視化や省エネ診断に応用でき、家庭における省エネ促進により一層貢献できると考えられる。

2. 準備

2.1 ホームネットワークシステム

ホームネットワークシステム (HNS) は、照明やテレビなど家庭内における様々な家電機器と、温度計や湿度計などセンサをネットワークに接続することで構築される。HNS 内における機器はユーザや外部エージェントがネットワーク越しに制御できるように、制御 API を備えている。我々の研究室で開発している CS27-HNS [6] は、サービス指向アーキテクチャ(SOA) を取り入れ、すべての制御 API を、機種や実行環境に依存しない標準的な Web サービス [8] として公開している。各機器の状態は、SOAP または REST 通信によって、getStatus() メソッドを利用して取得可能である。例えば、URL <http://cs27-hns/TVService/getStatus> にアクセスすると、テレビの現在状態が XML 形式で返される。状態は [power:ON, channel:6, volume:15] のように、属性名とその値の組を並べた構造体であり、XML 形式で表現される。

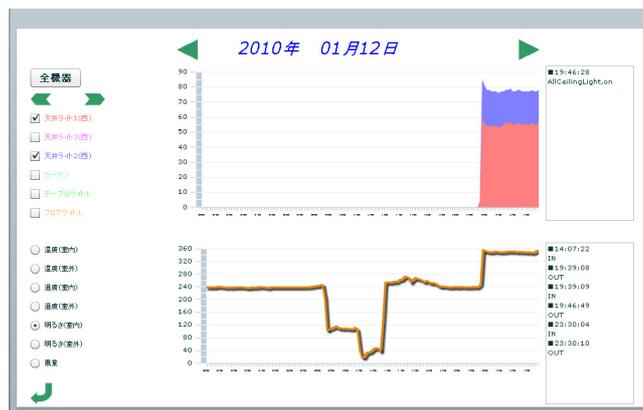


図 1 HNS における電力消費振り返りサービス

2.2 家庭における省エネ

家庭における省エネを推進するため、財団法人・省エネルギーセンター [9] では、家庭で実践できる様々な省エネ行動を公開している。例えば、「エアコンの設定温度は、冷房は 28℃、暖房は 20℃ にする」といったものがある。

また、家電メーカーからは様々な「省エネ家電」が発売されている。例えば、日立の Wooo [10] は視聴環境に最適なパネル制御を行い電力量を削減、消費電力とエコ効果を画面に表示する。

これらのモノや設備の省電力化に加えてさらに重要なのは、居住者自身がエネルギーの無駄遣いを控えることである。誰も部屋にいないのに照明をつけたままにしたり、テレビを見ているのに同じテレビに接続している DVD がついていたりと、家庭では様々なエネルギー浪費行動が行われる。こうした浪費行動は習慣化されて居住者自身が気づいていない場合も多い。

2.3 HNS を用いた電力消費の可視化

消費電力の見える化は HNS の最もポピュラーなアプリケーションである。機器の消費電力をログとして蓄積、グラフ等で可視化して提示する。ユーザはエネルギー消費の実態を把握できるため、浪費行動の自発的な改善につながるとされる [11]。最近のエコブームに乗り、消費電力を計測してネットワークに送る電源タップ [12] や、家全体の消費電力をクラウドに上げるスマートメータ [13]、家屋の回路別の使用量を計測、蓄積する ECO マネシステム [3] 等、次々と関連製品が登場している。

我々のグループでも HNS における電力消費振り返りサービス [7] を提案している。本サービスは、消費電力、機器操作、環境センサの 3 つのログを重ね合わせることで、単に消費電力を可視化するだけでなく、そのような消費にいたった環境状態やその時の機器操作を客観的に観測できる (図 1 参照)。しかしながら、これらの既存サービスは基本的に電力消費の実態を可視化するだけで、結果の解釈や評価の方法はユーザに任せられる。つまり、可視化されたログからいつ、どのような浪費行動を行ったのか、普段と比べてどの程度浪費したのかといったことは、すべてユーザが手作業で調べる必要がある。これではユーザの負担が大きくなり、よほど意識が高いユーザでない限り、見える化の効果が十分に発揮されない。

3. 提案手法

3.1 目的とアプローチ

本研究の目的は、HNS から取得可能な機器状態ログを利用して、ユーザのエネルギー浪費行動を自動検出するための枠組みを提案することである。図 2 に実現する枠組みの概要を示す。

一般に、エネルギーの使用を浪費と判断する基準は個人ごとに異なる。したがって、提案システムでは、浪費行動と見なすべき機器状態や環境状態を、浪費行動検出ルールとしてユーザ自身が定義する。ログ取得プログラム（ロガー）は、一定時間間隔で HNS にアクセスし、家電機器やセンサの状態を取得、機器状態ログデータベースに蓄積する。浪費行動検出プログラムは、与えられた浪費行動検出ルールに基づいてクエリを発行し、機器状態ログ DB から検出ルールに合致する機器状態と浪費行動が行われた日付・時刻を導出して結果を表示する。提案手法の実現においては、(a) 浪費行動検出ルールをどのように記述するか、(b) 機器状態ログをどのような形式で取得し活用するかがポイントとなる。以降では、まず家庭におけるエネルギー浪費行動を具体事例に基づいて分類する。次に、取得する機器状態ログの種類と DB のスキーマを考察し、検出ルールの定義方法について述べる。

3.2 家庭におけるエネルギー浪費行動の分類

我々は先行研究 [7] において、被験者に実際に HNS で生活してもらい、可視化された電力消費を振り返る実験を行った。その結果、様々なエネルギー浪費行動が（手動で）指摘・検出された。それらをカテゴリ分けすると以下の 4 種類に分類できた。

(分類 C1) 長時間のつけっぱなし

ほぼ 1 日中機器の電源をつけたままにしているという浪費行動である。通常、1 日中同じ機器を使い続けることはまれであり、大抵つけたまま忘れている場合が多い。実験では以下のような事例が観測されている。

- ホットカーベットの電源が一日中オンの状態であった。
- DVD プレイヤの電源が一日中オンの状態であった。

(分類 C2) ユーザ不在の機器使用

ユーザがその場に居ないにもかかわらず、機器が使用され続けているという浪費行動である。機器が提供するサービスの受け手が不在のため、例えば短時間でもエネルギーの浪費と考えてよい。実験では以下のような事例が観測されている。

- ユーザが寝ているはずの時刻にテレビがオンの状態だった。
- ユーザが外出中に、扇風機がオンの状態だった。

(分類 C3) 効果が得られない環境下での機器使用

機器を使用する環境条件が適切でないことにより生じる浪費行動である。基準値が十分に満たされていてこれ以上効果がないケースと、機器の影響と逆に働く環境要因があって効果がうすいケースとが存在する。例えば、以下のような事例がある。

- 外が十分明るいのに、天井照明がオンの状態であった。
- 雨で湿度が十分高いのに加湿機が作動していた。

(分類 C4) 競合する機器の同時使用

機器を利用する場や環境において、競合を起こす機器を同時

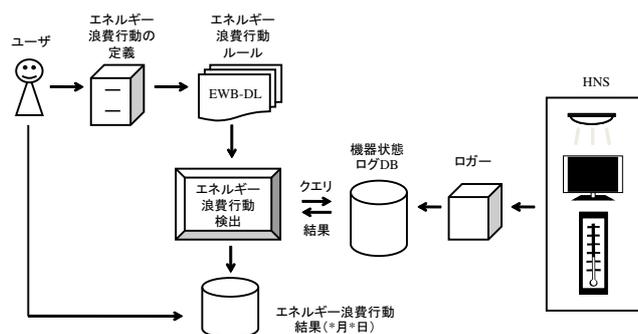


図 2 提案するエネルギー浪費行動検出の枠組み

に使用することによる浪費行動である。機器の効果が十分に得られないことから無駄なエネルギー利用と考えることができる。

- ホットカーペットと冷房が同時にオンになっていた。
- アロマポットと空気清浄機の両機器が併用されていた。オンの状態であった。

上記の浪費行動の分類は、ユーザが浪費行動検出ルールを定義する際の着眼点として役立つ。

3.3 機器状態ログの蓄積

前節で述べたようなエネルギー無駄行動を検出するためには、HNS からどのような機器状態をどのようにログとして蓄積すればよいのかを考察する。

(a) 取得すべき機器状態

分類 C1-C4 の浪費行動を検出するためには、HNS 内の家電機器の状態履歴が必要である。ただし、機器がオフになっている場合にはエネルギー消費が起こらないことから、オンになっている機器の状態のみを蓄積すればよい。また、分類 C2-C4 のように、浪費行動の判断に環境の状態が必要になる場合もある。したがって、HNS 内の環境センサの値も機器状態として取得、蓄積していく必要がある。

(b) 機器状態の取得方法

2.1 で述べたように、機器状態は HNS に設置されている各機器の状態取得 API を用いて取得できる。我々の CS27-HNS では、家電機器の場合は `getStatus` インタフェース、センサの場合は `getValue` インタフェースを Web サービスで呼び出すことで、状態を取得できる。図 3 に CS27-HNS のあるテレビの状態を REST-Web サービスで呼び出した結果を示す。テレビの電源がオン (`true`) で、チャンネルが 6、音量が 8、入力 1 であることがわかる。また、図 3 に室内温度センサの状態の取得例を示す。室内の温度が 25.778 であることがわかる。

これらの機器状態を一定時間間隔で取得し、機器状態ログとして後述のデータベースに蓄積していく。なお、(a) で述べたとおり、家電機器の場合は電源がオンの状態のみ蓄積する。状態の取得間隔については、間隔が短いほど正確な浪費行動検出が可能となるが、蓄積する情報量が膨大となる。現在のところ我々の CS27-HNS では 1 分間隔に設定している。

(c) 機器状態ログ DB

次に、各機器から取得した機器状態を蓄積する機器状態ログ DB の実現方式を考える。機器状態をログとして記録する必須

```

<ns:getStatusResponse xmlns:ns="http://cs27-hns">
  <ns:return xmlns:ax238="http://status.cs27-hns/
xsd" type="cs27.hns.appliance.status.TVStatus">
    <ax238:power>true</ax238:power>
    <ax238:channel>6</ax238:channel>
    <ax238:volume>8</ax238:volume>
    <ax238:input>1</ax238:input>
  </ns:return>
</ns:getStatusResponse>

```

図 3 テレビの getStatus レスポンス例

```

<ns:getValueResponse xmlns:ns="http://cs27-hns">
  <ns:return>25.778019999999998</ns:return>
</ns:getValueResponse>

```

図 4 室内温度センサの getValue レスポンス例

データ項目として、個々のログを区別するログ ID、ログの取得日、取得時刻が挙げられる。さらに、どの機器の状態かを記録する必要があり、HNS 内で定義される機器のインスタンス ID を用いることにした。

機器から取得した状態の内容は、機器ごとにその解釈が異なる。したがって、DB ではその内容を解釈せず、取得した状態をそのまま生データとして保存することにする。状態の解釈はログ DB を利用するアプリケーションに任せる。ただし、上記 (b) の議論によって、DB に格納されるのは環境センサの値と電源がオンである家電機器の状態のみである。よって、家電機器の電源状態（オンかオフか）に関しては、生データを解析せずとも、DB のエントリの有無を調べるだけでわかる。

以上の議論に基づき、機器状態ログ DB のデータスキーマを次のように定義する。

- logID: ログの通し番号を表す。
- date: 機器状態の取得年月日を表す。
- time: 機器状態のログを取得した時刻を表す。
- deviceID: 状態を取得した機器の識別子を表す。
- state: 取得した機器状態をそのまま格納する。

また CS27-HNS で取得した機器状態ログの例を表 1 に示す。表のスペースの関係で、state に入る XML を 2.1 で述べた形式で書き下している。

3.2 で述べたようなエネルギー浪費行動を、機器状態ログ DB から検出するためのルールの定義方法について検討する。ルール定義の基本的なアイデアは、浪費行動とみなす機器状態上の条件（機器条件と呼ぶ）が、ある時刻に成立したか、あるいは、ある一定時間続いたかで定義する。

まず機器条件を、次のような条件式

[デバイス ID. 属性 比較演算子 属性値]

で定義する。デバイス ID は、3.3 の (c) で述べた機器識別子、属性は 2.1 で述べたその機器の状態を構成するプロパティ名、比較演算子は、等しい(==)、異なる(!=)、以上(>=)、以下(<=)、より大きい(>)、より小さい(<)のいずれか、属性値は属性が取りうる定数値である。また、これらの条件式の論理積(&&)、

表 1 機器操作ログの例

logID	date	time	deviceID	state
1798034	2011-01-25	14:42:46	airCleaner	mode:1,power:true,timer:false
1798035	2011-01-25	14:42:46	CeilingLight1	mainBrightness:2,power:true
1798036	2011-01-25	14:42:46	outLightSensor	return:989
1798037	2011-01-25	14:43:46	airCleaner	mode:1,power:true,timer:false
1798038	2011-01-25	14:43:46	CeilingLight1	mainBrightness:2,power:true
1798039	2011-01-25	14:43:46	outLightSensor	return:996

論理和(||)、否定(!)もまた機器条件と定義する。

例えば「テレビがついている」という機器条件は [TV.power == true] ; 外の照度が 800lux 以上で、かつ、天井照明がついている」という機器条件は [[OutLightSensor.brightness >= 800] && [CeilingLight.power == true]] と表現される。

次に、機器条件が成立する時刻と時間帯（[開始時刻、終了時刻] を持つ時間の幅）を表現するため、次の表記法を定義する。

D [Cond]: 機器条件 Cond が成立した任意の時刻。

T [Cond]: 機器条件 Cond が成立し続けた任意の時間帯。

エネルギー浪費行動の検出ルールを次のように定義する。

(時刻による検出ルール) 開始時刻 <= D[Cond] <= 終了時刻 (時間帯による検出ルール) T[Cond] >= 継続時間閾値

ここで、時刻による検出ルールは、ある機器条件が浪費とみなされる時刻内に成立した場合、それを浪費行動として検出する。一方、時間帯による検出ルールは、ある機器条件が一定時間以上成立し続けた場合、それを浪費行動として検出する。

例として、3.2 で述べたいくつかの浪費行動を検出するルールを記述してみる。

3.4 エネルギー浪費行動検出ルール

ルール記述例 1: 寝ているはずの時刻にテレビがついていた
rule1: 02:00:00 <= D[TV.power==true] <= 05:30:00
説明: あるユーザが通常寝ている時間 (午前 2:00 ~ 5:30) にテレビがついているのは、つけっぱなしであるという解釈に基づき、定義されたルールである。

ルール記述例 2: DVD プレイヤが 1 日中ついていた
rule2: T[DVDPlayer.power==true] >= 20 hours
説明: DVD プレイヤの電源オン状態が、20 時間を閾値としてそれ以上継続すればつけっぱなしと検出するルールである。

ルール記述例 3: 外が十分明るいのに天井照明がついていた
rule3: T [[OutLightSensor.brightness >= 800] && [CeilingLight.power == true]] >= 10 minutes

説明: 外の照度センサが 800lux 以上かつ天井照明がオンという状態が 10 分以上続いている場合、効果が得られない機器使用として検出するルールである。ルールとしては、機器条件が成立すると即座に浪費と検出しても良いが、機器状態が確定するタイミングとして 10 分というマージンを設定している。

3.5 エネルギー浪費行動の検出

ユーザによって浪費行動検出ルールが与えられたとき、システムはルールに基づいて機器状態ログ DB を検索、ルールに示された機器条件が成立するログの時刻を解析して、ルールの評価を行う。ルールが成立した場合には、成立した時刻（または時間帯）とそのときの機器状態を結果として出力する。システ

ムの具体的な実装方法については、次章で述べる。

4. システム実装

提案手法をシステムとして実装する。システム化においては、まず浪費行動検出ルールを記述する言語 EWB-DL を定義する。次にルールに基づいて機器状態ログ DB を検索する方法について述べる。

4.1 EWB-DL

浪費行動検出ルールをシステムとして扱いやすくするために、EWB-DL という XML 形式の記述言語を提案する。

EWB-DL は、`<rule>`タグ内に 1 つの浪費行動検出ルールを記述する。`<name>`にルール名、`<description>`にはルールの説明を書く。`<conditions>`には、機器条件`<condition>`を複数記述できそれらを論理積として定義する。各機器条件には、機器のデバイス ID`<deviceID>`、属性`<property>`、比較演算子`<operator>`、属性値`<value>`を指定する。また、`<time_constraints>`には検出条件を記述する。`<period>`は時間帯による検出ルールの継続時間閾値を秒数で記述、`<time>`は時刻による検出ルールの開始時刻`<start>`、終了時刻`<end>`をそれぞれ記述する。

例として 3.4 で述べた検出ルール rule3: T [[OutLightSensor.brightness>=800] && [CeilingLight.power==true]] >= 10 minutes を EWB-DL で記述したものを図 5 に示す。

4.2 時刻による検出ルールを用いた浪費行動の検出方法

時刻による検出ルール `dr` が与えられたとき、`dr` を用いて浪費行動を検出する方法を述べる。`dr` には機器条件 `cond`、開始時刻 `start`、終了時刻 `end` が記述されている。よって、各日付のログに対し、`cond` が成り立つ機器状態ログが `start` と `end` 内に存在するかどうかを調べればよい。`cond` が複数機器条件の組み合わせで定義されている場合は、各機器の条件を評価し、全ての条件が成り立つ時刻を導出する。

入力: 検出する日付 `d`、検出ルール `dr=(cond,start,end)`。ここで `cond= cond1 && cond2 && ... && cond_n` で、`cond_k` はデバイス ID `id_k` 上で定義される機器条件とする。

出力: `d` において `cond` が成立する時刻とその時の機器状態。

Step1: 各 `id_k` ($1 \leq k \leq n$) について以下を実行する。

- (1) 機器状態ログ DB に対し、次のクエリでログを取得する。

```
SELECT * from statusLog WHERE 'date' = 'd' AND  
'time' BETWEEN 'start' AND 'end' AND  
'deviceID' = 'id_k'
```

得られたログを `Lk={l1,l2,...,lm}` とする。

- (2) 各 `lj` について、`cond_k` が成立するか評価する。成立しなければ `lj` を `Lk` から削除する。

Step2: `start` から `end` までの各時刻 `t` について、`t` に記録されたログが `L1, L2, ..., Ln` の全てに存在するとき、時刻 `t` において浪費行動を検出し、`t` と `cond` を出力する。

4.3 時間帯による検出ルールを用いた浪費行動の検出方法

一方、時間帯による検出ルール `tr` には機器条件 `cond` と継続時間閾値 `width` が記述されている。浪費行動を検出するには、`cond` が成り立つ時間帯を全て求め、各時間帯が `width` 以上続くかを評価すればよい。`cond` が複数の機器条件で定義される場

```
<rule>  
  <name>rule3</name>  
  <description>  
    外の照度が800lux以上かつ天井照明がオンという状態が  
    10分以上続いている。  
  </description>  
  <conditions>  
    <condition>  
      <deviceID>OutLightSensor</deviceID>  
      <property>brightness</property>  
      <operator>MORE_THAN_EQUAL</operator>  
      <value>800</value>  
    </condition>  
    <condition>  
      <deviceID>CeilingLight</deviceID>  
      <property>power</property>  
      <operator>EQUAL</operator>  
      <value>true</value>  
    </condition>  
  </conditions>  
  <time_constraints>  
    <period>  
      <minute>10</minute>  
    </period>  
    <time>  
      <start> </start> <end> </end>  
    </time>  
  </time_constraints>  
</rule>
```

図 5 EWB-DL による浪費行動検出ルールの記述

合は、各機器の条件が真となる時間帯を導出し、それらが全て重なる時間帯を計算、それが `width` 以上かどうかを判定する。
入力: 検出する日付 `d`、検出ルール `tr=(cond,width)`。ここで `cond= cond1 && cond2 && ... && cond_n` で、`cond_k` はデバイス ID `id_k` 上で定義される機器条件とする。
出力: `d` において `cond` が `width` 秒以上成立する時間帯とその時の機器状態。

Step1: 各 `id_k` ($1 \leq k \leq n$) について以下を実行する。

- (1) 機器状態ログ DB に対し、次のクエリでログを取得する。

```
SELECT * from statusLog WHERE 'date' = 'd' AND  
'deviceID' = 'id_k'
```

得られたログを `Lk={l1,l2,...,lm}` とする。

- (2) 時間帯を入れる集合 `Tk` を定義し、空に初期化する。

(3) `Lk` のログを前から順番に見て、`cond_k` が初めて真となるログ (`ls` とする) を見つける。さらに `ls` から順番に見て、`cond_k` が初めて偽となるログ (`le` とする) を見つける。`ls` と `le` の取得時刻をそれぞれ `ts`、`te` とするとき、`cond_k` が成立した時間帯として、`[ts, te-1]` を `Tk` に追加する。この操作を `Lk` の最後の要素にたどり着くまで繰り返す。

Step2: `T1, T2, ..., Tn` からこれら全てに重なる時間帯を求め、`cond` が成立する時間帯の集合 `T` を求める。

Step3: `T` の各要素 `[t, t']` に対し、`t' - t >= width` が成立するならば、`[t, t']` を浪費行動が行われた時間帯とし、`cond` とともに出力する。

4.4 システムの実装技術

以上に基づきシステム実装を行った。エネルギー浪費行動検出プログラムと機器状態取得ロガーは Java EE 6 を利用して開

発した。また、機器状態ログ DB は MySQL 5.1 を用いた。完成したシステムは、我々の CS27-HNS にインストールされた。

5. 評価実験

5.1 実験内容

2011年1月24日(月)から28日(金)にかけて、筆者自身が被験者となり、CS27-HNSを自宅と想定して生活した。テレビや照明等の機器操作は、全てCS27-HNSの操作インタフェースを通して行い、入退室の際には入退室管理サービスによる管理を義務付けた。

また、文献[7]で発見されたエネルギー浪費行動を参考にして、EWB-DLを用いて24種類の浪費行動検出ルールを定義した。これを提案システムに入力し、実験期間内にどのような浪費行動が行われたかを解析した。

5.2 エネルギー浪費行動の検出結果

24種類の検出ルールにより5日間で合計18件のエネルギー浪費行動が自動検出された。中でも、2011年1月25日に検出された浪費行動の一部を図6、図7に示す。図の行は各機器の状態、各列は時刻を表している。図中の色つきの部分は、家電機器ならば電源がオン、センサならば値が特定値以上である状態を表す。

この日は2種類の浪費行動が検出されている。1つ目は「ユーザが不在にも関わらず機器の電源が入っている」という分類C2に属する浪費行動である。12:00~13:30の時間帯には、PS3、天井照明、空気清浄機がつけっぱなしとして検出され、18:00~19:30の時間帯には、扇風機、PS3、空気清浄機の消し忘れが指摘されている。2つ目は「外が十分明るいにも関わらず天井照明がついている」という分類C3に属する浪費行動である。この日は10:00~16:30に外が十分明るかったにも関わらず、室内の天井照明をつけていたことが検出されている。

5.3 考察

実験で検出されたエネルギー浪費行動は、被験者である著者自身が何気なく行っていたものが多かった。このことから、提案システムは、普段無意識に行われている浪費行動を厳密に指摘し、ユーザの浪費行動の改善に貢献できることを確認した。提案システムは現在のところ過去の行動の振り返りにしか対応していないが、今後浪費行動のリアルタイムな監視、検出にも対応させていきたい。

6. おわりに

本稿では、HNSにおける機器状態ログを用いて、ユーザが定義したエネルギー浪費行動を自動的に検出する枠組みを提案した。また、検出ルール記述言語EWB-DLを考案してシステムを実装し、実際のHNSに配備した。評価実験の結果、ユーザが行った様々なエネルギー浪費行動を厳密に自動検出できた。

今後の課題としては、まず浪費行動の検出結果を可視化する方法を考えたい。現在のところ、システムは浪費行動が行われた時刻、時間帯をテキストで出力する。この情報を様々なログと重ね合わせて省エネ行動へと喚起させる効果的な可視化手法を考えたい。また、過去の振り返りだけでなく、浪費行動のり

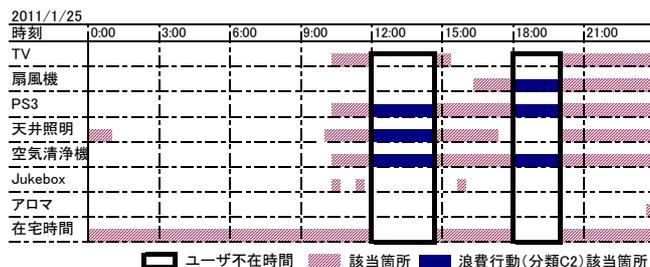


図6 検出結果1(ユーザ不在時の機器使用)

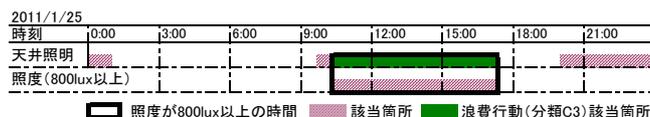


図7 検出結果2(効果が得られない環境下での機器使用)

アルタイムな監視・検出もあわせて考察していく予定である。謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費(若手研究B 21700077, 研究活動スタート支援 22800042)の助成を受けて行われている。

文献

- [1] 経済産業省 資源エネルギー庁, “省エネルギー法”, <http://www.enecho-shoeneho.jp>
- [2] スマートグリッド, <http://www.smartgridnews.com/>
- [3] パナソニック電工株式会社, “ECO マネシステム”, <http://denko.panasonic.biz/Ebox/kahts-eco/>
- [4] 株式会社東芝, “FEMINITY,” <http://feminity.toshiba.co.jp/feminity/>
- [5] M. P. Papazoglou, and D. Georgakopoulos, “Service-Oriented Computing”, *Communication of the ACM*, Vol.46, No.10, pp.25-28, 2003.
- [6] M. Nakamura, A. Tanaka, H. Igaki, H. Tamada, and K. Matsumoto. “Constructing Home Network Systems and Integrated Services Using Legacy Home Appliances and Web services,” *International Journal of Web Services Research*, Vol.5, No.1, pp.82-98, 2008.
- [7] H. Igaki, H. Seto, M. Fukuda, and M. Nakamura, “Mashing Up Multiple Logs in Home Network System for Promoting Energy-Saving Behavior,” *Proc. of 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010)*, CD-ROM, 2010.
- [8] Web サービス, <http://www.w3.org/2002/ws>
- [9] 財団法人省エネルギーセンター, “生活の省エネ”, <http://www.eccj.or.jp/>
- [10] 株式会社日立製作所, “Wooo”, <http://av.hitachi.co.jp/tv/>
- [11] C. Fitchett, “Feedback on Household Electricity Consumption a Tool for Saving Energy,” *Energy Efficiency*, Vol.1, pp.79-104, 2008.
- [12] 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ, “スマートタップ”, <http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/ir/binary/pdf/library/presentation/100428/a11.pdf>
- [13] Google, Inc., “Google PowerMeter,” <http://www.google.com/powermeter/about/about.html>