

住人の満足度を最大化する家電制御方式の提案

M2015SE005 宮下健志

指導教員：阿草清滋

1 はじめに

家庭内で使われているエネルギーの見える化によって得られる情報を基に家電の制御を行い、家庭で消費するエネルギーを節約するシステムを HEMS(Home Energy Management System) と呼び、近年注目されている。HEMS には、与えられる情報を元に住人が家電を制御するものや、システム自体が家電を自動制御するものが存在する。住人が HEMS に従い家電の操作を行う場合、制御を行うかを住人が決定するので、生活の快適性の変化も住人の許容できるものとなる。しかし、家電の操作が住人にとって手間となり、快適な生活を阻害する。HEMS による家電の自動制御は住人の家電操作の手間を省くことが可能であり、上記の問題を解決する。しかし、住人を介さない制御は住人の期待に反した制御を自動で行い、生活の質を低下させる恐れがある。住人が不満を感じない自動制御を実現するには、住人の満足を考慮する必要がある。複数の人からヒアリングを行い、住人の満足の感じ方を一般的な住人モデルとして設定することは可能であるが、住人の生活に対しての満足には個人差があり、HEMS を利用した全て住人の満足を最大化することはできない。

本研究では、住人が生活に対して感じる満足の度合を数値化したものを住人の満足度として定義し、住人の満足度を最大化する家電の自動制御の実現を目指す。この満足度は住人が持つものであるが、住人は自分の満足の度合を満足度という値で表現できるわけではなく、住人は満足度を値として HEMS に情報提供することができない。住人の生活をセンシングすることで得られる住人が行った家電制御の情報や部屋の室温や照度等の環境情報、家電の稼働状況の情報を用いて HEMS を学習させることで個人差を考慮した制御を可能とする。

2 関連研究

これまで住人の満足を考慮した節電のための家電制御に関する研究は多く行われてきた。手法は大きく分けて 1) 節電のための制御を住人に促す手法 [1]、2) 住人の手を介さずに家電を自動制御する手法 [2][3] の 2 つが存在する。

2.1 住人に家電制御を促す手法

大木らは、住人の快適度を段階的に定義し、住人の許容できる制御を住人に入力させプラン通りに制御することで住人の快適度を保ちつつ省電力を実現する手法を提案した [1]。この手法は許容できる省エネプランを住人が入力し、快適度の許容範囲を外れた場合の制御も住人が行う必要があり、住人に大きな負担がかかる。

2.2 家電を自動制御する手法

中部らは、平均消費電力と快適性指標の関係を示す最適運転曲線を生成し、住人が入力する最適運転曲線上の

点に向けて家電を自動制御する手法を提案した [2]。制御方針の入力は具体的な快適性指標と平均消費電力量を入力するものでなく、住人の期待に沿った快適性が提供されない可能性がある。

堤らは、住人がつまみ回すことで回転量に応じて自動的に家電が制御されるシステムを提案した [3]。この研究では事前に家電の優先度を住人が入力することで住人の快適性を考慮した制御を実現しようとした。高い優先度の家電はより低い優先度の家電が動作を停止するまで制御されず、ON と OFF 以外の調整が可能な家電に対してより細かな制御を可能にすることでより住人が満足を得られる可能性がある。

本研究では、自発的な情報提供や HEMS を意識した家電の操作を取り除くことで住人の負担を軽減しつつ、住人の個人差を考慮した上で住人の満足を最大化する家電の自動制御を実現する手法を提案する。また、家電の制御は ON/OFF の制御のみでなく細やかな制御も対象とする。

3 提案システムの概要

3.1 システムの流れ

HEMS が住人の家電操作や家電の稼働状況、室内の気温、湿度、照度等の情報をセンシングし、取得した情報から制御を行うことで住人は HEMS を意識せずに HEMS の恩恵を受けることができる。このシステムの課題は住人が期待する自動制御をいかに読み取り、自動制御の内容を決定するかである。本論文では、センシングによって得た情報を用いて制御内容を決定するまでの手法について考察していく。

3.2 制御決定

自動制御の制御内容を決定するにあたり、HEMS が自動制御を行った時、その制御内容によって住人の満足がどのようになるかを予測し、最も満足する制御を決定する。複数生成された制御計画の候補ごとの住人の満足を評価し、満足が最大となる制御計画の候補を実際に行う制御とする。

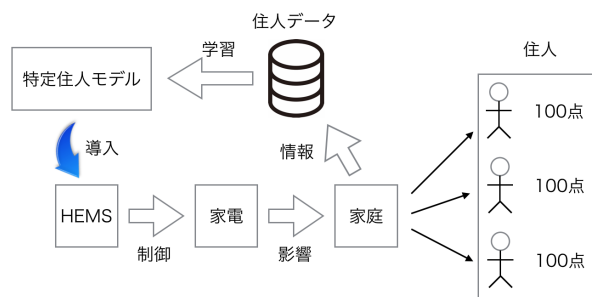


図 1 システムのイメージ

4 住人の満足度

本研究で扱う満足度とは、ある時刻において住人が生活に対してどれだけ満足感を得ているかの度合いである。住人は消費電力と家電の稼働状況、室内の気温等の情報を基に満足度を決定する。

4.1 消費電力削減に対する満足

節電を目的とした自動制御を行うことによって自動制御が介入しない場合と比べ消費電力は低下する。これに対して住人は満足感を得ることができる。しかし、全ての人と同じ消費電力に対して同じ満足を得るとは限らず、消費電力から得られる満足には個人差がある。

4.2 生活の快適性に対する満足度

住人は生活の快適性に対して不満や満足を感じる。本研究で扱う生活の快適性とは、消費電力を除いた部屋の温度、湿度、照度の情報と家電の稼働状態から得られる生活の快適さのことを指す。生活の快適性は、1) 住人が生活するにあたって部屋の温度、湿度、照度が快適に過ぎる値であるか、2) 家電の稼働状況は住人の理想の温度、湿度、照度を実現するために動いているか、の2項目から評価される。

4.2.1 室内環境に対する満足度

本研究で扱う室内環境は、住人の満足度に影響を与えると考えられる室内の温度、湿度、照度とする。室内環境が住人にとって適した室内環境に近い程、住人は快適に生活することができ、満足を得られる。住人にとっての快適な室内環境には個人差が存在し、部屋の室内環境と適した室内環境との差から発生する満足度の低下にも個人差が存在する。また、湿度が低いほど体感温度は低下する等、温度、湿度、照度が満足度に与える影響は互いに干渉しあい、その関係にも個人差が存在する。

4.2.2 家電に対する満足度

本研究では、制御によって著しく満足度を低下させる家電は自動制御の対象から外し、空調家電と照明機器のみを制御対象として取り扱う。

エアコンは住人にとって快適な室温を設定温度にして稼働した時、徐々に室温を設定温度に近づけていく。このような家電の機能は室内環境を徐々に住人にとって快適な環境に近づけていくものであり、室内環境を即座に快適な環境にすることは不可能である。住人の望む家電の稼働状況であれば、住人は室内環境が不快な環境であっても家電の稼働状況から満足を得る。

4.3 満足度評価の問題

生活の快適性を高めるために住人は家電を稼働させ、家電の稼働に伴い消費電力は増加し、生活の快適性は上昇する。一方、生活の快適性の向上を我慢し、住人が家電を停止させた時、家電の停止に伴い消費電力は低下し、生活の快適性は低下する。このことから、消費電力による満足度と生活の快適性に対する満足度の間にはトレードオフが存在し、この関係には個人差が存在する。住人に

にとって最適な節電のための自動制御を決定できる満足度評価関数が必要である。

ここで最も困難な問題は、気温等の環境情報や家電の稼働状況、消費電力が全て独立した次元であることである。これらは人が感覚的に比較し満足度を評価することは可能だが、HEMSが満足度という値で評価するには工夫が必要となる。

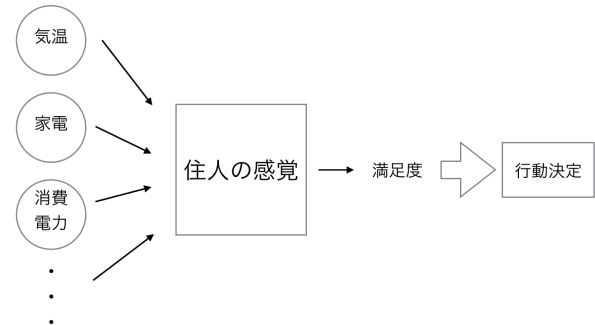


図2 住人の満足度決定

4.4 満足度評価の概要

本研究が提案する満足度評価関数は各家電の稼働状況、室内環境、消費電力に対して住人が許容できるかどうかを評価する関数である。出力は0~1の値を取り、0に近いほどインプットに対して住人が不満であると評価する。満足度評価関数は住人固有の満足の感じ方の性質が反映される必要が有ると同時に、住人からの自発的な情報のインプットによる負担を避ける必要がある。住人固有の性質を室内をセンシングして得られる家電の制御や室内環境、消費電力の情報から求める手法を提案する。

4.5 住人の個人差の学習

提案するシステムは室内環境、家電の稼働状況、消費電力の情報を住人が満足しているか満足していないかという情報とともに取得する。住人が満足しているかの判断は、住人の家電の制御から判断する。エアコンの設定温度の操作等、住人の満足に従う家電の操作は不満による操作とする。取得した情報を元に満足度評価関数を学習させる必要がある。

満足度評価関数は学習により住人の性質を反映するが、家庭に設置された時点である程度住人に不満を与えない制御を行うべきである。設置前に多くの人から生活に対する満足度のデータを収集することで一般的な住人の満足度の感じ方を表現した満足度評価関数を用意できる。HEMSが設置された後取得される住人固有の情報を教師データとして扱い、オンライン学習(逐次学習)を行うことによって住人モデルを取得する。

4.6 学習方法

本研究では満足度評価関数の学習にパーセプトロンを使用する。扱うパーセプトロンは中間層1層による3層のパーセプトロンとなり、中間層のノード数は入力層と同数とし、出力層のノード数は1つとする。

入力の種類は、室内の環境情報である気温、湿度、照度と自動制御の対象である家電の稼働状況、消費電力である。気温、湿度、照度、エアコン、電動カーテン、扇風機、ライト、消費電力の情報とそれに対する満足、不満(1,0)を1組とした教師データを用いてバッチ学習を行う。

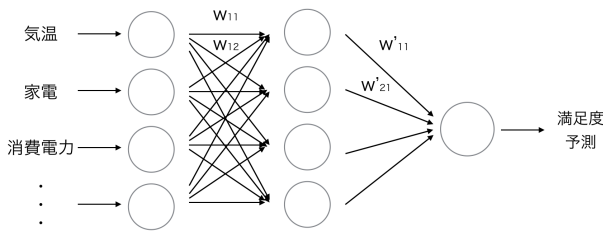


図3 満足度評価関数に用いたパーセプトロン

5 評価・考察

住人の満足度の評価を行う満足度評価関数の学習方法について評価を行う。学習により初期の一般モデルを用いた満足度評価関数による制御決定よりも次第に住人の満足度を高める制御決定が行われる必要がある、その結果住人が HEMS を導入していない家庭での生活に対する満足よりも満足を得られるようになる必要がある。また、天候の変動があっても学習の効果をえられる必要がある。

よって、本研究が目指す学習方法であるためには、

- 時間経過と共に住人が不満を感じる回数が減少する
- HEMS を導入していない家庭での生活よりも不満を感じる回数が少なくなる
- 天候が毎日変動しても学習により上記2つの効果が得られる

の3つを満たす必要がある。これらを満たしているかを確認するために評価実験を行う。

5.1 評価環境

シミュレーションには、人間、家電、家庭をそれぞれモデル化した人間モデル、家電モデル、家庭モデルが必要となる。また、家庭の室内環境に影響を与える天候モデルが必要となる。シミュレーションはこれらの登場人物をインプットとし、住人が不満を感じた回数をアウトプットとすることでインプットに対しての住人の満足の変動を見ることができる。

本論文の評価実験では、家庭モデルは部屋1つのみとする。部屋には、家電が設置されており、人間が1人生活している。窓が設置されており、温度や照度等、外の環境からの影響を受ける。室内の座標については考慮せず、住人が室内のどこに存在しているかや、室内の場所ごとの環境情報の違いについては取り扱わない。

人間は満足度に従う家電操作と、時間に従う家電操作を行う。満足度に従う家電操作は家電の稼働状況、室内環境、消費電力の情報を元に満足度を計算し、満足度が低下している時に満足度が低下している原因を解決する目的で家電を操作する。時間に従う家電操作は、空調家電

や照明機器以外が対象となり、時間に基づいてスケジューリングされた行動である。

家電は、エアコン、電動カーテン、扇風機、ライト、PC、テレビ、冷蔵庫をそれぞれ1つずつ設置している。エアコン、電動カーテン、扇風機、ライトは住人の制御と HEMS の自動制御により操作される。使用中の PC、テレビ、冷蔵庫を停止させることは住人の満足度大きく損ねることから、住人の制御でのみ操作される。

天候モデルとして気象庁が公開している過去の気象データを用いた [5]。用いたデータは10分ごとに観測された愛知県名古屋のデータである。気象データとして用いたデータは気温(°C)、相対湿度(%),日照時間(分)である。気温と相対湿度は10分間同じ値とし、日照時間は日照時間×50を照度(lux)として扱い、10分間同じ値とする。

5.2 実験結果

図4は HEMS を導入していない家庭で毎日同じ天候の生活をおくった場合の不満を示す制御の回数である。毎日同じ天候で住人は毎日時間によってスケジューリングされた行動をとるので、毎日同じ回数不満を感じている。図5は HEMS を導入した家庭で毎日同じ天候の生活を送った場合の不満を示す制御の回数である。HEMS を導入しているのでシミュレーション開始時は自動制御により多くの不満を感じている。しかし、9日目になると不満を感じる回数は0となり、その後不満を感じることはなくなった。このことから、時間経過とともに住人が不満を感じる回数の減少と、HEMS を導入していない家庭での生活よりも少ない不満を感じる回数を実現した。

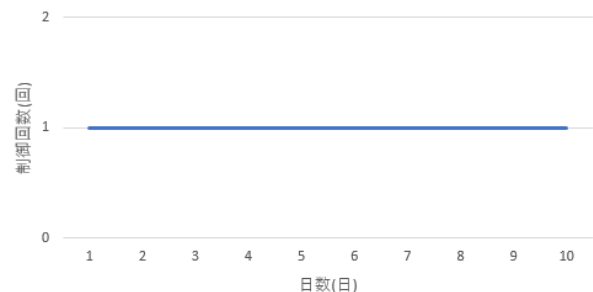


図4 不満を示す制御回数 (HEMS 無し, 天候変化無し)

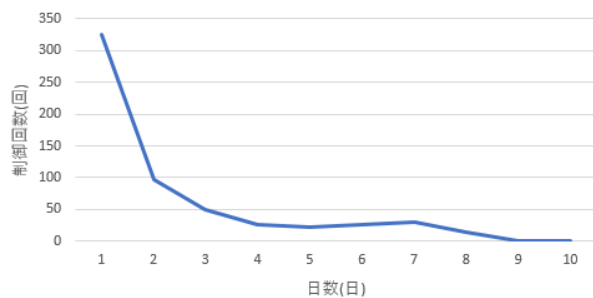


図5 不満を示す制御回数 (HEMS 有り, 天候変化無し)

図6は HEMS を導入していない家庭で変化する天候の

生活をおくった場合の不満を示す制御の回数である。天候の変化により、日によって感じる不満の回数変動している。図7はHEMSを導入した家庭で変化する天候の下生活を送った場合の不満を示す制御の回数である。緩やかにだが、不満を示す回数が減少していることが見て取れる。しかし、1日目の不満を示す回数が非常に多いことから、10日時点では十分に満足な生活ができてるとは言えない結果となった。このシミュレーションを1000日間続けた時の出力が図8である。

シミュレーション開始からの10日間と比較すると、991日目から1000日目は全ての日において学習の成果により不満を示す回数が減少したことが見て取れる。しかし、HEMSを導入していない場合と比較すると不満を示す回数が大きく増加していることから、住人の満足を最大化するという目的は達成できていない。

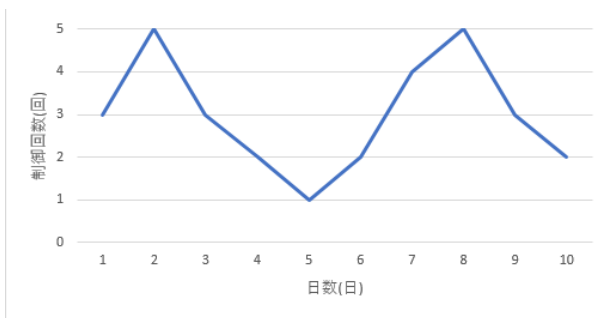


図6 不満を示す制御回数 (HEMS 無し, 天候変化有り)

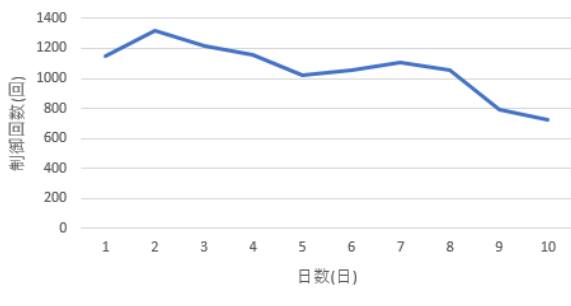


図7 不満を示す制御回数 (HEMS 有り, 天候変化有り)1

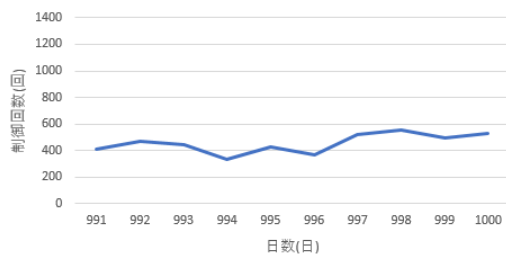


図8 不満を示す制御回数 (HEMS 有り, 天候変化有り)2

5.3 考察

天候が変化しない場合の比較では著しい学習の成果を観察できたとともに、HEMSを導入していない場合よりも不満を示す回数を減少させることに成功した。シミュレーション開始時の不満を示す回数の多さは、一般モデルと住人モデルとの差から生じたものであると考えられる。本研究では一般モデル生成のためのサンプリングを行わず、仮の一般モデルを用いたことから今回のような結果となったと考えられる。しかし、HEMSを導入していない場合と比較すると初日の不満を示した回数は約300倍にもなっており、一般モデルを入念に定義することは必須であることが分かる。

天候が変化する場合の比較では学習により次第に満足度を高めることができたが、満足を最大化することはできず、HEMSを導入していない場合よりも多くの不満を住人が示す結果となった。このことから、天候は住人の満足に大きく影響を与えていることが分かる。満足度評価関数は天候の情報も取得し、天候と住人の満足の関係も学習する必要があるということが言える。また、天候以外にも入力に想定できない住人の満足に影響を与える要素が存在することが考えられ、それらの要素に対して代替となる入力や、過去のデータを用いた予測等を用いて住人の満足を予測する必要がある。

6 おわりに

本研究では、HEMSにおいて、住人の生活に対する満足の個人差を機械学習を用いて学習し、住人の期待に添った制御計画を決定し、住人の満足を最大化する制御方法を提案した。今後の課題は、今回失敗した天候の変動を加味した学習の実現である。学習に必要な特徴量の吟味や特徴量の変換方法の模索が求められる。また、想定できない入力に対して代替となる入力や過去のデータを用いることを検討する必要がある。

参考文献

- [1] 大木浩武, 安本慶, 玉井森彦, “快適さと省エネのトレードオフの発見を支援する家電制御ユーザインタフェース,” マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, vol.4, pp.233-239, 2012.
- [2] 中部知, 久西宏章, “環境快適性と消費電力量を考慮した家電制御最適化手法,” 日本建築学会環境系論文集, vol.77, no.682, pp.1011-1019, 2012.
- [3] 堤富士雄, 伊藤憲彦, 三浦輝久, 中島慶人, 廣瀬文子, “節電ボリューム: 節電の手間を軽減するつまみ,” 情報処理学会インタラクシオン 2013, vol.2013, no.1, ROMBUNNO.13INT002, 2013.
- [4] 引原 隆士, “電力のパケット化とルーティング技術,” 情報処理, vol.51 no.8, pp.943-950 2010.
- [5] 気象庁, “過去の気象データ検索,” <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2017.