

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20257

研究課題名（和文）様々な嗜好を有する人々が共存する環境下における合意形成に基づいた制御

研究課題名（英文）A consensus builder for environmental condition settings in spaces where people with various preferences coexist

研究代表者

樽谷 優弥 (Tarutani, Yuya)

岡山大学・ヘルスシステム統合科学研究科・助教

研究者番号：10751175

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：情報通信技術を用いてネットワークに接続する様々な端末から情報を収集し、消費電力の削減等の目的に応じた機器制御を行うサービスが人の生活環境へ広がりにつつある。このような環境では、多種多様な嗜好をもつユーザの満足度への影響も考慮した機器制御が必要とされる。本研究課題では、異なる嗜好を有するユーザが生活する環境において、制御目的の達成とユーザの満足度の充足が両立可能な機器制御を提案する。

研究の結果、強化学習を用いた手法を提案し、空調や照明を対象とした制御によって最適な制御に近い制御が可能であることを明らかにした。また、完全な教師データがない状況でも適切な制御が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り組んだ合意形成による機器制御は、ユーザの嗜好を直接収集することを必要とせずとも、あらかじめ収集して作成したユーザストレスモデルを用いることで環境内の機器を制御し、消費電力の低減とユーザへの快適な空間の構築を可能とする。また、従来の制御手法では教師あり機械学習を用いた方法を主としていたのに対し、強化学習を用いることでデータの用意が不十分な状況でも適切に制御値を導くことができる手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：Various information is collected from IoT devices through the network. As such device becomes more familiar to users, network services are required to consider the influence of user. In this research, we propose a consensus building method for environmental condition setting in spaces where people with various preferences coexist.

As a result of our research, we propose a consensus builder using reinforcement learning. We show that our method achieves near-optimal control by controlling air conditioning and lighting. In addition, we show that appropriate control is possible even in situations where complete supervisory data is not available.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：Internet of things 合意形成 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

情報通信技術を用いてネットワークに接続する様々な端末から情報を収集し、消費電力の削減等の目的に応じた機器制御を行うサービスが人の生活環境へも拡がりつつある。特に生活環境では、ユーザの満足度を考慮しつつ目的を達成することが要求される。一方、公共空間やオフィス環境では、多種多様な嗜好を有するユーザが生活するため、全てのユーザの満足度を考慮した機器制御は容易ではない。

2. 研究の目的

本研究課題では、異なる嗜好を有するユーザが生活する環境において、制御目的の達成とユーザの満足度の充足が両立可能な機器制御を提案する。本研究では機器制御を達成するために、ユーザの感情、嗜好、反応を識別するユーザの満足度モデルを提案し、満足度モデルを用いた合意形成による機器制御手法を提案・研究開発する。

3. 研究の方法

本研究課題を達成するために、教師なし深層学習を用いた複数のユーザ間のコンセンサスビルド技術の開発に取り組むことで、本研究課題がもつ課題の解決を目指す。本研究では、多種多様なセンサ情報とユーザモデルを用いて、複数のユーザが生活する環境で全ユーザの合意が得られる制御値を決定する技術の開発を行う。ユーザモデルから得られる嗜好や満足度は、生体情報で代替して得られたものであり、完全な教師データが得られていない。そのため、本課題では環境情報やユーザモデルを用いた教師なし深層学習により、消費電力の削減等のシステム要求の範囲を定め、その範囲内で全ユーザの合意形成が可能な制御値を求める技術を開発する。そして、本実験をエミュレーション可能な環境を構築し、本制御技術を用いたシステムの有用性を検証する。

4. 研究成果

(1) 強化学習を用いた合意形成に基づいた制御方法に関する研究

IoT 機器の普及に伴い、ネットワークに接続した機器から様々な情報の収集や機器制御を行うことが可能となっている。特に消費電力を制御・管理を行う EMS(Energy Management System) では、収集した情報に基づいて消費電力を効率よく使用できるように機器制御が行われる。EMS では、機器の情報のみを収集し制御を行うため、人への影響について考慮されていない。一方、人の情報については、近年普及しているウェアラブル機器によってリアルタイムに取得可能である。しかし、複数のユーザが混在する環境下では個別に対応できない機器が多く、全てのユーザ間で合意が取れる制御を行う必要がある。従来手法では、心拍数等のユーザ情報とユーザストレスの関係を明らかにし、ユーザ満足度が定義された。また、ユーザストレスモデルを作成し、ユーザ満足度を制約とした消費電力の最小化が提案された。しかし、従来手法では、環境規模の増大に伴う計算量の増大に対応できないこと、消費電力の低減よりもユーザ満足度の向上を優先しているという2つの課題がある。本研究ではこれらの課題を解決するために、強化学習を適用した合意形成に基づく機器制御を提案する。提案手法では、全探索による解の導出部を学習器に置き換えることで計算量の低減を目指す。また、消費電力とユーザ満足度に重みを設定して学習することで、消費電力とユーザ満足度のトレードオフを操作できる制御を目指す。提案手法では、強化学習手法として、DQN(Deep Q Network)を用いる。DQN は、制御値の決定部を DNN で近似することにより、状態を縮約することができる。提案手法を評価するためにシミュレーションを行い、図1のような制御結果を得た。シミュレーションは大きく3パターンに分類できる。まず、2018年8月の外気温を用いた学習器を同期間の気温でテストした。次に、2018年8月の外気温を用いた学習器を、2019年8月の外気温でテストした。さらに、ユーザ数を増加させた場合についてテストした。評価の結果、提案手法によって得られた制御値は、従来手法と比較して報酬を平均で約1.5倍に向上できることを明らかにした。また、最適値と比較して99.5%の報酬値を達成できることを明らかにした。また、強化学習を適用することにより、従来手法と比較して計算量を大幅に低減させた。

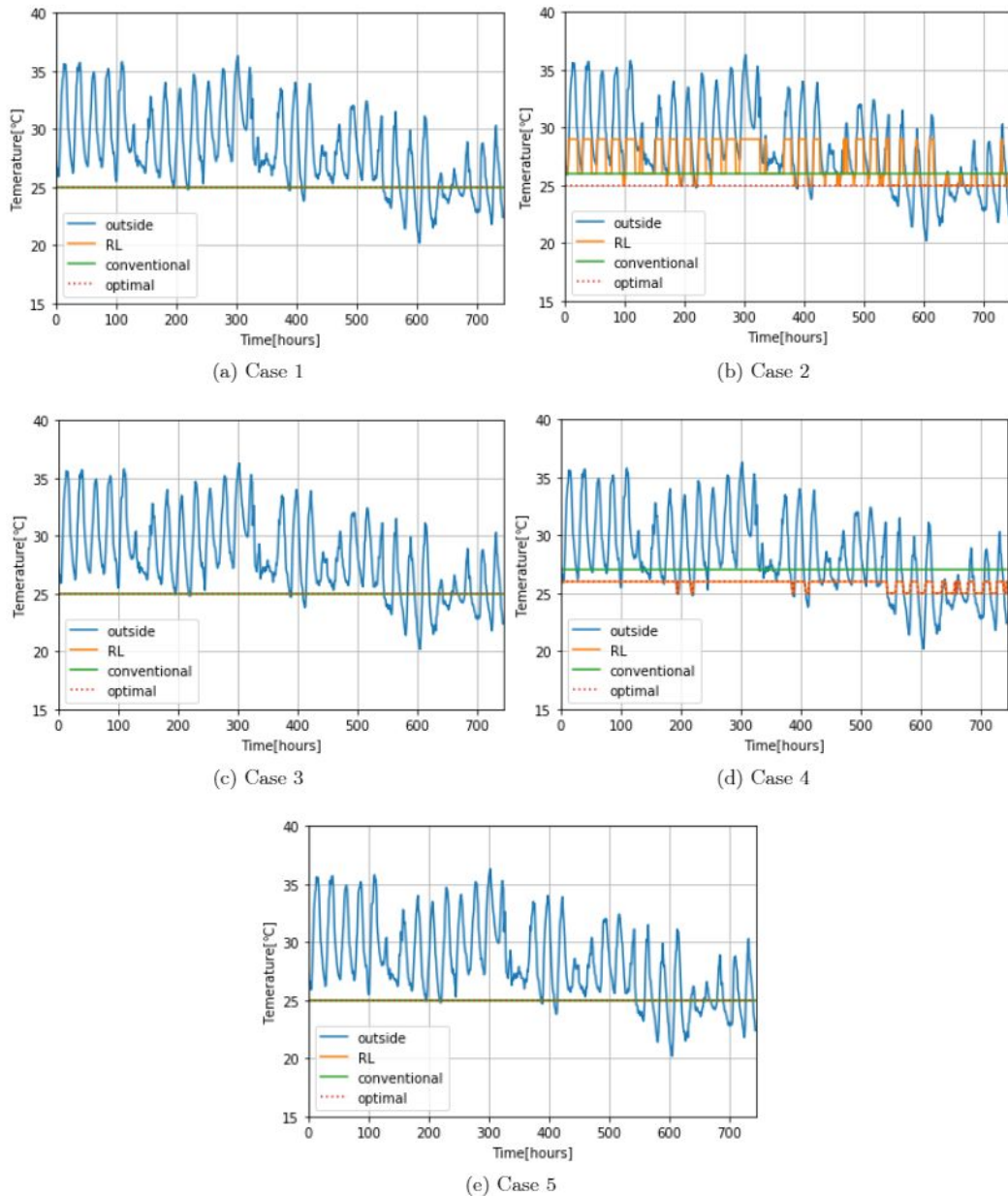


図1 強化学習を用いた合意形成による制御結果

(2) 人の入退室を考慮した制御方法に関する研究

近年、様々な機器がネットワークに接続している。このようなネットワークに接続する機器の増加により、様々な情報の収集や、機器制御が行えるようになってきている。特に、エネルギーマネジメントシステム(EMS)では、様々な機器から収集した情報を用いて、消費電力を効率良く使用できるように機器制御が行われる。EMSはこれまでビルや工場などの消費電力の低減を目的として行われてきたが、ネットワークに接続する機器の種類が多様になるにつれ、オフィスや家庭等のユーザの身近な機器制御にも適用されつつある。このような場所では、消費電力の低減だけでなく、対象となる環境で生活するユーザへの影響も考慮する必要がある。従来手法では、オフィスを対象として様々なユーザが混在する環境において、ユーザ間の合意形成に基づいた制御について提案している。合意形成に基づいた制御とは、各機器の制御値の決定の際に、各ユーザへの影響を考慮し、全てのユーザ間で合意を得ることを考慮する。ユーザの満足度は照明の色や明るさ等によって変化することが言われている。これを利用して、制御機器の各パラメータに対する各ユーザの満足度をモデル化するために、生体情報を実験によって収集して用いている。このユーザモデルを用いることで、制御値に対する各ユーザの満足度を算出することができ、全てのユーザ間で合意形成可能な制御値を導いている。しかし、オフィス等の環境では、ユーザはその環境内に常に滞在しているとは限らず、入退室が発生する。従来手法では、全てのユーザが当該環境に滞在し続けていることを前提としており、そのような状況は考慮していない。このような状況に対し、各ユーザの行動予定に基づいて、合意形成を行うユーザを選択することで対応することが考えられる。しかし、急な予定変更等によって、全てのユーザが行動予定通りに動くとは限らない。そのため、人の入退室をリアルタイムに考慮した制御が必要とされる。しかし、

空調の温度設定の変更が室温に反映されるには時間がかかり、また入退室が発生する度に制御値を再計算するのは現実的ではない。そこで本研究では、人の出入りを考慮した合意形成に基づいた制御を提案する。提案手法では、合意形成に基づいた制御と同様にユーザの嗜好をモデル化したユーザモデルを用いる。ユーザの入退室を考慮するため、制御間隔を1つのタイムスロットとしたタイムテーブルを作成し、タイムテーブル毎に合意形成に基づいた制御値を決定する。また、ユーザの入退室をリアルタイムに反映できるように、制御値の決定には強化学習を用いた制御方法を提案する。提案手法によって表 1 のように人の入退室を考慮することで急な入退室に対して追隨して制御することでユーザ満足度を改善することができた。

表 1 人の入退室を考慮した制御手法の結果

	満足(%)	普通(%)	不満(%)
予定変更前の理想値	34.626	40.629	24.745
予定変更後の理想値	39.875	45.463	14.663
提案手法	37.863	43.184	18.952

(3) 外気温によるユーザへの影響を考慮した合意形成を用いた制御手法に関する研究

近年、IoT(Internet of Things) 機器が身近になりつつある。これらの機器はインターネットを介して、様々な情報の収集や制御を行うことができ、消費電力の最適化等様々な用途に用いられる。しかし、生活環境内の機器を制御する際には、消費電力の低減等の目的の達成だけでなく、環境内のユーザへの影響も考慮しなくてはならない。従来研究では、そのような問題を解決するために、ユーザの生体情報を用いて制御値に対するユーザの満足度をモデル化し、そのモデルを用いてユーザ間で合意形成が可能な機器の制御値を算出する制御方法を提案してきた。従来研究では様々な機器の制御を想定した制御を提案しているが、室温に着目すると、問題の単純化のために室温は空調の設定温度と等しいと仮定している。しかし実環境では、外気温によるユーザの体感温度がユーザの位置によって異なることが考えられる。本研究では室温に着目し、従来研究において考慮されていないユーザの位置による外気温の影響を考慮した制御手法を提案する。提案手法では、図2に示すようなユーザの位置、外気温と空調の室温設定から体感温度の上昇値を算出するモデルを提案した。体感温度の上昇値の計算は、熱貫流率やユーザの位置や、室温と外気温の温度差などを用いて放射照度を求め、その放射照度から、人体の熱が当たる面積分の熱量を計算する。そして、その熱量により人体周辺の空気薄膜の温度がどれだけ上昇するかを求める。これを各ユーザそれぞれで計算し、従来手法の室温に適用することで、ユーザに対する外気温の影響を考慮した手法を提案する。本稿では、提案手法の評価のため、空調と照明の制御を行う手法を用いてシミュレーションを行った。その結果、最適制御の報酬値と比較して最大 100%、最低でも 85.9%という高い達成率を得る制御値を算出できることを明らかにした。

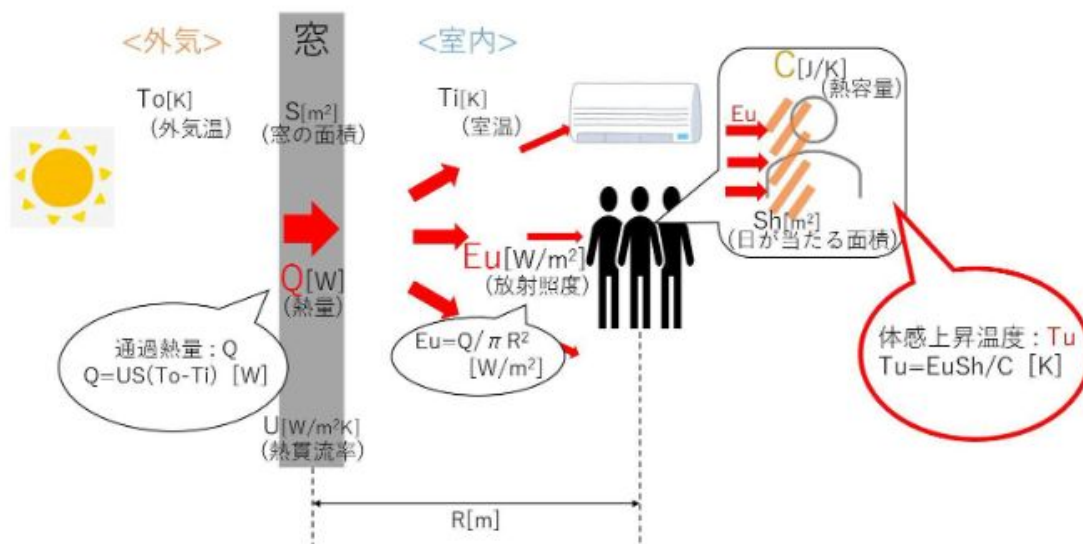


図 2 外気温による温度上昇モデル

(4) ユーザモデルがないユーザがいる場合における学習器選択アルゴリズムの提案

近年、ネットワークに接続する機器の種類が多様になるにつれ、オフィスや家庭等のユーザの身近な環境でも機器制御が行われている。このような環境では消費電力の削減等の機器制御を目的とするだけでなく、対象となる環境で生活するユーザが快適に過ごすことができる合意形成が可能な機器制御が求められる。従来研究では、生体情報と各機器の制御値からユーザの満足度を算出するユーザモデルを構築した。そして、ユーザモデルと強化学習を用いて各機器の制御値を決定する合意形成制御に基づいた制御を提案している。

従来手法では、環境内の全ユーザのユーザモデルが構築されていると仮定している。しかし、オフィス等の環境ではユーザモデルが構築されていない未知のユーザが存在する。それらのユーザの満足度を考慮するには、実験によりユーザモデルを構築し、制御値を決定するために学習器を構築しなおす必要がある。このような実験や再学習には時間を要するため、制御に用いるには現実的ではない。

本稿では、この問題を解決するために、未知のユーザモデルに対応した合意形成に基づいた機器制御を提案する。提案手法では、既知ユーザモデルを未知ユーザモデルの代替として、複数の学習器を構築する。そして、それらの学習器の中から適切な学習器を選択することで、未知のユーザモデルに対応する。本稿では、適切な学習器を選択するために、学習器選択アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムは、各学習器が用いる仮のユーザモデルから算出される満足度と未知ユーザの満足度を比較することで、各学習器を評価し、適切な学習器を選択する。

シミュレーションによる評価の結果、表2に示すように提案アルゴリズムにより、アルゴリズム動作後も仮のユーザモデルから算出される満足度と未知ユーザの満足度の一致率が高い学習器を選択することができることを明らかにした。一方、アルゴリズム動作後の消費電力とユーザ満足度の報酬の和を比較した結果、ユーザ満足度の一致に基づいた選択では、合意形成制御に基づいた制御が目的とする期間全体の報酬が高い制御を実現することは難しいことが明らかとなった。

表2 学習器選択アルゴリズムによる選択結果

総報酬	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
学習器1	8410	7782	8136	8763
学習器2	8244	7265	8136	6836
学習器3	8507	6821	8136	8101
学習器4	7917	7782	8136	6451

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 樽谷優弥
2. 発表標題 様々な嗜好を有する人が混在する環境における合意形成に基づいた制御手法の提案
3. 学会等名 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Isato Oishi, Yuya Tarutani, Yukinobu Fukushima, Tokumi Yokohira
2. 発表標題 Proposal of device control method based on consensus building using reinforcement learning
3. 学会等名 ICOIN 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------