

参加者限り機密

ゆらぎ学習を用いた室内快適性向上のためのマルチアクチュエータ制御手法の考案と実装

大阪大学 基礎工学部 情報科学科
村田研究室 東田昂大

特別研究報告会 2024年 2月 14日

1

背景

参加者限り機密

2

- 人間が活動する室内環境の快適性の向上が重要^[1]
 - 先進国では9割以上の時間を室内で活動
- 室内環境は主に4つの快適性で評価^[2]
 - 温熱的快適性：温度・湿度などが要因
 - 音響的快適性：音の大きさ・周波数などが要因
 - 視覚的快適性：輝度・色合いなどが要因
 - 呼吸器的快適性：汚染物質・換気率などが要因
- 複数の環境快適性を考慮した室内環境の快適性向上手法はほとんどない
 - 室内環境の快適性を複数の制御の組み合わせによって向上させる方法の確立は未解決



^[1] M. Franziska and F. Wargatzki, "Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments," Building and Environment, vol. 46, no. 4, pp. 912-937, 2011.
^[2] Y. Song, F. Ma, and D. Liu, "Human comfort in indoor environment: A review on assessment criteria, data collection and data analysis methods," IEEE Access, vol. 7, pp. 129 774-129 786, 2019.

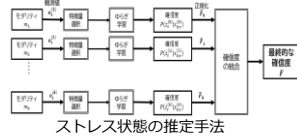
2

ストレス状態の推定手法^[11]

参加者限り機密

3

- 個人差に対応した特徴量の選択処理
 - 個人それぞれに対して複数の生体情報から特徴量を選択
 - BAM^[10]に基づくゆらぎ学習によってストレス状態を推定
 - アトラクターに選択された特徴量を記憶
 - 観測された情報から意思決定を実現
 - 推定結果は確信度として出力
- 生体情報のマルチモーダル統合処理
 - 複数の生体情報の推定結果を統合
 - 確信度が低い生体情報は統合処理から除外
 - 単一の生体情報による推定よりも高い精度で推定可能



^[10] S. Bitzer, J. Bruineberg, and S. J. Kiebel, "A Bayesian attractor model for perceptual decision making," PLoS computational biology, vol. 11, no. 8, p. e1004442, 2015.
^[11] R. Yoshida, "Real-time stress detection using yuragi learning by multimodal integration of living-body information," Master's thesis, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Feb. 2023.

3

快適性向上のための制御の実装^[9]

参加者限り機密

4

- 温熱環境に対するストレスの推定に文献^[11]を利用
 - Empatica 製の E4 リストバンドを使用して生体情報を測定
 - 生体情報は皮膚電気活動, 容積脈波, 心拍間隔, 皮膚温度を使用
 - マルチモーダル統合処理によって1秒ごとにストレス状態を推定
- 推定結果に基づくアクチュエータの制御
 - 温熱環境によるストレスを軽減するためにサーキュレータを使用
 - 一定周期ごとにサーキュレータによる送風制御
 - ストレス状態であると推定された回数が多ければ送風
 - 非ストレス状態であると推定された回数が多ければ停止
 - アクチュエータによるリアルタイムな制御が可能



^[9] K. Hara, R. Yoshida, D. Komizumi, Y. Ohita, M. Kaihatsu, and M. Murata, "Indoor environment control method for improving well-being using human thermal stress estimated by yuragi learning," in Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics (IEEE ICCE), Jan. 2024.
^[11] R. Yoshida, "Real-time stress detection using yuragi learning by multimodal integration of living-body information," Master's thesis, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Feb. 2023.

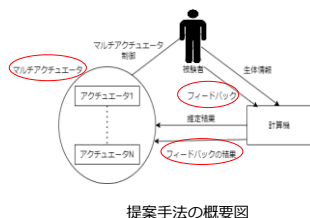
4

目的とアプローチ

参加者限り機密

5

- 目的
 - 複数の環境快適性を考慮した室内環境の快適性を向上する手法の考案・実装
- 課題
 - 快適性は個人差や状況に依存
 - アクチュエータの数が増えるとアクチュエータの動作の組み合わせ数が増大
- アプローチ
 - フィードバックを用いることで個人のおかれた状況に応じて適切なアクチュエータの動作の組み合わせを決定



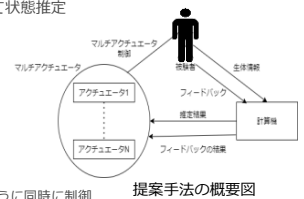
5

実装するマルチアクチュエータ制御

参加者限り機密

6

- リアルタイムでの生体情報の取得
 - 複数の生体情報を同時に取得
- ゆらぎ学習によるストレス推定手法^[11]を利用して快適性を推定
 - マルチモーダル統合処理によって状態推定
- フィードバック機能
 - 現在の実際の快 / 不快を送信
 - マルチアクチュエータ制御の組み合わせを変更
- マルチアクチュエータ制御
 - 室内環境の快適性を向上させるように同時に制御



^[11] R. Yoshida, "Real-time stress detection using yuragi learning by multimodal integration of living-body information," Master's thesis, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Feb. 2023.

6

マルチアクチュエータ制御の方針

参加者限り機密

7

- **マルチアクチュエータ制御による室内環境の改善**
 - 関連研究では単一のアクチュエータによる制御は実装
 - 単一のアクチュエータでは改善できない場合に対応
 - マルチアクチュエータを使用することでより快適性の向上を実現
 - 複数の室内快適性に対して作用
- **マルチアクチュエータ制御の変更**
 - ゆらぎ学習の推定結果による変更
 - 推定結果に対応したマルチアクチュエータ制御に変更
 - フィードバックによる変更
 - 不快のフィードバック：制御の組み合わせを変更
 - 快適のフィードバック：制御の組み合わせを決定
 - 不快のフィードバックを入力することでマルチアクチュエータ制御の組み合わせを変更して、快適な組み合わせを探す

7

システムの実装

参加者限り機密

8

- **送風と音響を同時に制御**
 - フィードバックのインターフェースにはキーボードを採用
 - それぞれの制御を ON / OFF することで計 4 種類の制御を候補
 - サーキュレータによる送風制御
 - 計算機がサーキュレータにコマンドを送信することで制御
 - 風量・風向を制御可能
 - スピーカーによる音響制御
 - フリー素材の自然音を出力
 - プログラムからスピーカの音量をミュート / 非ミュートするコマンドを呼び出すことで制御
- **20秒ごとにマルチアクチュエータ制御を実行**
 - 推定結果やフィードバックによって制御を変更



サーキュレータ



スピーカー

8

システムの動作検証：検証内容

参加者限り機密

9

- **実装したシステムを実機で検証**
 - 1名の男性を被験者として動作検証
- **事前学習**
 - 温熱環境の異なる2つの部屋で事前学習（生体情報の取得）
 - 快適な部屋：25℃
 - 不快な部屋：30℃
 - それぞれの部屋で10分間生体情報の測定
- **マルチアクチュエータ制御**
 - 事前学習から十分時間をおいてから、不快な部屋で10分間過ごす
 - ゆらぎ学習による快適性の推定結果を確認
 - フィードバックを入力した際のアクチュエータ（サーキュレータとスピーカー）の動作を確認

9

システムの動作検証：結果

参加者限り機密

10

- **94.9% の割合で正しく推定**
 - **ゆらぎ学習の推定結果やフィードバックに応じてマルチアクチュエータ制御が変更**
- 不快のフィードバック
--- 推定結果の変化
--- 快適のフィードバック
- | 推定結果 | 変更する制御 |
|------|--------|
| 快適 | 音響→送風 |
| 不快 | 送風→音響 |
- 制御の組み合わせの変更方針
- 快適
- 不快
- ゆらぎ学習の推定結果
- サーキュレータ
- ON
- OFF
- スピーカー
- ON
- OFF
- マルチアクチュエータ制御の変遷

10

まとめと今後の課題

参加者限り機密

11

- **まとめ**
 - 室内快適性向上のためのマルチアクチュエータ制御手法の考案と実装
 - フィードバックによるマルチアクチュエータ制御の変更の動作検証
- **今後の課題**
 - 提案手法による室内環境の快適性評価
 - マルチアクチュエータの組み合わせの探索手法の考案
 - 今回は全探索でも可能な組み合わせの総数
 - 組み合わせの総数が膨大になったときに効率良く探索する方法が必要
 - アクチュエータが環境に作用するのにかかる時間の考慮
 - 今回実装した送風制御と音響制御は即時に室内環境に作用
 - 室内環境に作用するのに長い時間が必要なアクチュエータを使用するときどのように利用するか検討が必要

11