

6Y-05

プロジェクションマッピングによる清掃行動サポートシステム Cleaning Activity Support System with Projection Mapping

深澤真愛¹
Mana Fukasawa

八重樫 遼²
Ryo Yaegashi

中山 悠²
Yu Nakayama

1. はじめに

近年、様々なセンサを用いたモニタリング技術が研究されている。清潔な環境に対する社会的な要請が高まる中で、加速度センサを用いて清掃行動を識別する技術[1]が提案された。さらにユーザをモニタした上でフィードバックを与え次の行動を促すことの重要性が注目されている。例えば、先行研究[2]ではリハビリ入院患者の活動状態をモニタリングしその結果のフィードバックを行うことで患者自身の行動変容が行われたと報告している。一方で、モニタリングした清掃行動に対して、その結果に基づいた具体的な行動変容方法は未検討である。そこで本論文では、プロジェクションマッピングによる清掃行動サポートシステムを提案する。具体的な取り組みとして、加速度センサと BLE ビーコンを用いてユーザの動作識別と位置検知を行い、ユーザの動作が基準を達する際に該当部分の投影を変化させる。その結果、ユーザに十分な清掃を視覚的に誘導できる。事前に設定した要求条件に対する清掃行動の達成率を実験によって測定し、プロジェクションマッピングを用いない場合と比べて、提案手法により達成率を大幅に向上できることを確認した。

2. 提案手法

2.1 概要

提案手法の概要を図1に示す。提案手法では、図2のように複数のブロックに分割した清掃対象範囲において、ユーザは加速度センサを取り付けたモップを用いて清掃を行う。その際取得した加速度データをコンピュータに転送する。また、ユーザに取り付けた端末において複数のビーコンから測定した受信強度を用いて測位を行い、位置情報をコンピュータに転送する。加速度データと位置情報を受け取ったコンピュータは、ユーザの清掃行動と位置を推定する。その結果を用いて、清掃行動のある回数以上行ったかどうかを判定し、基準を達成した清掃ブロックに対してプロジェクタから投影される画像を変化させる。これによって、ユーザに対して未清掃ブロックでの清掃を促し、効率のかつ十分な清掃のサポートを行う。

2.2 清掃行動認識

加速度センサを取り付けたモップを用いて清掃を行う。認識清掃行動の集合を \mathbf{A} とし、その識別子を \mathbf{a} とする。また、投影変化に関与する清掃行動群を \mathbf{A}' とする。サンプリング周波数 f で取得した 3 軸加速度データを、時間ウインドウ τ 秒で区切ったベクトル $\{x_1, y_1, z_1, \dots, x_{f\tau}, y_{f\tau}, z_{f\tau}\}$ を用いて、



図1 提案システムの概要



図2 上から見た清掃範囲

ユーザの行動 x が \mathbf{A} 中のいずれの行動に該当するかを機械学習を用いて判定する。 x の推定結果として、 i 番目の時間ウインドウ t_i に行った行動 a_{t_i} を記録する。

2.3 清掃ブロック認識

清掃対象範囲を S 、清掃ブロック集合を \mathbf{B} としてブロック識別子を b とする。ユーザが身につけている受信機とビーコン $k \in \mathbf{K}$ の受信強度 r_k を用いて、 S 内の位置情報 \mathbf{v} を推定しコンピュータに送信する。当該時刻に清掃を実施したブロック b_{t_k} として位置情報 \mathbf{v} が含まれているブロック b を記録する。

2.4 プロジェクタによる行動変容法

ブロック b の状態として、清掃完了状態、清掃未完了状態を用意し、それぞれ True, False と定義する。このとき、ブロック b の状態を s_b とすると、0 または 1 のバイナリ変数として表せる。初期値は $s_b = 0$ である。ブロック b の清掃完了条件について、行動集合 \mathbf{A}' のいずれかに認識された時間ウインドウ数を $R_{b, \mathbf{A}'}$ とおき、ユーザの当該行動カウントを $c_{b, \mathbf{A}'}$ とおく。ブロック b におけるユーザの行動 x が \mathbf{A}' に含ま

¹ 東京農工大学 工学部 知能情報システム工学科
Department of Electrical Engineering and Computer Science,

Tokyo University of Agriculture and Technology

² 東京農工大学 工学府情報工学専攻

Department of Computer and Information Sciences,
Tokyo University of Agriculture and Technology

れる場合、 $c_{b,A'}$ がインクリメントされ、 $c_{b,A'} \geq R_{b,A'}$ を満たしたとき、 $s_b = 1$ とする。 s_b に応じて当該ブロックへの投影映像を切り替えることで、ユーザに対して視覚的に各ブロックの清掃状態を伝え、次の行動への誘導を行う。

3. 実験結果

3.1 実験条件

認識する清掃行動の集合**A**として、先行研究[3]に従い Wipe, Sweep, Rub, Insert, Other の5種類を含めた。プロジェクタでの投影変化に関する清掃行動群**A'**には**A**の内、非清掃行動である Other と、歩き回るため定められた場所での清掃に該当しないWipeの2つを含めないこととした。識別に採用した機械学習アルゴリズムとしては、先行研究[3]において最も精度が高いと判明した Long Short-Term Memory(LSTM)を採用した。特徴量としては、サンプリング周波数 100Hz で取得した3軸加速度データを2秒分の時間窓で切り分けた600次元のベクトルを使用した。実験では、モップに3軸加速度センサ MEMSIC MC3630 を搭載した TWELITE CUE を取り付けた。取得した加速度データは IEEE802.15.4 準拠の TWELITE プロトコルでコンピュータへ送信される。行動認識を行うモデルを作成する際の学習データとして、20代男女5名の被験者から1人あたり1行動ごとに5分間の加速度データを収集した。

清掃ブロック認識には SANWA 社の BLE ビーコン MM-BLEBC5 を使用した。清掃対象範囲の四隅にビーコンを設置し、ユーザが身につけている受信用 Android 端末との距離を近接性方式を用いて測定する。その結果、最も距離が近いビーコン ID を取得し、その情報を UDP 通信によってコンピュータに転送する。

投影は RICOH 社の短焦点プロジェクタ WX4241N を天井付近から床に向けて行った。未清掃ブロックはこげ茶色、清掃済み範囲を水色で表し、分割した4つのブロックそれぞれの色が変化するすべてのパターンである16種類の画像を用意した。最初はすべてのブロックがこげ茶色である画像の投影を行い、清掃基準を達したブロック b から順に水色であるものへ投影画像を切り替える。今回、清掃基準 $R_{b,A'}$ を5に設定した。

3.2 評価実験結果

提案手法の有効性を検証するために、評価実験を行った。20, 30代の男女9名の被験者に対し、プロジェクタによる投影を行わない場合(i)と行った場合(ii)に対して、それぞれ最大3分清掃を行った。清掃完了後の $c_{b,A'}$ を記録し、ブロックの基準の達成度 L_b を以下の式で計算し、評価に用いた。

$$L_b = \text{Min}(1, \frac{c_{b,A'}}{R_{b,A'}})$$

投影を行った様子を図3, 4, 5で示す。図のように清掃基準 $R_{b,A'}$ を達したブロック b が水色のブロックになる。全被験者の4つのブロックの L_b の平均値が表1である。実験結果より、本システムを行って投影を行うと十分な清掃行動を促し、ユーザ自身の行動変容を起こすことが出来ることがわかった。

4. まとめ

本論文では、プロジェクションマッピングを用いた視覚的な清掃行動サポートシステムの提案を行った。今回、加



図3 $s_b = 0(b=1,2,3,4)$ の場合



図4 $s_b = 1, s_b = 0(b = 2,3,4)$ の場合

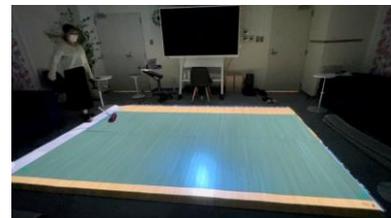


図5 $s_b = 1(b = 1,2,3,4)$ の場合

表1 投影の有無による基準達成度

(i)投影なし	(ii)投影あり
0.38	0.89

速度データを用いた清掃行動識別とビーコンを用いた位置測位を組み合わせた。このことにより、ユーザ自身の清掃行動のリアルタイムでの未清掃箇所の可視化を可能にした。また清掃対象範囲をブロックごとに分割することで清掃箇所の偏りを防ぎ、より効率的な清掃のサポートを行えることを明らかにした。今後の課題として、清掃基準の定め方が不明確であることがあげられる。実際の清掃を行う現場では床の材質や家具の配置等により特に汚れがたまる箇所がある。今後は特に清掃が必要な部分の特定と、汚れ度合いに応じた基準設定の方法を検討していきたい。

謝辞

本研究の一部は、LNest Grant, DUSKIN CO., LTD, JST ACT-I (JPMJPR18UL), さきがけ(JPMJPR2137)の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] R. Yaegashi, et al. IEEE CCNC, Las Vegas, USA, Jan. 2022.
- [2] 佐藤里江子, et al. 電子情報通信学会総合大会, 2019.
- [3] 八重樫遼, et al. FIT2021 第20回情報科学技術フォーラム, 2021.