

## 装着型プロジェクタを用いた移動中の床上投影の高度安定化

千葉 佑二† 柴山 咲希†† 辻 愛里††† 藤波 香織†††  
 † 東京農工大学 工学部 情報工学科 †† 東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻  
 ††† 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門

### 1 はじめに

近年、プロジェクタの小型化・高性能化により、歩行者ナビゲーションに用いる研究が多く存在している。特に装着型プロジェクタはハンズフリーな性質により、両手が拘束される作業支援や歩行支援などで用いられている。しかし、歩行に伴う投影のブレが生じて視認性が悪化することが問題として挙げられる。

先行研究 [1] ではプロジェクタ姿勢に応じた投影画像補正手法が提案され、ユーザから一定の位置・サイズでの投影が実現された。しかし、この方法ではセンサから取得したデータがそのまま入力に与えられて画像補正を行うため遅延が生じ、投影時の姿勢とは異なってしまうことから投影位置のずれが問題となる。

本研究では遅延を考慮した補正手法を提案する。評価実験ではトレッドミルを使用し、歩行時の投影誤差と視認性に関するアンケートにより補正手法を評価した。

### 2 提案手法

本研究では姿勢予測手法と間引き手法の2種類の補正手法を提案する。姿勢予測手法では、ユーザの歩行データからプロジェクタ姿勢予測モデルを構築し、1フレーム後の姿勢を予測した補正により処理遅延を補償する。間引き手法では、投影位置の変化が大きい部分のみ補正を中断し、見かけ上の補正を行う。

### 3 投影安定化システムの概要と実装

#### 3.1 システム概要

提案システムではプロジェクタに取り付けた慣性センサから姿勢角を取得し、投影位置を計算することによって投影安定化を実現する。システム概要図を図1に示す。情報投影モデルは実世界座標系で指定された画像位置・サイズの条件を満たすようなプロジェクタ座標系での描画位置を計算する。プロジェクタパラメータモデルはプロジェクタ座標系と実世界座標系を交互に変換する際に使用される。また、予測/間引きモジュールで遅延補償を施した姿勢角を出力する。出力頂点計算モジュールで変換後の画像頂点を算出し、画像描画モジュールで投影画像を生成する。

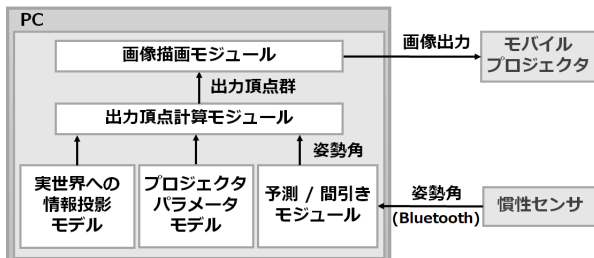


図1: システム概要図

提案システムでは胸部へのプロジェクタ装着を想定して実装を進めた。胸部装着を採用した理由として、歩行時のナビゲーションには胸部が装着感や映像の遮断性などの評価が高いこと [2]、投影光が周囲の人の目に当たりにくく、ユーザへの負担が少ないこと [3] などの利点が挙げられる。図2の左図は装着の様子、右図は構成を示している。デバイスはモバイルプロジェクタ、慣性センサ、反射鏡で構成される。反射鏡はプロジェクタからの情報を床上に投影するため使用している。

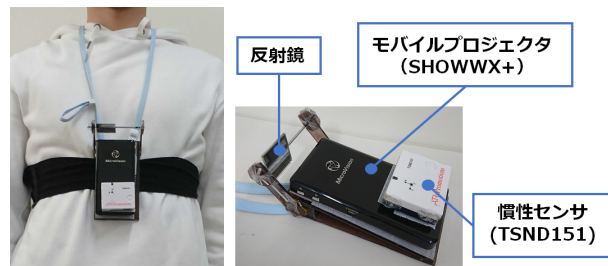


図2: 左: デバイス装着の様子 右: デバイス構成

#### 3.2 姿勢予測モジュール

提案システムでは予め作成した姿勢予測モデルを用いて処理遅延を補償する。本手法では時系列データ予測に用いられる LSTM (Long Short-Term Memory) を使用し、処理遅延時間である 50 ミリ秒後のプロジェクタ Pitch 角を予測した。学習データの前処理として、Savitzky-Golay フィルタにより平滑化した。また、時間経過による姿勢傾きの影響を考慮して歩行データのトレンド成分除去を行った。トレンド成分除去では事前調査により最も効果があった移動メディアンをトレンド成分に採用した。モデル生成時の学習パラメータについても事前調査の結果を基に選定した。

#### 3.3 間引きモジュール

提案システムでは投影位置の変化が大きい部分のみ補正を中断し、見かけ上の補正を行う。本手法では姿勢の変化方向が変わる部分（波形のピーク部）を投影位置の変化が大きい部分とし、検出した際に補正を中断する。検出には閾値判定を用い、一定間隔でプロジェクタ姿勢データから平均と閾値を計算する。本システムでは標準偏差を閾値に設定した。現在の姿勢と平均値との偏差を計算し、閾値を超えていたら補正を中断する。つまり、式 (1) の条件を満たす場合には姿勢情報を更新せず 1 フレーム前の画像を投影する。式 (1) の  $\theta_{p,t}$  は時刻  $t$  におけるプロジェクタの Pitch 角、 $\bar{\theta}_p$  は平均値、 $th$  は閾値である。

$$|\theta_{p,t} - \bar{\theta}_p| > th \quad (1)$$

## 4 評価実験と考察

### 4.1 概要

提案した投影補正手法による歩行時の投影安定化効果の調査を目的として、20代の10名（男性5名、女

Robust on-the-move floor projection for a wearable projector system  
 † Yuji CHIBA †† Saki SHIBAYAMA ††† Airi TSUJI †††† Kaori FUJINAMI  
 †, ††, ††† Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

性5名)を対象に評価実験を行った。補正手法を定量的に評価するため、胸部に装着したプロジェクタから床上に画像を投影した状態でトレッドミル上を歩行させ、歩行中の投影画像を固定したカメラで上から記録し、画像中心点をトラッキングした。また、同じ歩行条件で投影誤差を記録するため、補正有りとなしの画像を横に並べ同時に投影した。なお、トレッドミル速度は被験者ごとに歩きやすい速度に設定した。実験で使用した投影パターンは補正無し、従来手法 [1], 姿勢予測手法, 間引き手法の4つである。被験者は補正有りとなしの組合せ3パターンで投影画像を見ながら1分間トレッドミル上を歩行した。その際、画像の左右位置を入れ替えて1回ずつ、計2回の記録を行った。また、盲検法により、補正したものがどちら側かは知らされていない。各投影パターンを視認後、どちらが補正した画像か隠した状態で表1に示すアンケート内容に回答してもらった。回答方法は「左のパターンが当てはまる」を1、「右のパターンが当てはまる」を5とした5段階 Likert 尺度評価である。

表 1: アンケート内容

質問	内容
Q1	投影画像が一定エリアに留まっていたと感じたのはどちらですか？
Q2	画像の上下移動が少ないと感じたのはどちらですか？
Q3	画像が見やすいと感じたのはどちらですか？

#### 4.2 定量評価の結果

実験時に記録した投影面の映像から画像中心点を検出し投影位置を求めた。その際、画像初期位置との差の絶対値を投影位置誤差とした。比較には補正画像の最大位置誤差を補正無し画像の最大位置誤差で割った値(以下、相対最大位置誤差と略記)を用いた。被験者10人の相対最大位置誤差の平均をとったものを図3に示す。補正手法と相対最大位置誤差の関わりに Friedman 検定を有意水準5%で行ったところ、有意差が認められ ( $p=0.00026$ )、ライアンの方法による多重比較を有意水準5%で行った結果、すべての組み合わせで有意差が認められ、従来手法の精度が最も良いということが分かった。また、補正無しと補正有りの最大位置誤差について Wilcoxon の符号付順位和検定を有意水準5%で行ったところ、従来手法と姿勢予測手法で有意差が確認されたが、間引き手法では有意差が認められなかった(従来:  $p=0.00020$ , 予測:  $p=0.035$ , 間引き:  $p=0.27$ )。

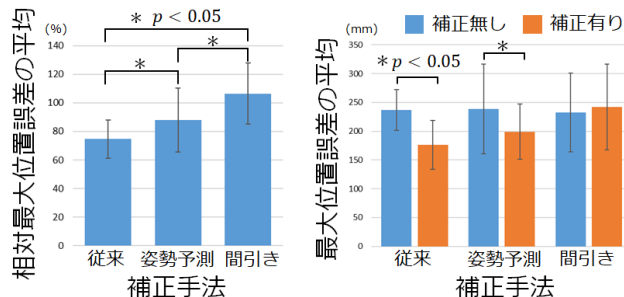


図 3: 左: 相対最大位置誤差の平均 右: 最大位置誤差の平均

#### 4.3 定性評価の結果

定性評価の結果を図4に示す。回答時は左右のどちらからか回答してもらったため、そのままの点数では評

価することができない。そのため、回答点数を「補正なしが当てはまる」を1、「補正有りが当てはまる」を5とした5段階評価に変換した。各手法のアンケート結果に Friedman 検定を有意水準5%で行ったところ、いずれも補正手法の間に有意差は認められなかった。

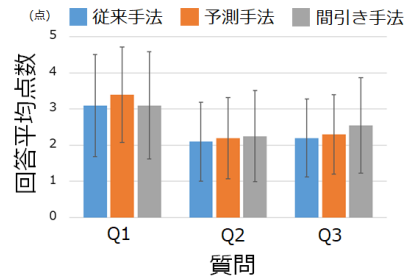


図 4: アンケートに対する回答平均点数

#### 4.4 考察

定量評価の結果に関して、4.2節で述べた通り、各手法間で有意差が認められ、従来手法が最も精度が良かった。提案手法の精度が低い原因として、姿勢予測手法では生成した予測モデルの精度が低いことが挙げられる。被験者の歩行を観察すると、トレッドミル上の歩行は通常歩行に比べ歩幅が小さく、身体の上下振動がやや大きくなっていったため予測モデル生成に影響が出たと考えられる。また、モデル生成過程で学習データの平滑化とトレンド成分除去を実施しており、モデル使用時にも入力データの前処理をする必要がある。その際に生じた誤差が影響したことで予測精度が低下したと考えられる。間引き手法では閾値により姿勢変化方向の変わり目を検出したが、精度が低く投影位置のずれが大きくなったことが考えられる。改善方法として取得した時系列データからピーク部を検出して次のピークタイミングで補正を中断するなどが考えられる。

被験者数人から、姿勢予測手法は他手法よりも一定位置に留まっていたがブレが激しいという意見が得られた。また、間引き手法は他手法よりも画像の移動回数が少なく、ブレが軽減されたという意見が得られた。これらの意見を踏まえ、姿勢予測手法で一定位置周辺に補正し、間引き手法でブレが激しい部分を取り除くことで見やすさの改善が考えられる。

#### 5 おわりに

本論文では、胸部装着型プロジェクタにおける投影補正手法の提案を行い、各手法の有効性の評価を行った。定量評価により従来手法、つまりセンサから取得したデータをそのまま入力に与えて画像補正した場合が最も位置誤差が少なく、提案手法の精度が低かったことが明らかとなった。今後、各手法の精度向上を目指すため、姿勢予測手法では学習方法の見直しを行い、間引き手法では補正中断タイミングの見直しを行う。また、提案手法を組み合わせた補正手法の効果や、実際の歩行における投影安定化の効果を検証する。

#### 参考文献

- [1] S.Murata, et al. A wearable projector-based gait assistance system and its application for elderly people. *In Proc. Ubicomp'13*, pp. 143–152, 2013.
- [2] 太田他. 投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクタの装着位置評価,53(7). 情処論, pp. 1924–1937, 2012.
- [3] 松田他. 小型プロジェクタと深度センサを用いたウェアラブル足入力インタフェース. 日本 VR 学会論文誌,17(3), pp. 161–169, 2012.