



見本動作の軌跡を時空間トレース可能な VR ダンス習得システム

A System for Dance Skill Acquisition in VR
through Spatiotemporal Tracing of Expert Trajectories

伊藤快登¹⁾, 岡嶋克典²⁾

Kaito ITO, Katsunori OKAJIMA

1) 横浜国立大学大学院 環境情報学府（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, ito-kaito-kp@ynu.jp）

2) 横浜国立大学大学院 環境情報研究院（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, okajima@ynu.ac.jp）

概要: 従来の身体動作の学習方法は、淡々と進む見本を追うことで動作を理解する。この見本動作に関する空間と時間の同時処理が学習者に高い認知負荷を課し、効率的なスキル習得を妨げている。そこで、見本動作を軌跡と速さに分離して提示する VR システムを提案する。学習者に動きの全体像の理解を容易にし、その構造を探索しながら練習できることが手の動作の学習に有用かを検証した。実験の結果、提案手法は従来手法と比較して、時間的パフォーマンスを犠牲にすることなく、動作の空間的な再現精度を向上させることが示された。

キーワード: 運動学習, ダンス, 軌跡, 認知負荷

1. はじめに

ダンスのような身体動作を学習する際、画面越しの見本から学ぶ従来の方法は、観察者（三人称）視点から行為者（一人称）視点への視点変換が困難であり、特に初心者にとって習得の大きな障壁となっている。

この問題に対し、VR 空間内で学習者の身体に見本を重ねて提示する一人称視点での学習は、視点変換の問題を解消する。Just Follow Me[1]では、一人称視点が三人称視点と比較して、動作追従精度を向上させることが示された。しかし、記憶した動作を見本が見えない環境で再現するタスクにおいては、両条件間に有意な差は見られなかった。

そこで本研究では、スキルとして定着させる上で不可欠な、記憶に基づく再現を支援することを目的とし、動作の空間情報と時間情報を分離して提示することで、身体動作の学習を効率化する VR システムを提案する。

2. 方法

参加者はダンス未経験の 21-24 歳の男性 6 名であり、視覚提示には HTC VIVE Pro Eye を使用した。参加者は右手に HTC VIVE Controller を持って実験を行った。

2.1 学習対象動作

学習対象である見本動作として、実験者は 8 秒間の右手の動作を 3 種類作成した（図 1）。これらの動作は、習

得に一定の練習を要する複雑さで設計された。

2.2 提案手法

見本動作の軌跡は、進行方向を表す 80 個の円錐を連続して配置することで提示した。また、軌跡が交差する地点で混乱が生じるのを防ぐため、円錐の色を軌跡の始点（白色）から終点（黒色）にかけてグラデーションをつけた。

動作の速さは、見本と同じ速さで軌跡上を移動する青い模様を、軌跡の始点から 1 秒間隔で連続的に発生させることによって提示した。

2.3 比較手法

Mirror 条件として、参加者正面 3m の位置に参加者の方向を向いた見本アバター（鏡像）を配置した。Ghost 条件として、参加者と同じ位置に見本アバターを配置した。一人称視点を活用した様々な動作学習手法が提案されているが[2][3][4]、事前に記録された見本で練習を行い、見本が見えない環境におけるテストで Ghost[1]を上回ることは、

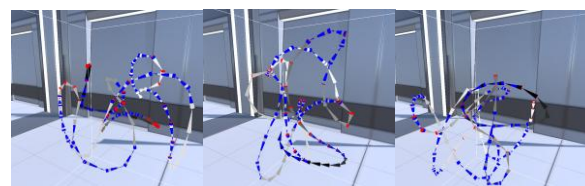


図 1: 学習対象である 3 種類の動作の軌跡

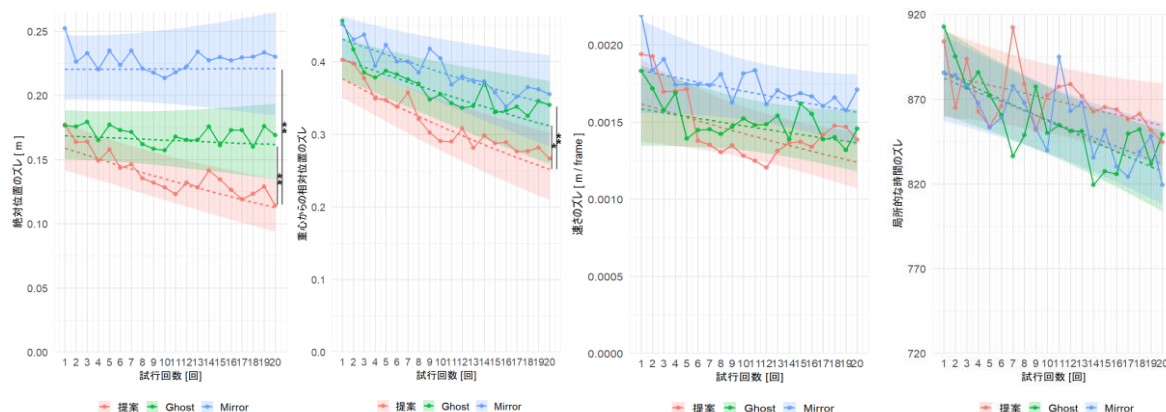


図 2: 試行ごとの平均値と回帰曲線。エラーバーは 95%信頼区間を表す。(* : $p < .05$; ** : $p < .01$)

依然として挑戦的な課題とされている。そこで本研究では、比較手法の一つとして Ghost を用いた。

2.4 実験手順

実験は、見本提示ありの練習 (8 秒間) と見本提示なしのテストを 1 試行とし、参加者は、20 試行繰り返すことで 1 つの動作を学習した。1 つの動作の学習は約 10 分で完了し、次の動作の学習を行う前に 30 分の休憩が与えられた。

2.5 評価指標

ズレの評価には、局所的な時間のズレを無視して時系列の各点を対応付けることができる SlidingWindowDTW (SW-DTW) [5]を用いた。対応付けられた点間のユークリッド距離を平均したものを、以降では DTW 距離と呼ぶ。

絶対位置のズレに加え、重心からの相対位置のズレとして、動作の軌跡の重心を原点へ平行移動し、重心からの最大距離が 1 となるようスケールを調整した時系列データの DTW 距離が計算された。速さのズレとして、各時系列データの差分をとることで求めた速度ベクトルの大きさを時系列データとし、DTW 距離が計算された。局所的な時間のズレとして、長さを揃えた時系列データに SW-DTW を適用し、対応付けられた点の数が計算された。

3. 結果と考察

実験結果を図 2 に示す。絶対位置のズレと重心からの相対位置のズレに関して、提案手法は Ghost および Mirror 条件よりも回帰曲線の傾きが有意に急であった (絶対位置のズレ vs. Ghost : $p < .001$; vs. Mirror : $p < .001$, 重心からの相対位置のズレ vs. Ghost : $p = .020$; vs. Mirror : $p = .008$)。これは、比較手法では絶えず情報を更新し保持する必要があるため、学習初期に重要とされるワーキングメモリ [6]に高い負荷を課したためと考えられる。

速さのズレと局所的な時間のズレに関して、有意な交互作用は認められなかった (速さのズレ $p = .24$, 局所的な時間のズレ $p = .367$)。これは、空間構造の理解が不十分な段階では、時間的側面にまで注意をむける認知的資源が不足

していたことを示唆している。

4. 結論

VR を用いて複雑な身体動作の学習を効率化するため、動作の空間情報と時間情報を分離して提示する手法を提案し、その有効性を検証した。結果から、提案手法は時間的パフォーマンスを犠牲にすることなく、従来手法よりも空間的な再現精度を有意に向上させることが示された。

参考文献

- [1] U. Yang, G. J. Kim, “Implementation and Evaluation of “Just Follow Me”: An Immersive, VR-Based, Motion-Training System”, Presence Teleoperators & Virtual Environments, Vol. 11, No. 3, pp. 304-323, 2002.
- [2] D. Kodama, T. Mizuho, Y. Hatada, T. Narumi, M. Hirose, “Effects of Collaborative Training Using Virtual Co-embodiment on Motor Skill Learning”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 29, No. 5, pp. 2304-2314, 2023.
- [3] K. Lilija, S. Kyllingsbæk, K. Hornbæk, “Correction of Avatar Hand Movements Supports Learning of a Motor Skill”, IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 2021.
- [4] X. Yu, B. Lee, M. Sedlmair, “Design Space of Visual Feedforward And Corrective Feedback in XR-Based Motion Guidance Systems”, Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 723, pp. 1-15, 2024.
- [5] D. Folgado, M. Barandas, R. Matias, R. Martins, M. Carvalho, H. Gamboa, “Time Alignment Measurement for Time Series”, Pattern Recognition, Vol. 81, pp. 268-279, 2018.
- [6] J. R. Anderson, “Acquisition of Cognitive Skill”, Psychological Review, Vol. 89, No. 4, pp. 369-409, 1982.