

VR技術を用いたダーツにおけるスローイング動作のトレーニングシステムの開発

柴尾 啓太^{1,a)} 濱野 晃暉^{1,b)} 成見 哲^{1,c)}

概要:近年、没入型 VR デバイスの視野角の拡大や位置推定技術の向上などの性能の進化により、スポーツの技能向上において VR 技術が注目されている。従来、運動パターンの学習には、指導者の観察に基づく感覚的な指導や、写真・動画での記録などの手段がとられてきたが、VR 技術を用いた情報提示を利用することで、より容易で正確な学習が期待できる。本研究では、ダーツのスローイング動作を題材として、VR 空間における手本の観察や、自分のフォームを手本と定量的に比較することで運動パターンの習得を目的とするトレーニングシステムを提案する。デモでは FPGA を使った 7 セグ型タイルドディスプレイを使って VR 側の様子を大画面で見せる。

1. はじめに

近年、没入型 VR デバイスは視野角の拡大やコントローラの位置推定技術の向上など性能の進化が著しく、表示される映像の臨場感の向上や現実世界に近いインタラクションの実現により、手ごろな価格で没入感の高い VR コンテンツの体験が可能になった。

一方、スポーツ分野では、客観的なプレーの分析を目的として映像やセンサを用いたデータの収集や、統計や人工知能によるデータ分析などの情報処理技術の利用が進んでおり、同時にこれらを活用したトレーニング方法も登場しつつある [1]。身体の使い方やフィールドでの動きをデータを用いて可視化することでより効率的な練習が可能となるが、可視化を行う手段の一つとして、VR 技術が注目・活用されている。例として、計測された実際の投手の投球データとヘッドマウントディスプレイ (HMD)・各種センサーから得られるスイングのデータを利用した野球の打撃トレーニングシステム [2] や、実在のコースを取り入れたラウンドやプロゴルファーとのスイング比較が行えるゴルフのトレーニングシステム [3] などが存在し、初心者・熟練者問わず幅広い層に向けて提供されている。

これまで運動パターンの学習を行う際には、指導者の客観的な観察に基づく感覚的な指導や、写真・動画での記録などの手段がとられてきたが、VR 技術を用いた情報提示を利用することで、より容易で正確な学習が期待できる。

VR デバイスは頭や体の位置をトラッキングすることが可能であるため、指導者がいない場合でもユーザは数値化された自分の動きをリアルタイムに把握することができる。また、視差を利用した立体表示や、カメラ位置の自由な変更を行うことができるため、写真や動画では困難な実際にその場にいるかのような感覚を得ながら運動を観察することが可能である。さらに、機材がコンパクトであるため、時間や場所、天候を問わず本格的なトレーニングを行うことができるなどの利点がある。

本研究では、以上のような VR 技術の長所に注目し、ダーツのスローイング動作を題材としたトレーニングシステムを提案する。ダーツは、相手のプレーや戦略の影響を受けにくい、同じ動作を繰り返すことが多いなどの競技の特徴から、VR 技術を利用したトレーニングによる技能の向上が期待される。VR 空間内での手本の観察や、自分のフォームを手本と定量的に比較することによって運動パターンの習得を目的とするトレーニングシステムを作成し、システムを利用して練習を行うグループと利用せずに練習を行うグループを比較して評価する。

2. ダーツ

ダーツは射的競技の一種であり、ダーツボードと呼ばれる的に一定の距離から手投げの矢 (ダーツ) を投げ、矢が刺さった場所によって持ち点が変動し、その大小で優劣を競う競技である。ダーツ競技には運動量が多くない、スローイング動作以外の運動を行わない、スローイング動作にダーツ以外の道具を用いないなどの特徴がある。したがって、ダーツ技能の向上にあたって、スローイング動作の運

¹ 電気通信大学

^{a)} s2231063@edu.cc.uec.ac.jp

^{b)} h2110507@edu.cc.uec.ac.jp

^{c)} narumi@cs.uec.ac.jp

動パターンを習得することは非常に効果的であると考えられる。一方で、スローイングの際の体の動きを一人で客観的に把握することは難しく、スローイングは個人によって適したテンポや軌道が異なるため、画一的な指導を行うことは困難である。

3. 関連研究

3.1 AR 技術を利用した照準フィードバックによるダーツの照準精度向上

植山らは、ダーツスローにおける照準精度に注目し、ダーツの軌跡を明示し、フィードバックするシステムを開発した [4]。AR HMD を用いてダーツの軌跡の表示を行った場合と、行わなかった場合の比較実験を行った。

本研究では、ダーツの動きではなく、体験者の身体運動であるダーツスローに注目し、VR 技術を利用して客観的視点を提供することで技能向上を目指す。

3.2 市販の VR ゲームを使用したダーツトレーニング

Drew らは知覚運動学的観点から、HMD を利用した市販の VR ダーツゲームによるトレーニングと、現実世界におけるトレーニングの効果を比較した [5]。その結果、VR ゲームではダーツとは大きさや重量が明らかに異なるコントローラを操作する必要がある、現実でのパフォーマンスが損なわれたと結論付けた。

本研究においては、手にコントローラを持たず、ダーツボードの位置やスケールを正確に行うことで、現実世界で行うものに近いトレーニングを実現する。

3.3 VR トレーニングによるけん玉の技の習得支援システム

川崎らは、けん玉のトレーニングとして、VR 空間内に手本となる 3D モデルのアニメーションを提示し、手本の再生速度を落としてから模倣をはじめ、徐々に速度を上げて上達を図るシステムを開発した [6]。

本研究でも熟練者のスローを模したアニメーションを手本とするほか、複数の熟練者のアニメーションを提示することで、より個人に合わせたトレーニングを提供する。

4. トレーニングシステム

4.1 システム構成

4.1.1 トラッキング

本研究では、HMD を使用した VR 空間でのトレーニングシステムを提案する。ダーツの熟練者を模して動く 3D モデルを利用して理想のダーツスローイングフォームを三次元的に把握し、自分の動きをそこに近づけていくことによって効率的な技能向上を目指す。また、自分の動きを第三者視点から観察することによって、容易に客観的分析を行うことが可能となる。ユーザは HMD である Meta

Quest3 を使用し、ゲーム開発エンジン Unity で作成された VR 空間内で自分の体と同期して動く 3D モデルを操作する。

Meta Quest3 は HMD と 2 つのコントローラのトラッキングに対応している。HMD を頭に被り、左手で左コントローラを持つことで、頭部と左手のトラッキングを行う。また、右コントローラについては専用のアタッチメントを作成し、右手首に固定することで、右手首のトラッキングを行う（ユーザの利き手が左手の場合は、右手で右コントローラを持ち、左手首にアタッチメントを用いて左コントローラを固定する）。これらのトラッキング情報からアバターの全身を動かすにあたって、Unity アセットである Final IK を使用し、アバターのボーンに逆運動学を適用し、関節位置や姿勢の推定を行う。

4.1.2 アニメーション

熟練者を模した動きを行う 3D モデルの作成については、AI を用いて動画から 3D アニメーションの抽出を行う Plask Motion [7] を使用して、熟練者のダーツスローイング動画から 3D アニメーションを作成し、3D アニメーションソフトウェアである Motion Builder において適宜編集を行ったのち、3D モデルに適用した。

4.2 アプリケーション

4.2.1 選択フェーズ

ユーザ自身の身長を入力する。入力した身長から、ユーザに近い身長の熟練者を模したモデルが手本として選択され、アバターのサイズがユーザと同じ大きさに調整される。

4.2.2 学習フェーズ

ダーツスローイング動作を繰り返す手本のモデルの観察を行う。手本のモデルは前後左右の移動や左右回転が可能であるほか、アニメーションの一時停止や、再生速度の変更を行うことができる。また、ユーザはアバターのコピーを手本のモデル横に設置し、自分の動きと手本の動きの差異を客観的に観察することが可能である。

「練習」ボタンを選択することによって、次の採点フェーズの練習を行う。画面の指示に従い、一連のダーツスローイング動作中の「テイクバック」から「フォロースルー」の動きを行う。手本のモデルを模倣できている場合に右手首が通るべき場所とその軌道がガイドとして表示されるため、そこを通るように右腕を動かす。手本に近い動きができていない場合は、どの方向にずれているかを表示してユーザに伝える。

4.2.3 採点フェーズ

画面の指示に従い、「テイクバック」から「フォロースルー」までの動作をガイド表示なしで行う。手本の動きとの差異をもとに点数によってフィードバックを行う。

5. 評価実験

提案した VR 技術を用いたダーツスローイング動作のトレーニングシステムについて、本システムを使用せずに練習を行う場合と比較してより手軽かつ正確な技術の獲得が可能であるか確認することを目的として、以下の手順で対照実験を行った。

- (1) ダーツの基礎知識に関する冊子と動画を見る
- (2) 実際にダーツを使い、ブル（ダーツボード中心部）を狙って練習スローを行う
- (3) 5 投（15 本のダーツを投げる）行い、どれだけブルの近くに刺さったかをスコアとして記録する
- (4) 提案したシステムでトレーニングを行うグループは、アプリケーションを使用して練習を行う。現実世界でトレーニングを行うグループは、動画を使用して練習を行う
- (5) 実際にダーツを使い、ブルを狙って練習スローを行う
- (6) 5 投行い、どれだけブルの近くに刺さったかをスコアとして記録する
- (7) 実験についてのアンケートを行う

評価実験前に予備実験として 3 人の大学生に同様の手順でダーツのトレーニングをしてもらったところ、提案システムを使用したグループはトレーニング後の方がトレーニング前よりダーツをブル付近に投げることができていた。本実験の結果については、デモ当日に報告する。

6. 7セグメント型タイルドディスプレイ

デモにおいては、ディスプレイとして 7セグメント型ディスプレイを用いる。本項では、その概要と構造について述べる。

6.1 概要

成見研究室では、FPGA を用いたタイルドディスプレイの開発に関する研究が行われてきた。木村は、図 1 に示すように、7 枚のディスプレイをデジタル時計などに用いられる 7セグメント型 LED の形状に配置し、それを 1 つのディスプレイとして利用できるようなシステムを提案した [8]。図 2 に示すように、各ディスプレイの明るさや色味を変更することによって、数字を表現することができるため、巨大な数字と映像を同時に表現することができる。本システムを 3 台並べて映像を再生している様子を図 3 に示す。このように複数台並べることで、映像を再生すると同時に、時間や気温などの情報を数字で同時に表示することができる。システムの制御にはプログラム可能なロジックデバイスである FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いている。タイルドディスプレイ専用のハードウェアは高価であり柔軟性に欠けるとい課題があるが、FPGA

を用いることで柔軟性を確保しつつ、低コストで実現できる。また、一般的な PC 用ディスプレイが使用でき、余ったディスプレイの有効活用にもつながる。巨大な数字を表示しつつ、ディスプレイとしても使用できるサイネージシステムとしての利用を想定している。

当デモで用いるシステムは、木村によって提案されたシステムを拡張したものである。タイルドディスプレイの制御をネットワークを経由して行えるようにし、表示する数字の切り替えやモードの切り替えをネットワーク上の別のコンピュータから行うことができる。また、映像の回転処理機構を FPGA に内蔵し、NVIDIA Mosaic に対応することで [9] 不規則形状システムの扱いづらさを改善する。

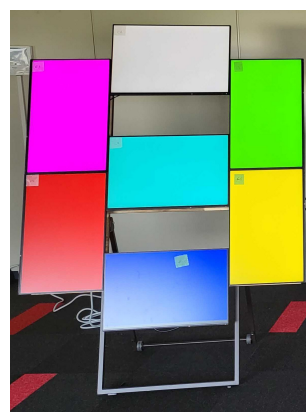


図 1 7セグメント型タイルドディスプレイ

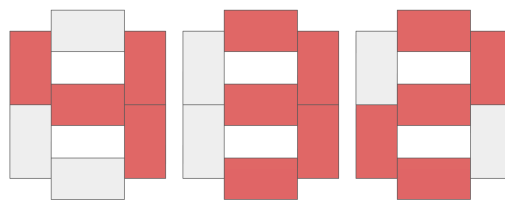


図 2 数字の表現の例

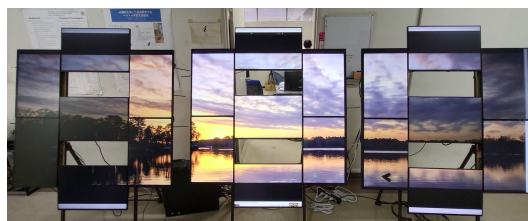


図 3 映像再生の様子

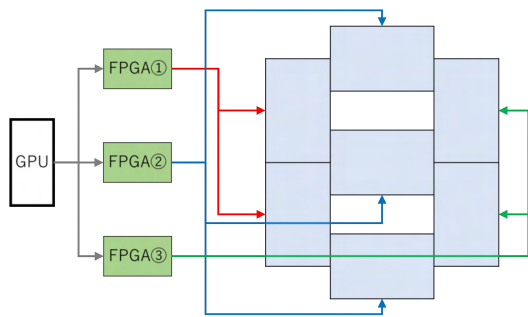


図 4 システム構成 (参考文献 [8] より引用)

6.2 構造

システム全体は図 4 のように構成される。ディスプレイ 7 枚のうち、左側 2 枚、中央 3 枚、右側 2 枚の 3 グループに分け、それぞれ 1 枚の FPGA ボードで制御を行う。FPGA ボードには、Digilent 社の ZYBO を使用している。

それぞれの FPGA ボードに対して PC から映像が HDMI で入力され、入力された映像信号に FPGA で処理を行ってから各ディスプレイに出力される。行われる処理は、映像の分割と加工である。映像の分割は、入力された映像を 2 つもしくは 3 つに分割し、それぞれのディスプレイに出力する。映像の加工では、数字表現のために各ディスプレイに出力する映像の明るさや色味を変更する。各 FPGA ボードは、TCP パケットを送信することによって制御することができ、表示する数字や数字の表現方法を変更することができる。数字表現のための加工として、点灯部分のみ表示するモード、消灯部分をモノクロ表示にするモード、点灯部分の赤色を強調するモードの 3 つのモードを実装している。

7. まとめ

本研究では、ダーツのスローイング動作を題材として、VR 空間における手本の観察や、自分のフォームを手本と定量的に比較することで運動パターンの習得を目的とするトレーニングシステムを提案した。提案システムでは、HMD を使用することによって、現実に近い感覚の中で熟練者の動きを観察し、定量的な比較に基づいてより容易で正確な運動パターンの学習が期待できる。

今後は、5 章で述べた実験の結果をもとに、提案システムの評価を行う予定である。評価実験では、各群の被験者のスコアの変化や、リッカート尺度を用いたアンケートや自由記述より、提案システムの効果と現実世界におけるトレーニングとの比較を行う。

参考文献

- [1] 谷岡広樹. スポーツアナリティクスにおけるデータと AI 活用. 教育システム情報学会誌, Vol. 37, No. 3, pp. 192–197, 2020.
- [2] NTT データ. VR とセンシング技術で打撃力を鍛えるシ

ステム「V-BALLER™」が機能拡張、アマチュア向けにも提供開始. <https://www.nttdata.com/global/ja/news/release/2022/042702/>, 2022. (最終アクセス日: 2023 年 12 月 30 日).

- [3] NTT データ九州. VR ゴルフソリューション「VR ゴルフレンジ」の提供開始. <https://www.nttdata-kyushu.co.jp/information/2023/20231017-421.html>, 2023. (最終アクセス日: 2023 年 12 月 30 日).
- [4] Yuki Ueyama and Masanori Harada. Augmented Reality-based Trajectory Feedback Does Not Improve Aiming in Dart-throwing. *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 64738–64744, 2023.
- [5] Stefanie A. Drew, Madeline F. Awad, Jazlyn A. Armandariz, Bar Gabay, Isaiah J. Lachica, and Jacob W. Hinkellipsker. The trade-off of virtual reality training for dart throwing: a facilitation of perceptual-motor learning with a detriment to performance. *Frontiers in Sports and Active Living*, Vol. 2, p. 59, 2020.
- [6] 川崎仁史, 脇坂崇平, 笠原俊一, 齊藤寛人, 原口純也, 登嶋健太, 稲見昌彦. けん玉できた! VR: 5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 26–32, 08 2020.
- [7] Plask. Plask Motion: AI-powered Mocap Animation Tool. <https://plask.ai/>, 2023. (最終アクセス日: 2023 年 12 月 30 日).
- [8] 木村智美. FPGA を用いた不規則形状のタイルドディスプレイシステムの開発. 電気通信大学 情報・ネットワーク工学専攻 修士論文, 2023.
- [9] NVIDIA. NVIDIA. <https://www.nvidia.com/ja-jp/design-visualization/solutions/nvidia-mosaic-technology/>. (最終アクセス日: 2024 年 1 月 4 日).