

集団競技における移動軌跡データに基づく 類似プレー検索

Video Retrieval Based on Similarity of Movement Trajectories in Team Sports

内田郁真

理工情報生命学院 システム情報工学研究群 エンパワーメント情報学プログラム

1. 研究目的

本研究は、サッカーをはじめとする集団競技の試合映像を対象とした、類似シーンの検索手法の実現を目的として研究を行う。本手法は集団競技における従来の検索方法に置き換わる、新しい検索基盤になることが期待され、ハイライト映像の自動作成や高度な戦術分析をはじめとする、実用的なアプリケーションへの適用に繋がる。

本提案の特徴は、集団の移動軌跡の類似性を映像検索の基礎とする点にある。従来の類似シーン検索手法は、主に手動アノテーションや、プレーの自動分類などの手法に依存している。これらの方法は特定のシーン（例えばサッカーのシュート、パスなど）の分類に有効であるが、事前に取得したイベントデータに基づいているため、検索の適用範囲は限定的である。更に、イベントデータと直接結びつかない複雑なシーンの検索は困難である。本研究では、トラッキングデバイスや映像からの物体追跡手法の進展に伴い一般化している、競技中の集団の移動や動作の追跡データを基に、移動軌跡の類似性に着目した映像検索手法を提案する。この手法により、イベントデータの事前取得の必要がなくなるだけでなく、従来のイベントデータとは関連づけられないような複雑なシーンの検索が可能となる。

移動軌跡の類似性に基づく映像検索を実現するため、工学的な視点とスポーツ科学的な視点の両方が必要となる。まず、本研究では、「類似性」という特性を定量的に定義し、競技中の集団の移動軌跡から類似性を考慮したシーン表現を獲得する必要がある。シーン間類似度の算出には Euclid Distance や Dynamic Time Warping などの幾何学的方法があるが、これらは検索時の計算負荷が高く実用的ではない。本研究では、各移動軌跡をベクトル表現に変換し、ベクトル検索を行うことで、この問題に対処する。更に、工学的な視点から提案された類似シーンは、「競技者から見た類似シーン」とは異なる可能性がある。そこで、Google などの検索エンジンが行っているように、ユーザーのフィードバックに基づく検索結果のチューニングが必要である。このように、工学領域とスポーツ科学領域にまたがる複合的な取り組みが要求されるが、多角的な視点を踏まえた検索技術は現在まで実現されていない。

2. 研究成果の内容

本研究では、シーン内で観測される移動軌跡の類似性に基づき、映像検索の高速化と精度向上を両立する手法を構築した。まず適用範囲を明確化するため、複数プレーヤ間の相互作用を考慮せず、単一移動体（選手またはボール）に着目したモデルを設計した。具体的には、移動軌跡を時間系列データとして Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) に入力し、低次元の埋め込み embedding を生成する。得られた埋め込みペアを Siamese ネットワークに通し、幾何学的手法（Dynamic Time Warping など）で算出された類似度を教師信号として最小二乗誤差で学習した。この結果、従来の幾何学的比較に対して約 28 倍の検索速度向上を達成し、クエリとなる攻撃シーンに対し Top-1 推論結果で類似シーンを正し

く抽出できることを確認した。次に、複数選手の軌跡を扱う拡張実験として、個々の BiLSTM 埋め込みを連結する単純手法を試みたが、学習の不安定さにより十分な性能を得ることはできなかった。この課題を踏まえ、選手間の空間的關係を表現できる構造の導入が今後の焦点である。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

実験には SkillCorner 社の大規模トラッキングデータ（400 試合）と、筑波大学が保有する試合映像（10 試合）を用いている。これらを提案手法で学習するには、大量の GPU 計算資源が不可欠であり、学際共同利用プログラムが提供する高性能計算基盤が研究遂行の前提となった。ただし、選手間関係を取り込む新規モデルの事前検証では学習収束の見通しが立たず、2024 年度中には大規模学習フェーズへ移行できなかった。この経験は、モデル設計段階での小規模検証の重要性と、計算資源の有効活用方法を再考する契機となった。

4. 今後の展望

2025～2026 年度は、複数軌跡を同時に扱う類似度表現の実装と大規模学習を推進する。具体的には、選手間の相対位置関係をグラフ構造で表現し得る Graph Neural Network (GNN) の導入を計画している。Graph Convolutional Network (GCN) や HyperGraph ベースのアプローチを適用し、ノード（選手）間エッジに戦術的な意味を付与することで、高次元の協調運動パターンを効果的に埋め込むことを目指す。これにより、複雑なチーム戦術を含むシーンの類似検索が可能となり、ハイライト自動生成や戦術解析への応用範囲が一層拡大すると期待される。

5. 成果発表

- (1) 学術論文
- (2) 学会発表
- (3) その他

① 2025 年度 JST「次世代研究者挑戦的研究プログラム（SPRING）」採択

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus	○	1220		
Wisteria/BDEC-01				
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				