

H-007

YOLOv7 とカルマンフィルタを用いたサッカー試合映像中の移動体の位置推定に関する研究
Position Estimation of Moving Objects in Soccer Game Video Using YOLOv7 and Kalman Filter山上 修市[†]
Shuichi Yamagami黒木 修隆[†]
Nobutaka Kuroki沼 昌宏[†]
Masahiro Numa

1. はじめに

近年, ICT を活用したスポーツの分析, 解析技術の導入が進んでいる [1]. FIFA ワールドカップでは会場内に多数のカメラが設置され, ボールの中にセンサが組み込まれた. しかし, そのようなシステムでは高精度のデータが収集できる一方で, 設備に多大なコストがかかり, 学校や一般のサッカーチームでは導入が難しい. そのため, 放送映像やハンディカム等で撮影された映像からデータ収集を行う技術が求められている.

2. 従来手法

サッカー映像において選手やボールの動きを解析するためには, 画面上で動きを追うだけでなく, それを撮影しているカメラの動きを推定する必要がある. 大石ら[2]は YOLOv4 を用いてサッカーのフィールド特徴点を検出することで, カメラの設置位置やズーム倍率を動的に推定した. これにより, サッカーコートを図 1 のように x - y 平面に射影変換し, 選手のワールド座標を算出することが可能になった. しかし, それらの検出に失敗したフレームでは何らかの補間処理が必要とされていた.

3. 提案手法

提案手法は図 2 のように選手やボールのみならず, フィールド特徴点の未検出についてもカルマンフィルタ [3] とカルマン平滑化を用いて座標を補間する. これにより全フレームにおいて射影変換が可能となり, 移動体のワールド座標の軌跡を得ることができる.

3.1 カルマンフィルタによる欠損値の補間

まずカルマンフィルタを用いて図 3(a)のように欠損値を補間する. 第 t フレームにおける YOLO の検出結果

$$B_t = (x, y, w, h) \quad (1)$$

が得られたとき, その中心座標,

$$Y_t = (x, y) \quad (2)$$

をカルマンフィルタに入力し, 第 $t+1$ フレームの予測値

$$Y'_{t+1} = K(Y_{1:t}) \quad (3)$$

を求める. YOLO が第 $t+1$ フレームの物体を検出できないときは, カルマンフィルタの予測値 Y'_{t+1} をそのまま物体の座標

$$(x, y) = Y'_{t+1} \quad (4)$$

と推定する. 以上の処理を逐次的に繰り返して補間を行う.

3.2 カルマン平滑化

カルマン平滑化とはカルマンフィルタで計算済みの過去の

推定値を, 現在まで得られた観測値を用いて補正を行う計算手法である. 本研究で採用した固定区間平滑化の概要を図 3(b) に示す. 最後に得た観測値 Y_T から過去に遡って第 t フレームまでの値 $Y_{t:T}$ を用いて, 第 t フレームの補正値 Y'_t を

$$Y'_t = S(Y_{t:T}) \quad (5)$$

のように得ることができる. この処理を逐次的に繰り返すことにより, 逆方向に補正を進めて行く.

4. 評価実験

4.1 実験内容

まず初めに映像上で (2 次元で) サッカーボールの検出およびカルマンフィルタによる補間を行い, 座標の推定精度を確認する. 評価に際して, 推定したボールの中心座標が実際のボールの領域内にある時は正検出とし, 適合率, 再現率, F 値を求める. 使用した動画は AdobeStock_531672400 (25fps, 1920x1080) の後半のゴールシーン 540 フレームである.

次に全フレームにおいてボールの座標を射影変換することでワールド座標系におけるボールの軌跡を求める. ただし, ボールの z 座標は 0, すなわちフィールドに接地していると仮定する.

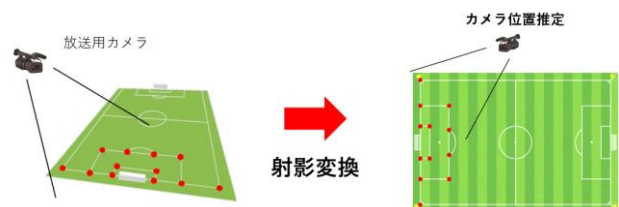


図 1 大石らの手法[2]によるカメラ位置の推定と射影変換

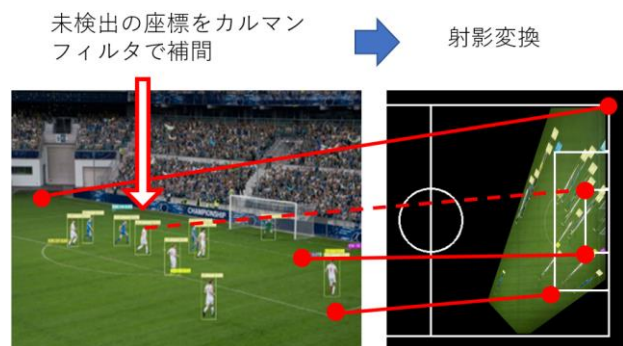


図 2 提案手法の流れ

[†] 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

表 1 サッカーボールの検出精度

評価対象	適合率	再現率	F 値
従来手法	0.933	0.870	0.900
提案手法	0.964	0.920	0.942

4.2 実験結果, 考察

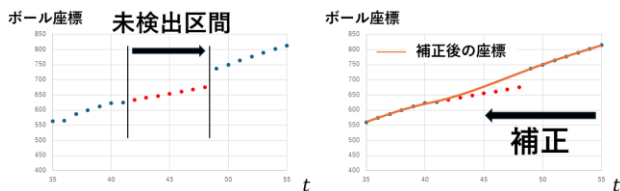
まず初めに推定されたボールの動き(x座標)を図4に示す。上段のグラフではYOLOv7でボールを検出できなかったフレームが途切れているが、下段のグラフではそれらがカルマンフィルタによって補間および補正されていることが確認できる。表1に画面内の(2次元の)ボールの検出精度を示す。適合率、再現率ともに従来手法と比較して高い値となった。

図5および6に推定されたボールの中心座標を赤い点で示す。図5では選手によってボールが全く見えない状態でも、ボールがあると推定できた。しかし、図6に示すようにボールを蹴る瞬間は推定位置がズレることがある。これは、蹴る瞬間にボールの加速度が大きく上昇するため、前後のフレームにおいて想定されていた運動モデルと大きく異なったことが原因として考えられる。

最後に図7に射影変換後のワールド座標系におけるボールの軌跡を示す。従来手法ではゴール前の早いボールの検出に失敗しているが、提案手法では補間できていることがわかる。ただし、これらの軌跡はボールが宙を飛んでいる場合はワールド座標の真値と大きくずれる。3次元の座標の精度評価は今後の課題である。

5. まとめ

本研究では、サッカーの試合映像における移動体の位置推定の精度向上を目的とし、YOLOv7で検出できなかったボールやフィールド特徴点の座標をカルマンフィルタで補間および補正する手法を提案した。実験の結果、提案手法によるボールの検出精度はF値において従来の0.900から0.942まで改善した。また、フィールド特徴点についてもカルマンフィルタで補間することにより、全フレームにおいて射影変換が可能となり、ワールド座標系におけるボールの軌跡を推定できた。今後はボールが宙に浮いている状態に対して重力を考慮した運動モデルを当てはめることで、より高精度な3次元解析を行う予定である。



(a) カルマンフィルタによる未検出区間の予測 (b) カルマン平滑化による補正

図3 提案手法におけるボール座標の補間と補正



図4 カルマンフィルタを用いた座標補間の結果(x座標)

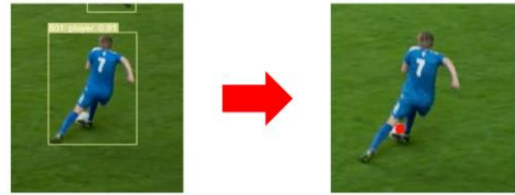
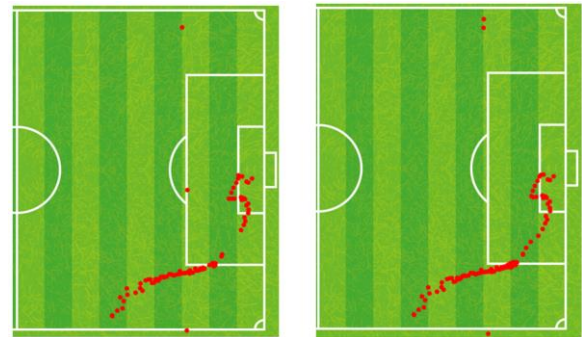


図5 カルマンフィルタによって補間した結果



図6 推定したボールの座標が実際と異なる例



(a)従来手法 (b)提案手法

図7 射影変換後のボールの軌跡

6. 参考文献

- [1] 相原伸平, 杉山恵玲奈, 澤田みのり, 松本実, 伊藤浩志, “競技スポーツの実践現場におけるICT活用”, 通信サイエティマガジン, no.46, pp.98-104, 2018.
- [2] 大石一哉, 玉衛淳輝, 黒木修隆, 平野健介, 沼昌宏, “サッカー中継映像におけるYOLOv4を用いたフィールド特徴点と選手の同時検出”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.423, MVE2021-49, pp.55-59, 2022年3月.
- [3] G. F. Welch, "Kalman Filter", Computer Vision: A Reference Guide, pp1-3, December 2020.