

定点カメラ画像を用いたフットサルの ボール検出方法の研究

宮本江里菜¹ 金谷一朗¹ 尾崎友哉¹ 柴田裕一郎¹

概要: 近年、動画を用いたサッカー戦術解析が進展する一方で、画像によるフットサル戦術解析では特有の課題が存在する。フットサルのボールはサッカーやバスケットボールなどメジャーな球技に比べて小型かつ高速で移動し、背景や遮蔽の影響を受けやすく、検出が困難である。本研究では、定点カメラ画像を用い、フレーム間差分とテンプレートマッチングに加え、既存の物体検出システム YOLO による人物検出とマスク処理を組み合わせる手法を提案する。これにより、不要な人物領域を除去しつつ、ボールの位置や軌道を効率的に検出することを目指す。結果として、ボールの位置や軌道の高精度な可視化が可能となった。選手による遮蔽やマスク処理に関する改善の余地があり、これによりボール検出精度をさらに向上させるための課題が明確になった。

キーワード: 動画像認識・理解, 身体情報・物理世界への働きかけ

A study of futsal ball detection method using fixed-point camera images

ERINA MIYAMOTO¹ ICHI KANAYA¹
TOMOCHIKA OZAKI¹ YUICHIRO SHIBATA¹

Abstract: While video-based futsal analysis has advanced, image-based analysis faces challenges due to the ball's small size, high speed, and occlusion. This study proposes a ball detection method using YOLO for player detection, mask processing, inter-frame difference, and template matching with fixed-point camera images. By eliminating unnecessary human regions, the method efficiently detects the ball's position and trajectory, enabling accurate visualization. However, challenges remain, such as false detections caused by player occlusion and inadequate mask processing. Improving these aspects will enhance detection accuracy and reliability in futsal tactical analysis.

Keywords: Moving Image Recognition and Understanding, Body Information and Working with the Physical World

1. はじめに

近年、動画を用いたサッカーの戦術解析 1)2) が盛んに行われている。特にボールの追跡データは、選手間のパスネットワークや攻撃・守備のフォーメーション分析に活用され、より高度な戦術的洞察を得ることが可能となる。フットサルは、サッカーと似た点がある一方、ルールやボール特性などにおいて顕著な違いがある。フットサルのボールは弾みにくい特性から、コート内にボールが存在する時間がサッカーより長い 3)。そのため、戦術解析 4) のためにはボールの位置や軌道の正確な把握が重要である。しかし、フットサルのボールは小さく高速で移動し、背景や遮蔽の影響を受けやすいため検出が難しい。この課題に対処するため、YOLO5) などの物体検出やカルマンフィルタ 6)、パーティクルフィルタ 7)8) といった画像トラッキング技術を組み合わせる手法が注目されている 9)。本研究では導入コストが安価な定点カメラ映像を用いてフットサルボールの検出手法を検討する。また、単一カメラでのボール検出は、視野の制限や奥行き情報の不足といった課題があり、それ

を克服する手法を確立することに学術的な意義がある。一般的なテンプレートマッチング手法に加え、フレーム間差分を活用し、人物やベンチ領域をマスクすることで、ボール検出の精度向上を目指す。

2. 定点カメラを用いたボール検出の原理と実験方法

本研究で使用する試合映像のボールは白色であり、(a)白色を抽出した場合と(b)しない場合の2パターンの処理に対し、ボールの検出精度の比較を行う。処理の流れは、図1に示すように元画像から白色を抽出し((a)のみ行う、(b)は行わない)、グレースケールに変換、フレーム間差分を行い、マスク処理をする。その後、ボールのテンプレート画像を用いて、テンプレートマッチングを行う。

¹ 長崎大学
Nagasaki University

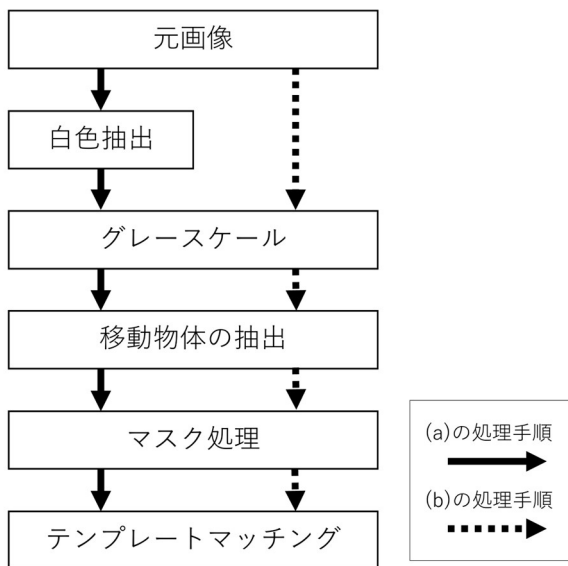


図 1 処理手順
Figure 1 Procedures

2.1 使用データ

使用するものは、定点カメラで撮影されたハーフコートのフットサルの試合映像である (図 2)。フレームレートは 59.94FPS で、解像度は 1920×1080 px である。この動画に対して 1 フレームごとに処理を行う。なお本研究では、3 分間 10620 フレームに対して処理を行った。



図 2 フットサルの試合映像 (元画像)
Figure 2 Futsal match video (original image)

2.2 マスクの作成

本研究では、フレーム間差分を用いたボール検出を行う際に、不要な移動物体の影響を除去するため、人物領域をマスクする手法を採用した。これにより、選手などの動きによる誤検出を防ぐことを目的とする。人物領域のマスク作成には、YOLO を用いた人物検出と、手動による領域選択の 2 つの方法を組み合わせる。まず、元画像に対して YOLO を用いた人物検出を行い (図 3)、検出された人物が含まれる矩形領域を黒く塗りつぶしてマスクを作成した (図 4)。また、ベンチにいる人物は YOLO による検出が困難であることが予想されたため、ベンチ領域は手動で選

択し、同様に黒く塗りつぶすことでマスクを作成した (図 5)。YOLO を用いた人物検出により、コート内の選手を検出し、マスクを適用できた。しかし、ベンチに座っている人物については検出が困難であり、十分なマスク処理を行うことができなかった。そのため、ベンチ領域については手動での領域指定が必要であった。



図 3 YOLO による人物検出
Figure 3 Human detection using YOLO



図 4 人物領域のマスク
Figure 4 Masks for human regions



図 5 ベンチ領域のマスク
Figure 5 Mask for bench region

2.3 白色の抽出

本研究で使用する試合映像では、ボールが白色であるため、元画像から白色のみを抽出した (図 6)。これにより元画像と比較して、ボール以外の不要な情報を除去することを目的としている。本実験では、色相(Hue)、彩度(Saturation)、

明度(Value)の3要素で色空間を表現するHSV色空間を使用した。RGB色空間はカメラのセンサーが取得する値をそのまま表現するため、光の強度や環境光の影響を受けやすい。また、スポーツにおけるボールやユニフォームの配色は人間が認識しやすいように設計されており、HSV色空間を用いることで、特定の色範囲を簡単に抽出できるため、物体認識に適している。色相は白色の識別には影響が少ないため考慮せず、彩度と明度の値のみを用いた。本研究では、彩度が0~0.2、明度が0.7~1.0の範囲で抽出した(HSVの各成分は0~1の範囲に正規化している)。なおこの処理は(a)のみ行い、(b)では行っていない。

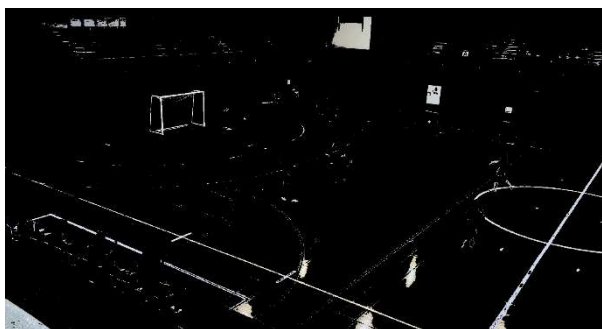


図 6 白色の抽出
Figure 6 White extraction

2.4 移動物体の抽出

グレースケールに変換後、(a)、(b)それぞれでフレーム間差分を行う(図7、図8)。これによって、移動物体のみを抽出する。



図 7 (a)フレーム間差分
Figure 7 (b)interframe difference

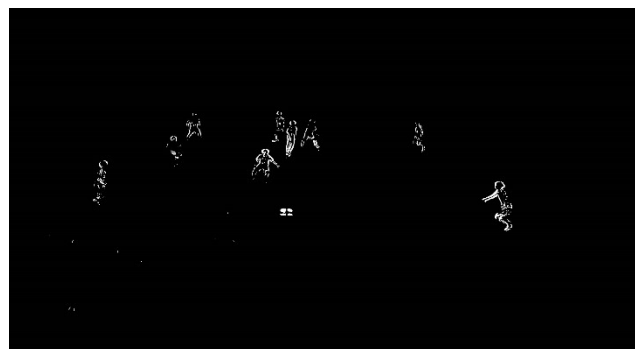


図 8 (b)フレーム間差分
Figure 8 (b)interframe difference

2.5 マスク処理

フレーム間差分をとった画像に2.2節で説明したように人物領域とベンチ領域のマスクでマスク処理をする。図9は元画像から白色抽出、グレースケール変換、フレーム間差分をした画像にマスク処理を行った結果である。図10は元画像からグレースケール変換後、フレーム間差分をした画像にマスク処理を行った結果である。



図 9 (a)マスク結果
Figure 9 (a) Masking result

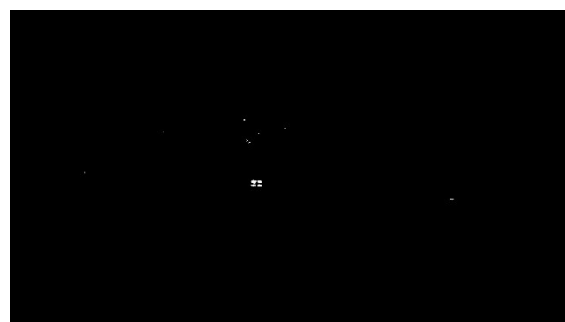


図 10 (b) マスク結果
Figure 10 (b) Masking result

2.6 テンプレートマッチング

(a)、(b)それぞれのボールのテンプレート画像(図11、図12)を用いて、テンプレートマッチングを実行する。図11では、ボールが動いているため、フレーム間差分をとると

ボールの形は丸が2つとなった。図 12 では、床に反射したボールの影も含まれることでボールの形は丸が4つとなった。

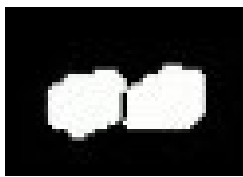


図 11 (a) 白色抽出した場合のボール
 Figure 11 (a) Ball with white extraction

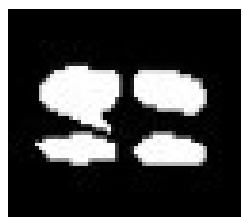


図 12 (b) 白色抽出しない場合のボール
 Figure 12 (b) Ball without white extraction

3. 結果

図 13～図 16 に(a), (b)それぞれのテンプレートマッチングの結果の例を示す。ボールとして検出された領域は、緑の四角で表示されている。また、この領域からボールの重心の x 座標と y 座標を求め、 (x_{TM}, y_{TM}) とした。そしてあらかじめ、手動で入力したボールの重心座標 (x_A, y_A) とのユークリッド距離 d を各フレームで計算する(式 1)。表 3.1 に計算結果をまとめた。これを用いて(a)と(b)の検出精度の比較を行う。なお、ボールが画像内に存在しないフレームは、評価対象から除外し、6257 フレームを対象としている。

$$d = \sqrt{(x_{TM} - x_A)^2 + (y_{TM} - y_A)^2} \quad (\text{式 1})$$

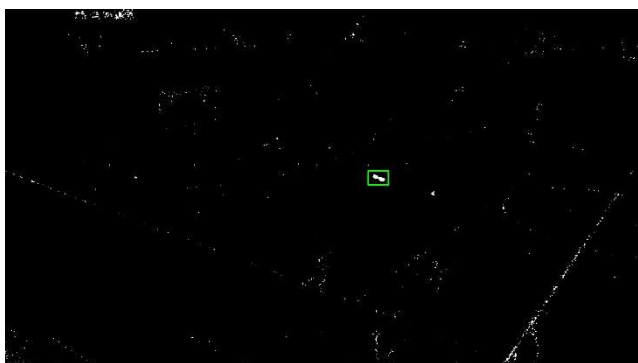


図 13 (a) テンプレートマッチング成功例
 Figure 13 (a) Example of successful template matching



図 14 (b) テンプレートマッチング成功例
 Figure 14 (a) Example of successful template matching

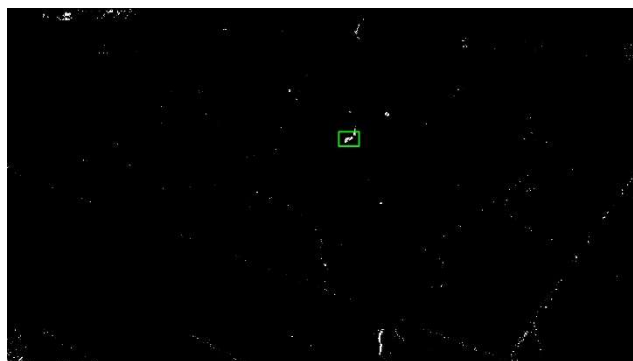


図 15 (a) テンプレートマッチング失敗例
 Figure 15 (a) Example of template matching failure

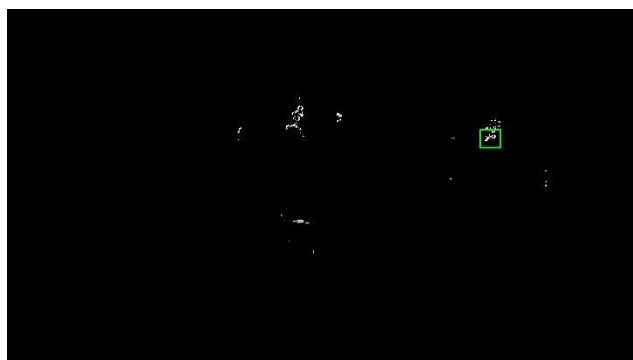


図 16 (b) テンプレートマッチング失敗例
 Figure 16 (b) Example of template matching failure

表 3.1 ボールの重心のユークリッド距離

Table 3.1 Euclidean distance of the ball's center of gravity

	Mean	SD	Min	Median	Max
(a) 白色抽出した 場合	746.3	576.3	0.0	644.9	1878.0
(b) 白色抽出 しない場合	506.6	507.6	1.4	395.3	1874.9

4. 考察

テンプレートマッチングの成功例である図 13, 図 14 から, ボール以外の移動物体がマスク処理で取り除かれ, かつ, ボールがある程度の速度で移動している場合にボール検出が成功した. また, 失敗例である図 15 と図 16 から, 人物がマスクから外れてしまっている場合, 誤検出が起きていた. また他にも, ボールが選手の足元にある場合, ボールが人物領域のマスクに隠れてしまい他の場所を誤検出していた. 表 3.1 については, ユークリッド距離の平均値や標準偏差を比較すると, (b)白色抽出しない場合の方が正解の重心との距離が短く, ばらつきも小さいことから検出力が高いと考えられる. フレーム間差分を行った際に, (b)の方がボール以外の情報を取り除くことができていることが要因である. (a)は照明の影響で白色の部分がフレームごとに変化していた. そのため, フレーム間差分を行うことで, 本来動いていないコートラインなどが移動物体になり, ノイズになってしまった. このことから, ボール以外の移動物体をできるだけ取り除くことが検出力向上には重要である. しかし, マスク処理によってボールの情報が削られてしまったため, 工夫が必要である.

5. まとめ

本研究では, フットサルにおけるボール検出を目的として取り組んだ. 白色を抽出した場合としない場合の2パターンに対して, フレーム間差分やマスク処理といった処理の後, テンプレートマッチングを行った. 結果として, 白色を抽出しない場合の方がボールの検出力が高いことが明らかとなった. そしてボールの検出力向上には, ボール以外の情報をより取り除けるかが重要であると考えられる. 一方で, ボール以外の情報を取り除くためにボールの情報が失われてしまうこともあるため, 工夫する必要がある. 今後の課題として, ボールのオクルージョンに対する対策が挙げられる. 具体的には, パーティクルフィルタを活用したオクルージョンへの対応が考えられる. 今後, このように他の手法と組み合わせることで, 検出力の向上を目指す.

謝辞 本研究を進めるにあたり, 多くの方々のご指導, ご支援を賜りました. ここに深く感謝の意を表します. 特に, 本研究において動画を提供して下さった長崎大学大学院工学研究科博士前期課程2年 久保田諭氏に心より感謝申し上げます. 以上, 多くの方々のご支援に深く感謝し, 本研究の謝辞とさせていただきます.

参考文献

- 1) 三須俊彦, 高橋正樹, 藤井 真人, 八木 伸行: パーティクルフィルタによる単眼動画からのサッカーボール3次元軌道推定, 情報科学技術レターズ, Vol. 5, pp. 167-170 (2006).
- 2) 片岡裕雄, 青木義満: 単眼カメラを用いたサッカー戦術解析のための複数選手とボールの追跡, 画像電子学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 152-159 (2012).
- 3) 秋田信也, 湯田秀行, 中沢克江, 松本光弘, 菊池武道: フットサルボールとサッカーボールにおけるゲーム比較, 千葉体育学研究, Vol. 22, pp. 25-31 (1998).
- 4) 鎌田修平, 八板昭仁: フットサルのゲームにおける攻撃結果とそれに結びつく諸要因との関連, 九州共立大学研究紀要, Vol. 11, No. 1, pp. 31-38 (2020).
- 5) 李智飛: バスケットボール映像からのボールの検出とその状態認識に関する研究, 東京都立大学学位論文, pp. 1-38 (2022).
- 6) 柄澤伸治, 日高浩一: カルマンフィルタを用いた照明変化に頑健な移動物体検出法, 自動制御連合講演会講演論文集, Vol. 51, pp. 500-503 (2008).
- 7) 高橋正樹, 苗村昌秀, 藤井真人, 八木 伸行: パーティクルフィルタを用いたティーショットシーンでのゴルフボール追跡, 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, Vol. 6, No. 3, pp. 155-156 (2007).
- 8) 菊池 拓磨, 小嶋 和徳, 伊藤 慶明: 色ヒストグラムとパーティクルフィルタを用いたバレーボール追跡, 第78回全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 255-256 (2016).
- 9) Paresh R. Kamble, Avinash G. Keskar, Kishor M. Bhurchandi.: Ball tracking in sports: a survey, Artificial Intelligence Review, Vol. 52, No. 3, pp. 1655-1705 (2017).