

サッカーシーンの選手視点映像提示に向けた 2台のカメラによる選手軌跡獲得

糟谷 望[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] [‡] 筑波大学大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] kasuya@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 自由視点映像の新しい提示法としてサッカー選手の視点からの映像を生成することを目的に、フィールド上を移動する選手の軌跡を推定する手法の研究を進めている。比較的高所に固定した2台の固定カメラで同期撮影した映像を用いて、正確な選手軌跡を獲得する手法を開発した。それぞれのカメラ映像から背景差分法により抽出した移動領域を、2次元射影変換を用いてフィールド面で重ね合わせることにより、選手領域と影領域を識別すると同時に、二つのカメラから得られた選手領域と影領域の主軸の交点として選手の足元位置を検出する。ユニフォームの色情報を用いて選手領域をチーム毎にクラス分けすることにより、クロスプレーのような複雑な見え方が発生した場合でも追跡の継続を可能とする。実際の競技場においてサッカーの試合を撮影した映像を用いて提案手法の有効性を検証した。

キーワード 自由視点映像, 選手視点映像, 物体追跡, 影領域の検出, クラスタリング

Trajectory Detection of Soccer Players for Generating Player's-Eye View in Soccer Scene

Nozomu KASUYA[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] [‡] University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering,

Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

E-mail: [†] kasuya@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract This paper proposes a method to estimate trajectories of soccer players by using two cameras set on a soccer stadium. Our research aims to develop a novel 3D free viewpoint video system that displays a video sequence captured at a viewpoint of a soccer player. By projecting the foreground silhouettes extracted from each image onto the soccer field, each player's body region and its shadow region are well separated. We estimate player's standing position as the intersection of each primary axis of two body regions of a player and its shadow region on the surface of the field. Our method utilizes the color information of players' uniform to improve accuracy of object tracking. Finally, we apply our proposed method to the video of soccer game held in a real soccer stadium to show the effectiveness.

Keyword 3D Free Viewpoint Video, Player's-Eye View, Object Tracking, Shadow Region Detection, Clustering

1. はじめに

現在のテレビで放送されている映像は、制作者が複数のカメラで撮影した映像を切り替えながら生成したものである。そのため、視聴者には視点の選択権はなく、制作者の決めた一通りの映像しか見ることができない。このような問題を解決するために、複数視点の映像を多チャンネルで同時配信する試みが行われているが、この場合も視聴者が選択できる視点は、制作者が選んだ視点の一つに過ぎず、視点位置を自由に設定しているわけではない。

近年、複数の視点から撮影した映像をコンピュータで解析することにより、自由な視点からの映像を生成する自由視点映像技術の研究が盛んに行われている

[1][2]. 特に、スポーツ中継は、ユーザ毎に注目している対象が異なるため、自由視点映像技術を用いた観戦方式に注目が集まっている[3]. 従来の自由視点映像提示方式では、マウスなどの入力装置を使って自由視点映像を撮影する仮想カメラの位置・姿勢を操作するが、2次元入力装置であるマウスで6自由度を持つ視点の位置・姿勢を瞬時に入力する処理には熟練が必要であり、不慣れなユーザが見たい視点を即座に指定することは困難である。また、カメラ操作をしながらでは映像鑑賞に集中できないといった問題も存在する。我々は、これらの問題の解決を目的として、選手の視点から試合を眺めたような“選手視点映像”の生成・提示に関する研究に取り組んでいる。



図 1 選手視点映像の例

2. 選手視点映像

選手視点映像とは、自由視点映像技術を用いることにより、実際には撮影することが困難な選手の視点位置からの見え方を仮想的に再現した映像である。観察可能な視点位置は選手視点に限定されるが、ユーザに要求される入力処理は、見たい選手を選択するといった簡易な操作であり、操作に気をとられることなく試合観戦に集中することができる。また、より選手に近い位置からの映像が提示されるため、従来の映像にはない臨場感を得ることができる。実写映像で選手視点映像を撮影・提示するためには、選手にカメラを取り付ける必要があるが、選手に負担をかけプレーの妨げになるため現実的ではない。本研究では、実際にはカメラが存在しない視点からの映像を仮想的に再現可能であるという自由視点映像の特長を利用することにより、選手視点映像を生成する。図 1 に自由視点映像技術を用いて生成した選手視点映像の例を示す。

3. サッカーシーン映像を用いた選手軌跡獲得

自由視点映像技術を用いて選手視点映像を生成するためには、各選手の時系列位置情報（軌跡）が必要となる。選手の軌跡情報を獲得することは、スポーツ科学における運動解析などにも有効であるため、盛んに研究が行われている。サッカーの試合における選手追跡処理の特徴としては、フィールド全体をカバーした広角な撮影を行うため、各サッカー選手の観測サイズが小さいこと。コンタクトスポーツであるため、選手が重なったり交差したりするシーンが頻繁に発生すること、サッカーの試合は屋外で開催されることが多いため日照変化が頻繁に発生することなどがある。また、自由視点映像生成・提示をサッカー中継に適用することを考えた場合、実時間での処理も重要な課題である。

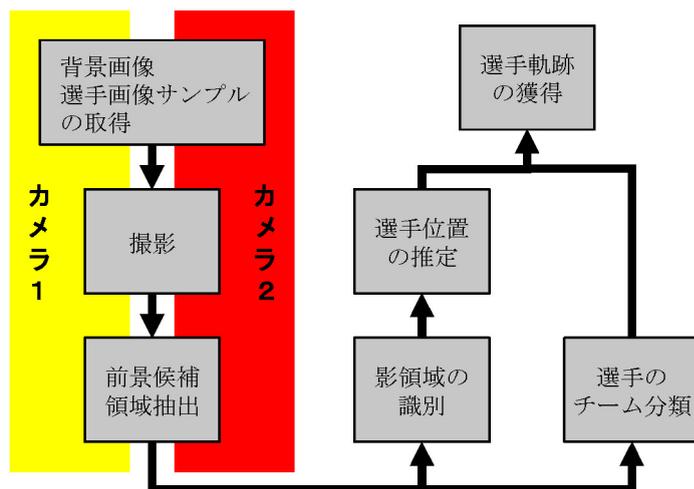


図 2 選手軌跡獲得の流れ

これまでも、映像中の動物体を追跡し軌跡情報を獲得する研究が数多く行われている。サッカーシーンのように多数の物体を同時に追跡する処理にテンプレートマッチング[4]-[6]を適用するためには、実時間追跡が困難な計算コストが必要となる。また、物体の見え方に強く依存するため、選手の接触や交差によって発生するオクルージョンに弱いといった問題が存在する。オクルージョンに対しロバストで、かつ実時間追跡を実現した手法が提案されている[7]-[11]。これらの手法は、十分高い解像度で選手領域が撮影されている必要があり、太陽光によって鮮明な影が発生する状況は考慮していない。我々が撮影対象とするサッカーの試合の映像では、サッカー選手の観測サイズは小さく、大きな日照変化が頻繁に発生するため、適用が困難である。CHENらはHSV表色系を利用して太陽光によって発生する影の問題に対応する手法を提案しているが[12]、この手法もまた十分高い解像度での撮影が必要とされている。

本研究では、上述したような比較的悪条件下において撮影せざるを得ないサッカーシーンの映像から、選手軌跡の獲得を行う手法を提案する。処理の信頼性を向上させるために撮影には2台の固定カメラを用いる。処理の大まかな流れを図 2 に示す。各カメラにおいて予め背景画像と選手画像のサンプルを取得しておく。そして撮影された映像に対して背景差分法を用いて選手候補領域を抽出し、2台のカメラ映像を統合することで影領域を識別し選手位置を推定する。2視点から撮影した映像を用いることにより、片方の画像上で発生したオクルージョンにより選手の検出に失敗したとしても、もう一方の画像で検出することができれば、追跡を行うことができる。同時に、ユニフォーム色を用いて検出領域をチーム分類することにより、選手が交錯するような状況においても、誤った選手を追跡することなく、軌跡の獲得を実現する。

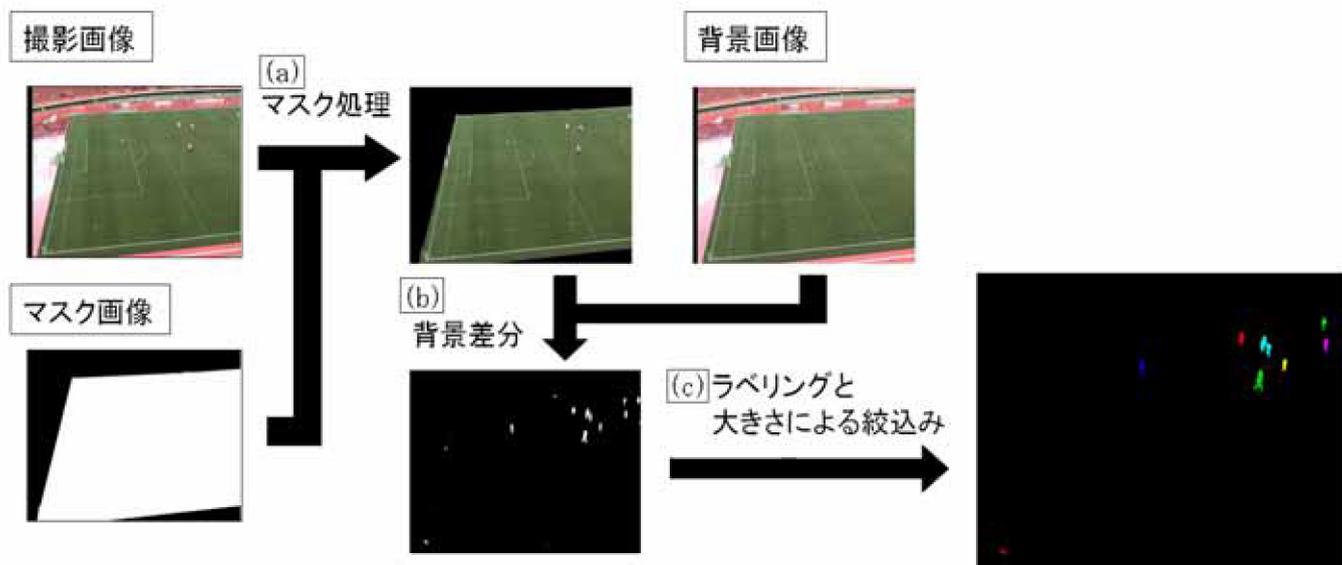


図 4 前景候補領域抽出の流れ

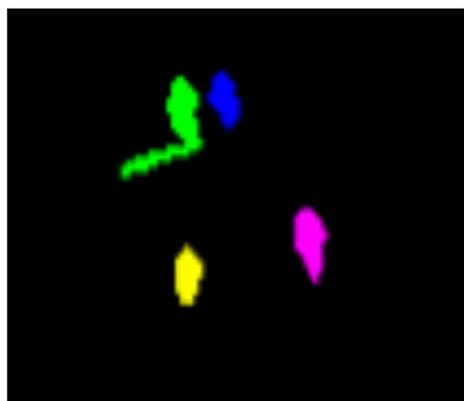


図 3 前景候補領域における影領域

4. 選手位置の推定

4.1. 前景候補領域の抽出

選手位置を推定するためには、画像中の選手領域を抽出する必要がある。図 4 に選手領域を抽出するための処理の概要を示す。本研究で用いるカメラは、撮影環境に固定されているため、背景差分法によって前景候補領域を抽出することができる。選手は通常フィールド上にのみ存在するので、フィールド以外の領域にマスクをかける (図 4 (a))。そして、予め撮影したおいた背景画像と差分をとり 2 値化することで前景候補領域を抽出する (図 4 (b))。しかし、屋外環境では日照変動などの影響により、背景差分処理の結果を 2 値化するだけではノイズも一緒に抽出されてしまう。画像中の選手領域の大きさは、選手の身長とカメラパラメータを用いてある程度予測できることから、前景候補領域の面積に対して閾値処理を行い、ノイズやボー

ル領域を除去する (図 4 (c))。この際の閾値は、選手の一般的な体の大きさと撮影カメラの射影変換行列から算出する。

4.2. 影領域の識別

図 3 に示すように、選手の影領域は、選手領域と接した状態で一緒に検出される。選手領域と影領域を正しく分離できた場合にも、両領域がほぼ同じ大きさで観測されることが多く、面積を用いた閾値処理では、影領域の除去は困難である。本研究では、影がフィールド面上に発生するという特性を利用して、選手領域と影領域を識別する。空間中のある 3 次元点 (X_w, Y_w, Z_w) と、その点が画像上で観測される位置 (u, v) との関係は、以下に示す射影変換行列 P で表される。

$$\begin{bmatrix} \lambda u \\ \lambda v \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Z 軸の正方向を鉛直上向きとし、撮影空間が全てフィールド面上に存在すると仮定すると、Z 成分が 0 となり ($Z_w = 0$)、式(1)は式(2)のように 2 次元射影変換を用いて表すことができる。

$$\begin{bmatrix} \lambda u_f \\ \lambda v_f \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

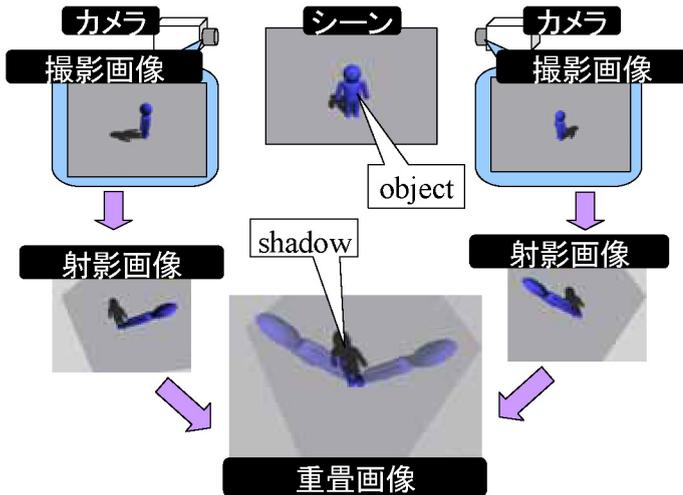


図 7 影領域の識別

このようにして求めた2次元射影変換により複数視点で撮影された画像をフィールド面上に投影すると、図 7に示すように、実際にフィールド面上に存在する領域、つまり影領域のみが重なり合う。我々はこの特性を用いて影領域と選手領域の識別を行う。

4.3. 選手位置の推定

前節で述べた手法により影領域を識別すると、選手の足元も影と判断されてしまい、正確な位置推定が行えないという問題が発生する。そこで、識別した影領域を除去するのではなく、影領域と2台のカメラから抽出された選手領域をフィールド面上に射影した“3つの領域”を用いて選手位置を推定する。

まず、同一選手に対応する領域を探す必要がある。カメラが固定であること、選手の影をフィールド面に落とす光源（通常は太陽）が、ゆっくり移動することから、同一選手領域・影領域がフィールド面に射影された際、各領域が選手の足元から伸びる方向は一意に決まるとする。この特性を利用して、投影された領域のフィールド面上での位置と方向から、同一選手から発生した3領域の対応を取得する。

次に、図 6に示すように、同一選手に対応する3領域の主軸の傾き θ_i 、重心位置 (x_{oi}, y_{oi}) とし、各領域について

$$a_i = \sin \theta_i, \quad b_i = \cos \theta_i, \quad a_i x_{oi} + b_i y_{oi} + c_i = 0$$

となるような直線をあてはめ、3直線の交点を

$$\sum (ax + by + c)^2$$

が最小になるような点 (x, y) として求める。この点を

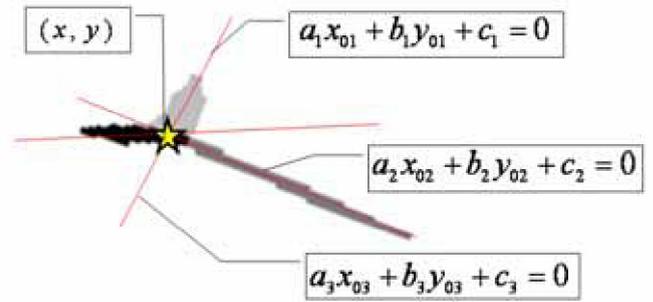
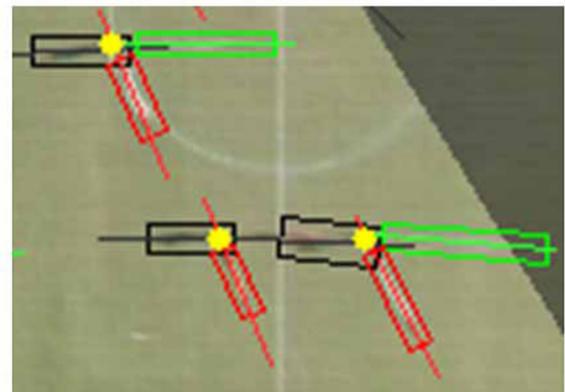


図 6 影領域を用いた選手位置推定



- 影領域
- カメラ1での選手領域の隣接矩形
- カメラ2での選手領域の隣接矩形
- 選手の足元位置

図 5 選手の足元位置の算出結果

選手の足元位置とする。最小二乗法を用いて推定処理を行うことにより、2つの領域の主軸が平行な場合についても同様の計算で足元位置の推定が可能となる。また、曇天時のように影が発生せず領域が2つしか存在しない場合にも検出された2つの領域の2直線のみで最小二乗法を適応することで同様に計算できる。オクルージョンによって一方のカメラからしか検出できなかった選手に関しても、その選手に対応する影領域が抽出できていれば、同様に計算が可能である。

図 5に提案手法によって推定した選手位置を黄色の点で示す。図中の緑色と赤色の矩形は、各カメラ映像中の選手領域をフィールド上に射影した領域、黒色の矩形は影領域である。

5. 選手のチーム分類

追跡物体同士が交差したり、重なったりする場合、誤った物体を追跡してしまうことがある。一度そのような状況が発生すると、物体が離れたときに、どちらの物体を追跡していたのかを判断することが困

表 1 選手のクラスの決定手法

| カメラ | カメラ1 | | | |
|------|------|-----|-----|-----|
| | クラス | 1 | 2 | 未確定 |
| カメラ2 | 1 | 1 | 未確定 | 1 |
| | 2 | 未確定 | 2 | 2 |
| | 未確定 | 1 | 2 | 未確定 |

難である．一方，サッカーでは，プレー中に選手同士が接触することが良くあるが，そのように近接した状態でプレーするのは，異なるチームの選手であることが多い．追跡領域をチーム毎に分類しておくことにより，物体同士の距離が近い場合においても，安定した追跡を実現する．

サッカーの試合では選手はチーム毎に決まった色のユニフォームを着るというルールを利用して，クラスタリング処理によって映像中の選手領域のチーム分類を行う．サッカーではユニフォームの色が数種類に限定されており，クラス数が既知とすることができるため，非階層的手法の k -means 法を用いる [13]． k -means 法は，初期種子点によって大きく結果が異なってしまうことがあるが，本システムでは，事前に取得したユニフォーム色を初期種子点として与えることにより適当な結果を得ることができる．

ユニフォームの色は抽出された選手領域のうち，ユニフォームの領域であることが予想される上部 20～50%の領域の平均色をその選手のユニフォーム色とした．映像中で観測されるユニフォーム色は，各々色空間における分布が異なるため，距離の判定には，ユークリッド距離ではなく，データの分散を考慮した距離尺度であるマハラノビス距離を用いる．色空間としては，色の違いを比較するのに適している $L^*a^*b^*$ 均等色空間を用いることで，クラスタリング精度を向上させる [13]．

1 フレーム毎にデータを追加し k -means 法を適用するためには大きな処理コストが必要となるため，映像の初期 30 フレームから抽出した全選手領域のユニフォーム色を学習用データとして与え， k -means 法を実行する．30 フレーム以降は，収束したときの種子点を用いてクラスタリング処理を行い，種子点の更新は行わないこととする．クラスタリングに誤りがあった場合，追跡の際に用いる情報としての役目を果たさなくなってしまう．そこで，マハラノビス距離が 10 以上になる場合は，実際とは異なるクラスに分類される可能性が高いため，未確定クラスとして判別処理を行う．

次に，カメラ 2 台から得られた検出結果を統合する．表 1 に示すように，対応のとれた選手のクラス情報が一致している場合には，そのままクラスを確定し，異

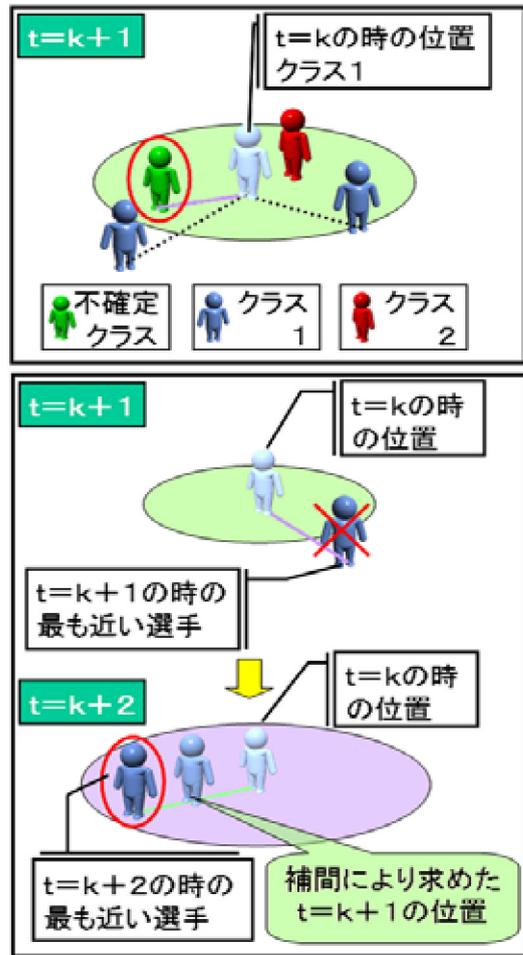


図 8 フレーム間の対応の取得方法

なるクラスに分類された場合にはどちらかの情報が誤っているとしてクラスを未確定とする．一方のカメラで未確定で，もう一方のカメラでクラスが確定している場合には，クラスが確定している方の情報を採用する．

6. 選手軌跡の獲得

選手の 3 次元位置とチーム分類結果を元にフレーム間の対応をとることにより，選手軌跡を獲得する．今回使用した映像は 30fps で撮影されているため，フレーム間で選手がそれほど大きく移動することがないと仮定する．そこで，図 8 上段に示すように，追跡している選手とチーム分類結果が同じ，または未確定となっている選手のうち，前のフレームでの位置から最も近い位置にいる選手を選択し，移動距離が閾値以下であれば，その選手を追跡中の選手と同一であると判断する．ただし，追跡中の選手のチーム分類結果が未確定となっている場合にはクラスに関係なく最も近い選手を選択する．そして，新たなフレームでクラスが確定している選手が選択された場合には，その時点で



図 11 撮影システム

追跡中の選手のクラスを確定する。

あるフレームにおいて、背景差分処理エラーにより選手の検出漏れが発生すると、追跡中の選手を見失ってしまい、図 8 下段に示すように、最も近い選手を選択してもフレーム間の移動距離が閾値以上となる。このような場合には、追跡選手は見失っている間も動いていることが予想されるので、その次のフレームで閾値を広げて探索する。これを数フレーム繰り返すことにより、見失った選手を再度検出する。再検出できた時点で、それ以前の見失っていたフレームでの位置を、見つけた位置と見失った位置の線形補間によって求める。選手がフィールド外に出てしまうなどして数フレームしても再検出できない場合には、完全に見失ったと判断し追跡を中断する。

7. 実験

7.1. 実験環境

提案手法の有効性を検証するために、国立霞ヶ丘競技場において撮影実験を行った。本実験では、メインスタンドから見てフィールドの左半面の空間を撮影対象とし、図 11 のようにカメラを電光掲示板とメインスタンド屋根上といった比較的高い位置に配置した。2 台のカメラは、プログレッシブ撮影可能な SONY 製の DXC-9000 を使用する。カメラは、GPS からの信号をもとに生成された外部同期信号を用いて同期撮影を行っている。撮影する画像サイズは VGA(640 画素×480 画素)、フレームレートは 30fps である。撮影画像中の各画素と 3 次元空間の座標を対応させるため、事前に 3 次元測量機を用いてカメラキャリブレーションを行う。

撮影対象は、第 15 回全日本大学女子サッカー選手権大会決勝戦、日本体育大学対大阪体育大学の試合の



図 10 初期種子点用選手画像

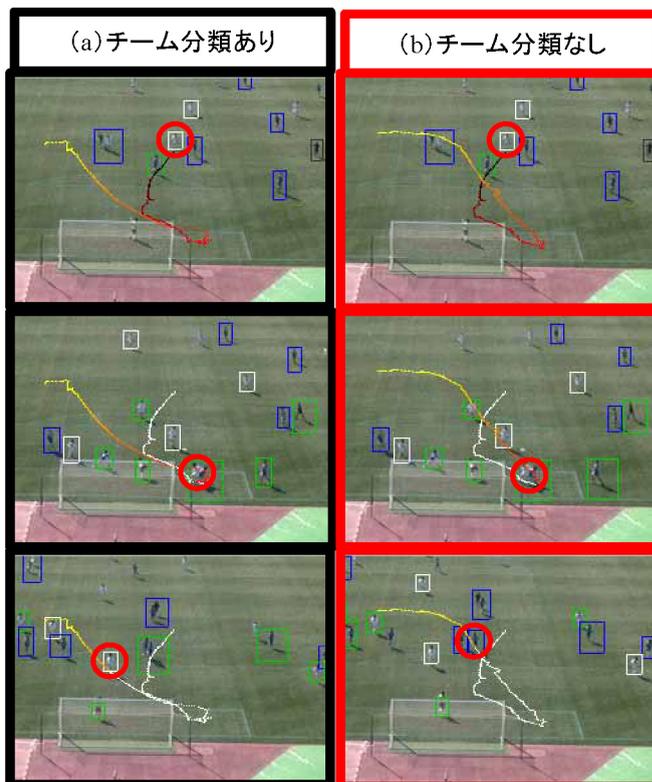


図 9 チーム分類の有無による獲得軌跡の違い

1 シーン 20 秒間である。今回使用したチーム分類の初期種子点獲得のための選手画像を図 10 に示す。

7.2. 実験結果

提案手法により獲得した選手軌跡例を図 9(a) に、チーム分類を行わずに獲得した選手軌跡例を図 9(b) に示す。チーム分類を行わない追跡ではフレーム間の距離だけを手がかりにした。赤丸が今回追跡した選手である。画像中に描かれている線が追跡している選手が移動する軌跡である。また、矩形は検出された選手領域を示しており、青、白、黒はそれぞれチーム 1、チーム 2、審判に分類されたことを表す。緑の矩形はその選手のチームが未確定であることを表す。

追跡開始後しばらくは共に白いユニフォームの選手を追跡しているが、ゴール前で青いユニフォームの選手と交差した際に、チーム分類を行わなかった場合

表 2 選手検出精度

| 画像中 選手数 | 検出 選手数 | 誤検出 選手数 | FN率 | FP率 |
|------------|-----------|------------|--------|-------|
| 11810 | 9896 | 38 | 16.20% | 0.30% |



図 13 検出失敗例

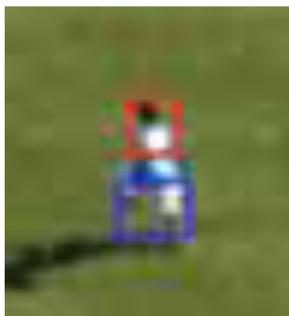


図 14 誤検出例

表 3 チーム分類結果

| 検出 選手数 | 確定クラス に分類 | 不確定クラス に分類 | 間違ったクラス に分類 | 分類成功 確率 |
|-----------|--------------|---------------|----------------|------------|
| 9986 | 6768 | 3130 | 9 | 68.30% |

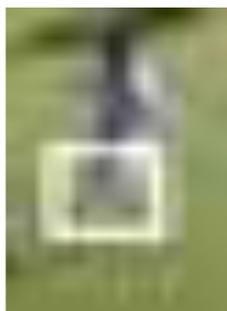


図 12 クラスタリング失敗例

は、それ以降のフレームでは、青いユニフォームの選手を追跡してしまう。チーム分類を行うことにより、別のチームの選手を誤追跡することを防ぐことができていることがわかる。

エラー! 参照元が見つかりません。に選手領域の検出精度を示す。画像中の選手数は目視で確認した数で、検出数はシステムが検出した選手数である。その中で検出した位置に選手がいなかった場合や、1人の選手を複数回検出してしまっているものを誤検出とした。本システムでは領域内の選手の数を考えていないため、エラー! 参照元が見つかりません。に示すように1つ領域に複数の選手が入り込むケースが発生する。このような場合にも、検出数は1しか数えられない。その結果、フィールド全体で検出される選手の数が実際よりも少ない False Negative が発生する。この誤差は、領域内に含まれる選手数をフレーム間の対応によって推測することにより減少させることができると考

表 4 処理時間

| 処理内容 | 処理時間 [ms] |
|-----------------------|-----------|
| 前景候補抽出 | 16~19 |
| 射影変換 | 41~42 |
| 影領域抽出 | 7~15 |
| 選手領域抽出 | 13~14 |
| 選手位置推定 | 0.3~5 |
| ユニフォーム色抽出 とクラスタリング | 23~25 |
| k-means法 | 45~46 |

えられる。また、誤検出は、図 14に示すように、一人の選手が二つの領域に分断されてしまう場合に発生する。これら複数の領域は、軌跡獲得時における統合処理により、除去することが可能である。

表 3にクラスタリング結果を示す。日照変動が大きく撮影解像度が低いため、不確定クラスに分類される選手が多いが、フレーム間の対応をとることによりクラスを確定させることができる。一方、間違ったクラスに分類された場合、統合処理に悪影響を与えるため、できる限り少なく抑える必要がある。なお、間違った分類が行われるのは、図 12に示すように、選手領域として足だけが検出されるなど、領域分割エラーが主な原因である。

表 4に Pentium4 3.2GHz、メモリ 2GB の PC で実行したときの各処理時間を示す。30fps の映像を実時間で処理するためには各処理が 33ms 以内に終わる必要がある。射影変換と k-means 法の処理で 40ms 以上かかっているが、これは現時点では十分な最適化を行っていないことが原因であり、今後最適化を行うことにより実時間での処理が十分に可能である。

8. まとめと今後の課題

サッカーの試合の自由視点映像の新たな提示法として選手視点映像を生成することを目的とし、その実現に必要な選手の軌跡情報を推定する手法を提案した。抽出した前景領域をフィールド面上に投影することにより、影が発生するような状況でも、安定して選手の位置を推定することが可能となる。また、ユニフォームの色情報を用いることにより、映像上で選手同士が交錯する場合における誤追跡の問題を解決した。国立霞ヶ丘競技場において、実際にサッカーの試合を撮影した映像を用いて選手追跡実験を行い、提案手法の有効性を検証した。今後の課題としては、カメラ台数を増やすことによる推定精度の向上、一つの領域内に存在する選手数を考慮することによる False Negative の解決などがある。

文 献

- [1] T. Kanade, P. Rander, P. J. Narayanan, "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes," IEEE Multimedia 1997, Vol.4, No.1, pp.34-47.
- [2] W. Matusik, C. Buehler, R. Rasker, S. J. Gortler, L. McMillan, "Image-Based Visual Hulls," ACM SIGGRAPH 2000, pp.369-374
- [3] T. Koyama, I. Kitahara, Y. Ohta, "Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium," ISMAR 2003, pp.178-187
- [4] 安居院猛, 長尾智晴, 斉藤智明, 中嶋正之, "ブロック特徴を用いた歩行人物の抽出と追跡," テレビジョン学会誌, vol.45, no.10, pp.1213-1220, Oct. 1991.
- [5] 内田恭輔, 三浦純, 白井良明, "雑踏における歩行者の追跡," PRMU99-209, pp.39-44, 2000.
- [6] 福島健介, 西原明法, "テンプレートマッチングを用いたリアルタイム選手追跡システムの開発とバドミントンシングルのゲーム分析," CAS2003-36, pp.91-96, 2003.
- [7] 岩元浩太, 麻田知嗣, 小松尚久, "信頼度パラメータを用いた広域動画像における人物追跡," IN2001-137, pp.13-18, 2001.
- [8] 佐竹純二, 尺長健, "階層的注視点制御による動画像上での複数人物追跡," 電子情報通信学会論文誌, vol.J86-D-II, no.8, pp.1212-1221, 2003.
- [9] 三須俊彦, 苗村昌秀, 高橋正樹, 和泉吉則, "オブジェクト追跡と背番号認識の連携による動画像用スポーツ選手同定手法," FIT(情報科学技術フォーラム)2003, LI-012, pp.187-189.
- [10] 坂木和則, 横田健一郎, 大野啓司, 鈴木康平, 有澤博, "多視点テレビ放送を用いた映像内のオブジェクト位置の認識と追跡," 電子情報通信学会論文誌, vol.J87-D-1, no.2, pp.175-187, Feb. 2004.
- [11] Bruno Muller Junior, Ricardo de Oliveira Anido, "Distributed Real-Time Soccer Tracking," VSN'04, October 15.
- [12] CHEN Baisheng, LEI Yungi, "Indoor and Outdoor People Detection and Shadow Suppression by Exploiting HSV Color Information," CIT'04, 0-7695-2216-5/04
- [13] "デジタル画像処理," CG-ARTS 協会.