

白線領域除去によるバドミントン映像からの選手位置解析

上山 嵩* 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

†筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

‡筑波大学 システム情報系 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

§筑波大学 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: *kamiyama@image.iit.tsukuba.ac.jp, † ‡ § {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 記録用に単視点固定カメラで撮影されたバドミントン映像を対象として、入力映像のコートラインと既知のコートモデルとの対応から平面射影変換行列を求め、俯瞰視点のコート平面上における選手位置を推定する手法を提案する。物体を長時間追跡可能なフレームワークを利用し、バドミントン競技での選手追跡処理に悪影響を与える白線領域を含むネット上部とコートラインを画像処理技術により除去および補間することで、高精度な選手位置解析を実現する。シングルスの実映像による評価実験により、選手位置の解析が可能であることを確認した。

キーワード スポーツ映像解析, 映像処理, 物体追跡, 平面射影変換, 位置推定, バドミントン

Player Position Analysis in Badminton Video by Inpainting White Lines

Takashi KAMIYAMA* Itaru KITAHARA†‡ Yoshinari KAMEDA†‡ and Yuichi OHTA§

*Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

†Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

‡Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

§University of Tsukuba

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

E-mail: *kamiyama@image.iit.tsukuba.ac.jp, † ‡ § {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a new method to estimate the player position from badminton video on the bird's-eye viewpoint. The position estimated by the plane projective transformation matrix from the correspondence between the court line in the video and the court model defined by the rulebook. We achieve high precision player position estimation by deploying the superior software of long-term tracking, and preprocess of inpainting white lines that adversely affect the tracking. The evaluation experiment was conducted on badminton singles video.

Keywords Sports Video Analysis, Video Processing, Visual Object Tracking, Plane Projective Transformation, Position Estimation, Badminton

1. はじめに

スポーツ映像における選手の運動情報は選手の技術向上や戦略分析において重要な情報であり、映像内からこうした運動情報を取得することでデータ解析を行う技術が開発されている[1][2][3][4]。これらの技術では情報の取得に多大な時間と労力を必要とする一方、データ解析の実用的な場面では指導者や選手に対する迅速な情報提供が期待されるため、選手の運動情報を

映像内から自動的に取得することが求められる。その中でも、映像内の選手追跡処理には、コンピュータビジョンを用いることが多い[5][6][7]。スポーツ映像における選手追跡では、撮影対象から離れて撮影した映像から、コートラインの検出や、高速で複雑な運動を伴う複数の選手を同時に検出・追跡する必要がある。スポーツ映像解析を目的とした撮影では、コート全体が写るように、遠地点から広角な単視点固定カメラで撮影された映像を想定する。追跡対象である選手の観

測サイズは小さく、各選手は他選手やネットなどの器具と観測上重なり合いながら移動する。本研究ではラケットスポーツ競技に注目し、選手を安定して追跡し、選手位置解析の実現を目指す。

本研究では、バドミントン競技の試合映像に対する選手追跡処理において、ネットやコートラインの要素を、事前の画像処理手法によって自然な見かけの状態を取り除き、その後選手追跡処理を実行する。この処理により、図 1 のような環境で撮影された映像内における、手前側選手および奥側選手の高精度な選手追跡が可能となる。選手追跡処理で取得した選手位置情報を、俯瞰視点のコート平面上に平面射影変換することで、従来と比較して、より高精度な選手位置解析を実現する。

2. 関連研究

本研究では、上述した状況が顕著に発生する追跡対象として、バドミントン競技の試合映像（以下、バドミントン映像）における選手を取り上げる。バドミントン競技は、激しい運動を伴うスポーツ競技であり、選手は姿勢を大きく変えることがある。このため、映像内における選手の観測形状が大きく変化する場合であっても追跡可能な画像処理技術が望まれる。バドミントン映像を撮影する場合、図 1 のようなカメラ撮影位置である体育館 2 階席での撮影を想定すると、コートまでの距離は 25m 程度となる。選手の観測サイズは小さく、映像内の奥側選手はネットでその身体が隠蔽される。以上ここに挙げた、物体追跡処理に対して悪影響を与える要因が存在する場合であっても、頑健に物体を追跡できるフレームワークを選手追跡に利用することが望ましい。

バドミントン映像に限らず、選手の観測サイズが小さいスポーツ映像に対して、安定した選手追跡処理を実現し、選手位置を解析する研究が 2 選手まですすめられている。サッカーを対象とした研究では、ボールを追うようにして移動するカメラで撮影した試合映像に対して、カメラの位置姿勢や移動方向などのパラメータを利用した選手追跡手法が提案されている[8]。また、ひとつのボールを追うように類似した動作を行う同じチーム内の選手を複数検出することで、相互的に各選手を追跡する研究も行われている[9]。

ラケットスポーツ映像を対象とした研究では、テニス映像に対する選手追跡処理が実現されている[10]。テニス競技とバドミントン競技では、選手の運動が類似している部分もあるため、テニス映像を対象とした手法を適用することが考えられるが、考慮されなければならない点が 2 つ存在する。ひとつは、テニス競技と比較してのバドミントン競技のコートサイズの小さ

さによる選手相互の隠蔽である。テニス競技のコートサイズが 23.77m×10.97m[17]であるのに対して、バドミントン競技のコートサイズは 13.4m×6.1m[18]と、コート面積が約 3 分の 1 である。もうひとつは、テニス競技と比較してバドミントン競技のネットの方が、ネットの位置が高いことである。ネット中央の高さは、テニス競技では 1.07m[17]、バドミントン競技では 1.524m[18]と、約 1.4 倍である。このため、バドミントン映像では、テニス映像と比較して映像内の選手相互の隠蔽は頻繁に発生し、映像内の奥側選手とネット間の隠蔽も頻繁に発生するため、選手に対する隠蔽への対応がより強く望まれる。ラケットスポーツ映像内の手前側選手のみに対する選手追跡手法[11]を用いた場合であっても、選手に相互隠蔽が頻繁に発生するバドミントン映像に対しては安定した追跡処理が困難である。複数視点からの撮影が認められるのであれば、選手の相互隠蔽に対して頑健な追跡手法として、多視点映像を用いた手法が挙げられる[12][13][14]。多視点撮影された各撮影映像における選手の相互隠蔽の有無を検出し、追跡対象である選手の位置情報を他撮影映像において推定された位置情報を用いて修正および補正を行うことで、複数映像間で整合のとれた選手追跡手法も提案されている[19]。

スポーツ映像における選手を追跡し、取得した位置情報を実際のコート平面上に射影することで、選手位置を解析する研究が行われている[10][11][12][13][14]。これらの手法では、入力映像のコートラインと既知のコートモデルとの対応から平面射影変換行列を求め、俯瞰視点のコート平面上における選手の位置を推定している。

バドミントン競技においては、これまで、ネットを挟んだ各コートをもとに 9 つに分割し、選手の位置やシャトルcockを打った位置、シャトルcockが落ちた位置をその 2 次元平面上の分割コートのいずれかに当てはめることで、その統計を算出するという手法を用いて試合のデータ分析が行われてきた[20]。高精度な選手の位置情報は用いられていないのが現状であり、高精度な選手位置の取得が可能となれば、より詳細なデータ分析が期待できる。

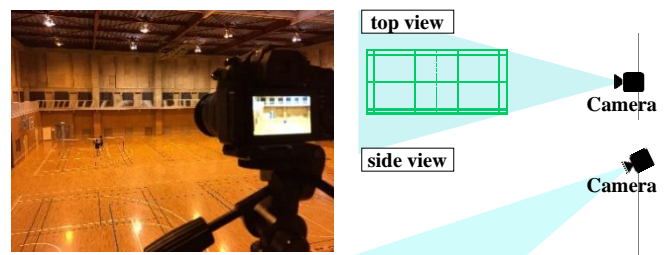


図 1 バドミントン競技試合映像の撮影例（左：撮影状況、右：撮影カメラの配置）

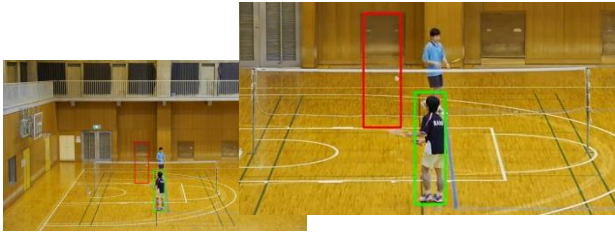


図 2 バドミントン映像に対する TLD による選手追跡結果

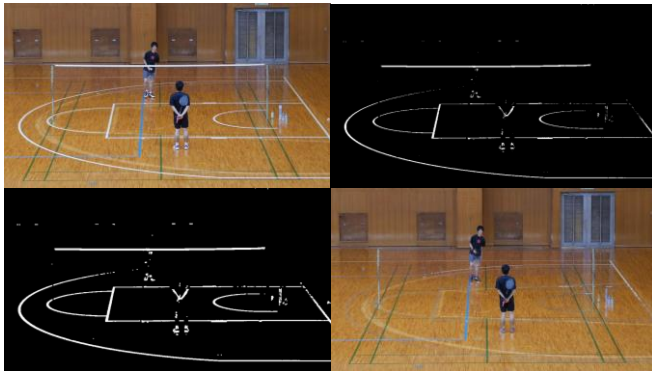


図 3 Image Inpainting を用いた白線領域除去 (左上: 入力画像, 右上: 白色領域を検出して 2 値化したマスク画像, 左下: 膨張処理を加えたマスク画像, 右下: マスク画像を用いて入力画像に Image Inpainting を適用した画像)

3. 白線領域を除去した選手追跡

3.1. Tracking-Learning-Detection を用いた選手追跡

1 章で述べた状況が頻繁に発生するバドミントン映像に対し、追跡対象である選手を安定して長時間追跡するフレームワークとして、Tracking-Learning-Detection[15]を利用し、映像内の手前側選手および奥側選手を同時に追跡する。Tracking-Learning-Detection (以下、TLD) とは追跡、学習、検出の各構成要素が並行して実行されることで、物体を長時間追跡する手法である。それぞれが各要素の問題点を抑制しあうように結合されていることが特徴である。

バドミントン映像に対して TLD を実行し、各選手を追跡した結果を図 2 に示す。映像内の手前側選手の追跡が成功していることが確認できる。一方で、追跡対象が白線領域として誤検出されており、奥側選手の追跡が失敗していることが確認できる。これは、ネットが誤って追跡対象の一部としてとらえられているためである。ネットはその上部が白色かつ直線的であることから、背景領域である体育館のアリーナと比較すると、高コントラスト、高エッジ強度となり、TLD による選手追跡処理に対して悪影響を与えている。アリーナ上に描かれている白色のコートラインも同様に強い影響を与えている。以上の問題を解決するために、TLD

を実行する前に、映像内から白線領域を含むネットおよびコートラインを自然な見かけの状態を取り除く処理を施す。

3.2. Image Inpainting を用いた白線領域除去

バドミントン映像内から白線領域のみを取り除くために、Image Inpainting[16]を導入する。Image Inpainting は、画像内の指定領域を取り除き、その周辺領域のテクスチャを用いて指定領域を補間する画像修復手法である。この処理によって、画像内の指定領域を、自然な見かけで補間することが可能となる。

図 3 に白線領域除去の処理過程における各画像を示す。始めに、Image Inpainting を施す白線領域を推定するために、バドミントン映像 (図 3 左上) に対して白色領域の検出を行う。体育館における白色領域は、天井に設置されている照明や窓の隙間から差し込む日照の影響により、同じ映像内であっても色表現にばらつきが存在する。このため、色空間を HSV 色空間に変換して白色領域を検出する。次に、検出した領域を用いて 2 値のマスク画像を生成する (図 3 右上)。Image Inpainting を施すためには、マスクがある程度の面積をもつ方が効果的であるため、マスク画像に対して膨張処理を適用する (図 3 左下)。このマスク画像を指定領域とし、Image Inpainting を施す。図 3 右下から、自然な見かけのまま映像内の白線領域のみが取り除かれていることが確認できる。以上の処理を映像の各フレームに施すことで、白線領域の除去が可能となる。

4. 平面射影変換による選手位置解析

白線領域を除去した選手追跡処理 (TLD) によって、選手位置情報が矩形として取得される。本節では、その取得した矩形の位置情報からコート平面上での選手位置を解析する手法について述べる。

選手位置解析を行うために、コート俯瞰視点の映像を生成し、その映像に選手の接地位置を描画する。始めに、映像の各フレームに対して平面射影変換を施す。バドミントン競技規則[17]に記載されているコート規格に基づき、あらかじめバドミントン競技のコートモデルを作成しておく。図 4 (a) に示すように、映像内のコート上 4 点 $P_1 \sim P_4$ とコートモデル上 4 点 $P'_1 \sim P'_4$ の対応関係から、平面射影変換行列を算出し、図 4 (b) に示すようなコート俯瞰視点映像を生成する。次に、矩形の重心座標および幅、高さの情報から選手の接地位置を推定する。各選手の接地位置は、取得した矩形の底辺における中心点と定義している。

以上の処理によって選手位置が求まるため、以降の解析も可能となる。各選手の移動量および方向、動作情報の算出など、データ解析への利用も期待できる。

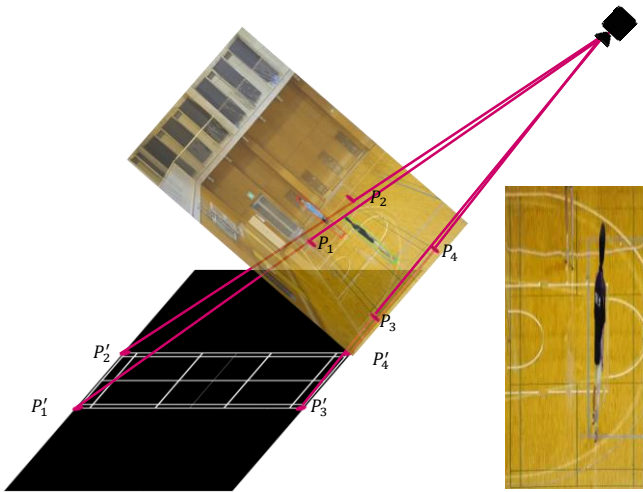


図 4 平面射影変換

(a) 映像内コート上4点とコートモデル上4点の対応関係を用いた平面射影変換, (b) 平面射影変換後のコート俯瞰視点映像

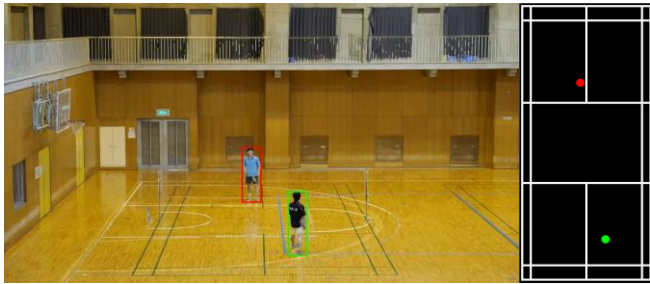


図 5 選手位置の解析 (左: 白線領域を除去した選手追跡処理により取得した各選手の位置情報, 右: コートモデルに描画した各選手接地位置)

5. 提案手法の実証実験

5.1. 実験に用いるバドミントン映像

体育館においてバドミントン競技の試合風景を、1台の固定カメラを用いて撮影し、その撮影映像を用いて選手の追跡精度に関する実証実験を実施した。本研究では、Panasonic 社 DMC-GH3 を用いて、1920 画素×1080 画素の解像度の映像を毎秒 30 枚撮影する。シャッター速度は 1/60 秒である。体育館の 2 階席にカメラを設置する。図 1, 図 2 に示すように、奥側選手に対してネットとの相互隠蔽が発生するような角度である。選手のウェアの色を変更して合計 3 種類の試合映像を撮影した。各映像は男子シングルの試合映像であり、いずれも約 10 分間のゲームの一部である。

5.2. 選手追跡精度の比較評価実験

前節で述べたバドミントン映像を用いて提案手法の実証実験を実施することで、提案手法適用前後における選手追跡精度の比較を行い、提案手法の有効性を確認する。TLD では、物体追跡の結果が矩形の有無とその画像内の位置情報で与えられる。実験で用いる評価指標として、画像内に矩形が存在し、その中に選手がいる場合を *TruePositive* のフレーム数 (以下、 T_P) とする。画像内に矩形が存在しているにもかかわらず、その中に選手がいない場合を *FalsePositive* のフレーム数 (以下、 F_P) とする。選手がいるにもかかわらず、画像内に矩形が存在しない場合を *FalseNegative* のフレーム数 (以下、 F_N) とする。評価実験で用いる映像内には選手が常に 2 名いる。映像内のフレーム数×選手の数 (2 人) に対して、以上 3 種類の評価指標のうち、いずれの状態に当てはまるのかを目視で確認し、式(1)~(3)を用いて適合率 (Precision), 再現率 (Recall), F-尺度 (F-measure) を算出した。図 6 に示すように、TLD のみを適用した場合の平均は、適合率 0.70, 再現率 0.62, F-尺度 0.66 であった。一方、TLD と Image Inpainting を適用した場合の平均は、適合率 0.89, 再現率 0.71, F-尺度 0.79 であり、追跡精度が向上していることがわかる。図 7 に示すように、提案手法適用前にネットを追跡対象として誤って追跡しているのに対し、提案手法適用後は正確に選手を追跡していることが確認できる。以上の結果から、提案手法の有効性を確認できる。

$$\text{Precision} = \frac{T_P}{T_P + F_P} \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{T_P}{T_P + F_N} \quad (2)$$

$$\text{F-measure} = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

5.3. 選手追跡の向上率および低下率

前節では、映像の全フレームを通して総合的に提案手法が有効であることを確認した。しかし、図 8 に示すように、提案手法を適用前と比較して提案手法適用後の奥側選手追跡が失敗しているフレームも存在した。そこで、提案手法によって選手追跡がどの程度向上しているのか、また低下しているのかを確認するために、映像の全フレーム数を K とし、式(4), 式(5)を用いて提案手法による選手追跡の向上率および低下率を算出した。式(4), 式(5)中の矢印記号は、始点が提案手法適用前、終点が提案手法適用後の状態を示す。このときの状態は、前節で述べた評価指標である、矩形と選手

の位置関係を用いる。ここで、*FalseNegative*のフレームはその前後の追跡結果から、その位置を補間可能であると考え、 $\{F_P\} \rightarrow \{F_N\}$ を向上率に含まれるものとしている。一方で、 $\{T_P\} \rightarrow \{F_N\}$ は、追跡処理としては追跡に失敗したフレームに想定するため、低下率に含まれるものとする。表 1 に示すように、全ての実験映像に対して向上率および低下率を算出した平均は、追跡向上率が 30%、追跡低下率が 12%であった。選手追跡に失敗しているフレームについては、白線以外の線が追跡対象として誤って混入していることが主な原因であるとみられる。選手追跡処理を実行する前に、白線領域に加えて他の色の線領域も同様に映像内から取り除くことで対応が可能であると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{Improvement rate} &= \frac{(\{F_P, F_N\} \rightarrow \{T_P\}) + (\{F_P\} \rightarrow \{F_N\})}{2K} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Worsening rate} &= \frac{(\{T_P, F_N\} \rightarrow \{F_P\}) + (\{T_P\} \rightarrow \{F_N\})}{2K} \end{aligned} \quad (5)$$

表 1 各実験映像における選手追跡の向上率および低下率

| | Improvement rate | Worsening rate |
|------------|------------------|----------------|
| sequence 1 | 0.40 | 0.17 |
| sequence 2 | 0.10 | 0.06 |
| sequence 3 | 0.44 | 0.06 |

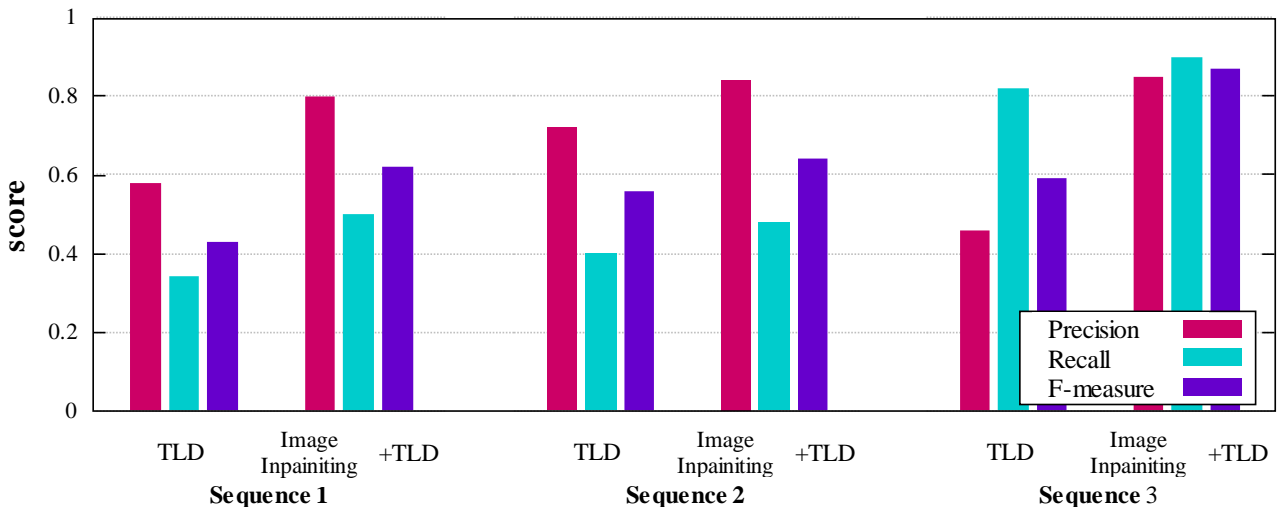


図 6 提案手法適用前後の比較評価実験結果

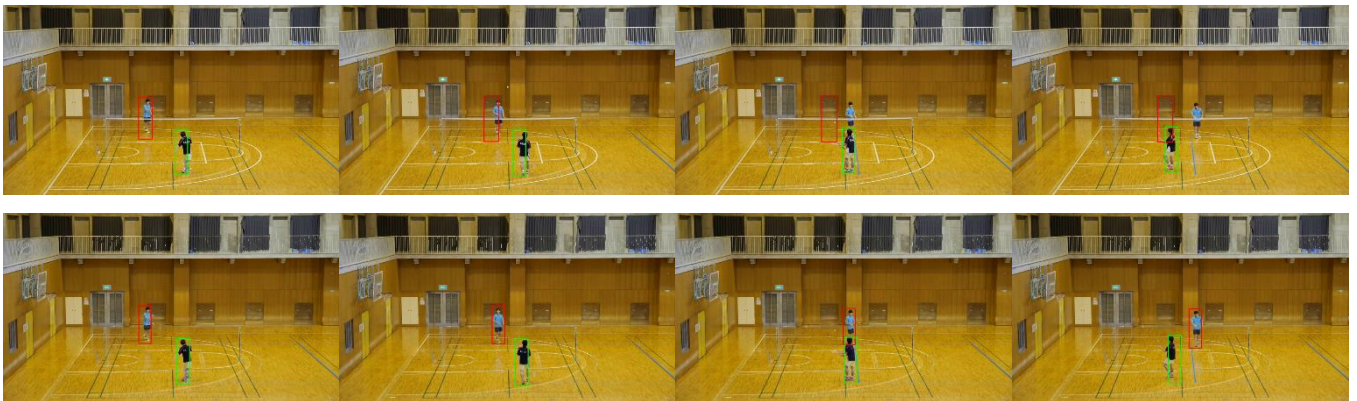


図 7 提案手法適用前後における選手追跡結果の比較(上段: TLD のみを適用した場合の選手追跡結果, 下段: Image Inpainting および TLD を適用した場合の選手追跡結果)



図 8 Image Inpainting および TLD を適用した場合に奥側選手追跡に失敗しているフレーム

6. おわりに

本研究では、バドミントン映像における複数選手を同時に追跡し、その位置を解析する手法を提案した。追跡対象物体の観測形状の変化に対応して頑健な追跡手法である TLD と、選手追跡時に悪影響を与える白線領域を映像内から取り除くための Image Inpainting を導入し、バドミントン映像における選手追跡精度の向上を実現した。また、選手追跡処理によって取得した選手の位置情報をコート平面に対して描画することで選手位置解析が可能であることを示した。単視点固定カメラで撮影されたシングルのバドミントン映像を用いた実証実験により、提案手法の有効性を確認した。さらに、提案手法による副作用として、提案手法を施すことによって選手追跡に失敗する場合を考え、その原因と対策について確認した。

本研究は、科研費 25280056 の助成を受けたものである。

文 献

- [1] SPORTS CODE, <http://sportscode.jp/>
- [2] Data Stadium, <https://www.datastadium.co.jp/>
- [3] Data Volley, <http://unlimited.volleyball.ne.jp/datav/>
- [4] Match Analysis, <http://matchanalysis.com/>
- [5] R. T. Collins, P. Carr, “Hybrid Stochastic / Deterministic Optimization for Tracking Sports Players and Pedestrians,” Proc. 13th European Conference on Computer Vision, pp.298-313, Zurich, Switzerland, Sept.2014.
- [6] S. Chen, A. Fern, S. Todorovic, “Multi-Object Tracking via constrained Sequential Labeling,” Proc. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1130-1137, Columbus, United States, June 2014.
- [7] T. Lan, L. Sigal, G. Mori, “Social Roles in Hierarchical Models for Human Activity Recognition,” Proc. 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1354-1361, Providence, United States, June 2012.
- [8] K. Iwai, S. Takahashi, T. Ogawa, “Player Tracking in Far-View Soccer Videos Based on Composite Energy Function,” Proc. IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E97-D, no.7, pp.1885-1892, July 2014.
- [9] W. L. Lu, J. A. Ting, K. P. Murphy, J. J. Little, “Identifying Players in Broadcast Sports Videos using Conditional Random Fields,” Proc. 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.3249-3256, Colorado Springs, United States, June 2011.
- [10] M. Y. Fang, C. K. Chang, N. C. Yang, C. M. Kuo, S. K. Guang, “Robust Player Tracking for Broadcast Tennis Videos with Adaptive Kalman Filtering,” Proc. Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, vol.5, no.2, pp.242-262, April 2014.
- [11] G. Zhu, Q. Huang, C. Xu, L. Xing, W. Gao, H. Yao, “Human Behavior Analysis for Highlight Ranking in Broadcast Racket Sports Video,” Proc. IEEE Transactions on Multimedia, vol.9, no.6, pp.1167-1182, Oct.2007.
- [12] P. Lucey, A. Bialkowski, P. Carr, S. Morgan, I. Matthews, Y. Sheikh, “Representing and Discovering Adversarial Team Behaviors using Player Roles,” Proc. 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.2706-2713, Columbus, United States, June 2013.
- [13] C. Direkoglu, N. E. O’Connor, “Team Activity Recognition in Sports,” Proc. 12th European Conference on Computer Vision, pp.69-83, Firenze, Italy, Oct.2012.
- [14] R. Hamid, R. K. Kumar, M. Grunndmann, K. Kim, I. Essa, J. Hodgins, “Players Localization using Multiple Static Cameras for Sports Visualization,” Proc. 2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.731-738, San Francisco, United States, June 2010.
- [15] Z. Kalal, K. Mikolajczyk, J. Matas, “Tracking - Learning - Detection,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.34, no.7, pp.1409-1422, July 2012.
- [16] A. Telea, “An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method,” Journal of graphics tools, vol.9, no.1, pp.23-34, 2004.
- [17] テニスルールブック 2015, 公益財団法人 日本テニス協会, 2015.
- [18] バドミントン競技規則 2014-2015, 公益財団法人 日本バドミントン協会, 2015.
- [19] 三功 浩嗣, 内藤 整, “サッカー自由視点映像の生成を目的としたオブジェクト追跡,” 電子情報通信学会技術研究報告 モバイルマルチメディア通信, vol.112, no.135, pp.25-30, July 2012.
- [20] 阿部 一佳, 渡辺 雅弘, “バドミンントンの指導理論 1,” 日本バドミントン指導者連盟, July 2008.