

## 高速かつ変則的に移動するバドミントンシャトルの軌跡推定法 Trajectory Estimation of Badminton Shuttle Moving Anomalously and Fast

戸 英彦†  
Hidehiko Shishido

北原 格†  
Itaru Kitahara

亀田 能成†  
Yoshinari Kameda

大田 友一†  
Yuichi Ohta

### 1. はじめに

高速移動物体の追跡処理は、コンピュータビジョンの重要な研究テーマであるが[1]、微生物やボールのような小型で、かつ、高速に移動する物体を追跡対象とする場合、少ない画像特徴量をいかに補うかが課題となる[2,3]。本研究では、高速に移動する追跡対象物体として、バドミントンのシャトルに着目する。バドミントンのシャトルは、一般的に観測サイズが小さく、高速に移動するのに加え、その動きが変則的であるため、そのような移動を考慮した追跡手法が求められる。

高速に移動する物体は、画像上でモーションブラーを伴って観測される。我々は、モーションブラーの形状が物体の移動速度の情報を有する点[4]に着目し、映像情報からシャトルの位置と速度を観測し、シャトルの3次元追跡を実現している[5]。しかし、選手に打ち返えされた直後のシャトルは、非常に高速かつ変則的に移動するため、推定誤差が大きくなるといった問題が残っている。本稿では、そのような移動時には、対象物体がモーションブラーにより一本の線として観測されることに注目し、複数視点における線の対応により、3次元空間中の移動軌跡を推定する手法を提案する。

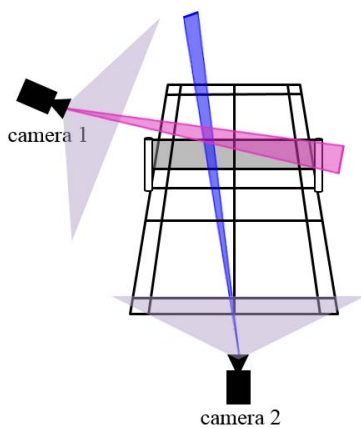


図1. 2台のカメラ位置からシャトルの3次元観測曲面の交線を求めることでシャトルの軌跡を推定

### 2. 高速かつ変則的に移動するバドミントンシャトルの軌跡推定

バドミントンシャトルは、打ち返えされた直後に変則的に移動する。本研究では、その間を2台のカメラを用いて同期撮影したフレームにおいて、移動物体の3次元軌跡推定手法を提案する。

各画像において、モーションブラーを伴って線状に観測されるシャトル領域を切り出す。その領域に細線化処理を施すことにより観測線を得る。各カメラに対して射影変換行列の疑似逆行列を算出し、それを用いて観測線を3次元空間中に投影する。投影された観測線は3次元空間中では曲面となる（以降、観測曲面）。図1に示すように、カメラ毎に算出された観測曲面の交線を求めることにより、シャトルの移動軌跡を推定する。運動モデル等を介さず、観測線から直接3次元軌跡を推定するため、不規則な移動への対応が可能である。以下で具体的なシャトル軌跡推定方法について述べる。

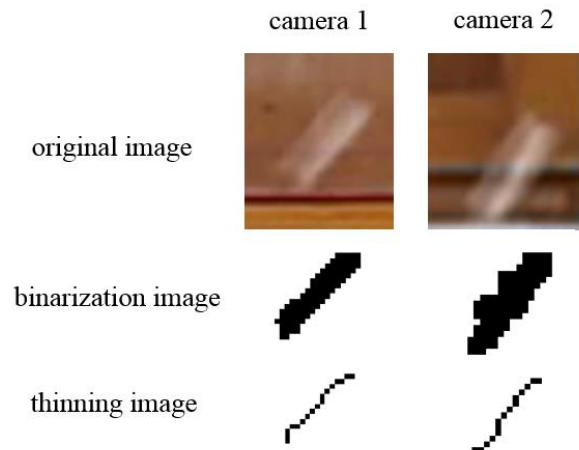


図2. 上段：2台のカメラで撮影したシャトル領域，中段：背景差分処理後の2値化画像，下段：2値化画像を用いた細線化処理

#### 2.1 モーションブラー領域の細線化

図2上段に例を示す撮影画像から切り出したシャトル領域に対して細線化処理を施す。図2中段に示すように、背景差分処理後に2値化処理を施し、シャトル領域を切り出す。その領域に対して細線化処理を行い図2下段に示す細線化画像を得る。図2で示した例では、撮影画像は1920画素×1080画素、シャトル領域の画像は約30画素×30画素である。

#### 2.2 シャトルの3次元軌跡推定

3次元位置を推定するために、2.1節で述べた細線化画像の各点を3次元空間中に投影する。世界座標系におけるある点 $(X, Y, Z)$ と画像上での観測座標 $(u, v, c)$ との関係は、カメラの射影変換行列 $P$ を用いて式(1)のように表される。

† 筑波大学, University of Tsukuba

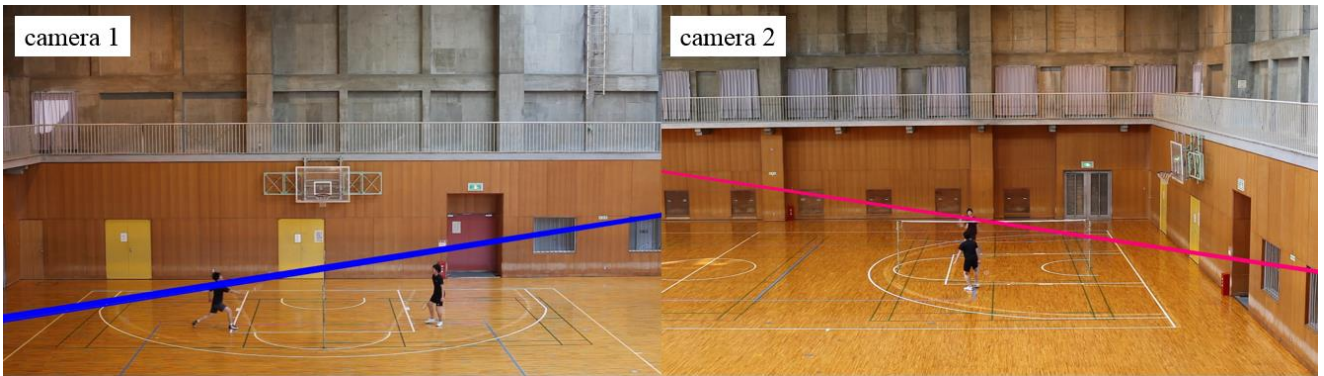


図3. カメラ毎に投影したシャトルの観測線

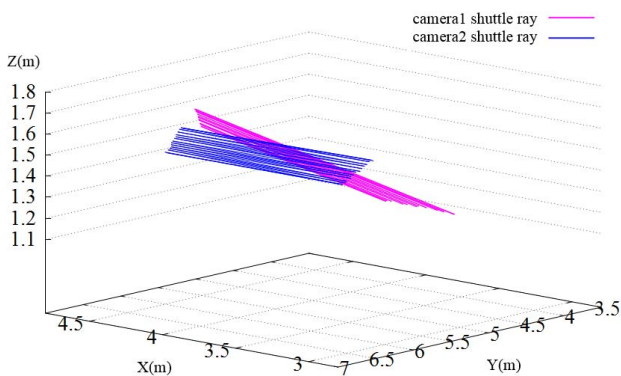


図4. カメラ毎に投影したシャトルの3次元観測曲面

$$\lambda \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{P} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$\mathbf{P}$ の疑似逆行列を $\mathbf{P}^+$ を用いることにより式(2)を得る.

$$\lambda' \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{P}^+ \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

式(2)を用いて細線化した観測点群(観測線)を3次元空間中に投影し、観測曲面を算出する。ある撮影画像からの投影結果(観測曲面)をもう一方のカメラから観察した一例を図3に示す。

図4に示すように、この観測曲面の交線を算出することにより、各画像上で観測されるシャトルの観測線の3次元情報を復元し、シャトルの移動軌跡を推定する。

### 3. おわりに

本研究では、高速かつ変則的に移動するバドミントンシャトルの軌跡推定法を提案した。対象物体がモーションブラーにより一本の線として観測されることに注目し、複数視点における観測線の対応により、3次元空間中の移動軌跡を推定する手法を提案した。本提案手法により、1フレームに観測されるシャトルの移動軌跡を推定できることを確認した。

### 参考文献

- [1] Fei Yan, William Christmas, Josef Kittler, Layered Data Association Using Graph-Theoretic Formulation with Application to Tennis Ball Tracking in Monocular Sequences, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, Issue. 10 pp.1814-1830, 2008
- [2] Hiromasa Oku, Naoko Ogawa, Kogiku Shiba, Manabu Yoshida, Masatoshi Ishikawa, How to Track Spermatozoa using High-Speed Visual Feedback, 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2008), pp.125-128, 2008
- [3] Kohei Okumura, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, High-Speed Gaze Controller for Millisecond-order Pan/tilt Camera, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), pp.6186-6191, 2011
- [4] Yuanyuan Ding, Scott McCloskey, Jingyi Yu, Analysis of Motion Blur with a Flutter Shutter Camera for Non-linear Motion, In: 11th European conference on Computer Vision (ECCV2010), Lecture Notes in Computer Science Volume 6311, pp 15-30, 2010
- [5] Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, A Trajectory Estimation Method for Badminton Shuttlecock Utilizing Motion Blur, 6th Pacific Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2013), LNCS 8333, pp.325-336, 2013