

## 8C-4 バレーボールのスパイク速度計測システム開発

瀧澤 良司<sup>†</sup> 玉木 徹<sup>†</sup> 山本 正信<sup>†</sup> 斉藤 克也<sup>§</sup> 八坂 剛史<sup>§</sup> 牛山 幸彦<sup>§</sup>

<sup>†</sup>新潟大学工学部情報工学科

<sup>†</sup>新潟大学大学院自然科学研究科

<sup>§</sup>新潟大学教育人間科学部

### 1. はじめに

球技スポーツ選手の能力を判断する上で、球速がその評価のひとつとなる。例えば、野球のテレビ中継では投手が投げた球の速さは瞬時にスピードガンで測定されている。一般に、正確に球速を測定するためには、スピードガンを球の進行方向の延長線上に設置する必要がある。野球の投手の球の場合は問題ないが、バレーボールでは球の進行方向が毎回異なっており、スピードガンでの測定は難しい。そこで本研究では、スピードガンを用いずに、バレーボールのスパイクの球速を2台のカメラ映像から求めることを目的とする。

### 2. 2台のカメラのモデル

2台のカメラをカメラ1、カメラ2とし、各カメラの内部変数（焦点距離、画像中心）を表す行列を  $A_1, A_2$  とする。2台のカメラを固定した時、各カメラの画像中の対応点は基礎行列  $F$  で関係づけられる。さらに、 $F$  と  $A_1, A_2$  を用いて、基本行列  $E$  は  $E = A_1^T F A_2$  と表せる。ここで、 $E$  はカメラ1とカメラ2の間の相対的な回転行列  $R$  と並進ベクトル  $t$  に分解できる [2]。ただし、 $t$  は定数倍で不定である。

### 3. カメラ同期問題

通常の3次元復元では、静止している物体の各カメラへの投影点から3次元座標を計算する。ボールのように高速に運動している物体の場合、2台のカメラに投影される点は同時刻のものでなければならないため、2台のカメラを同期させることが必要である。しかし、市販のカメラ同士の同期をとることは難しい。そこで、2カメラ間の  $F$  行列を利用し、1つのカメラにつき連続したフレームを2枚ずつ、計4枚のフレームを用いることで、疑似的に同期を計る [1]。

移動物体のある時刻での3次元位置を  $A, B, C, D$  とする (図1)。ここでは、連続したフレームにおいて、移動物体が等速直線運動をしていることを仮定する。カメラ1における  $A, C$  の投影点を  $a, c$ 、カメラ2における  $B, D$  の投影点を  $b', d'$  とする。カメラ1において  $A$  が  $a$  に投影される時刻を  $t$ 、 $C$  が  $c$  に投影される時刻を  $t+1$  とする。2台のカメラの同期は  $\Delta t$  だけずれているとすると、各カメラは一定間隔で画像に記録していくため、カメラ1は  $t+n$  ( $n=1, 2, \dots$ ) の時刻のときのみ記録でき、同様にカメラ2は  $t+\Delta t+n$  の時刻のときのみ記録できる。

ここで、3次元点  $B$  を復元するためにはカメラ1の画像中の未知の座標  $b$  を求める必要がある。移動物体が  $A, B, C, D$  を通る直線上を移動しているので、カメラ1の画像中に2点  $a, c$  を通る直線が得られる。また、点  $b, B, b'$  がエピポーラ平面を作ることから、カメラ2の画像中の既知の座標  $b'$  と2カメラ間の既知の  $F$  行列

を用いてカメラ1の画像内にエピポーラ線が得られる。したがって、この2直線の交点が  $b$  である。

以上で得られた  $b$  と  $b'$  から  $B$  の3次元座標を復元する [3]。同様に  $D$  も復元する。

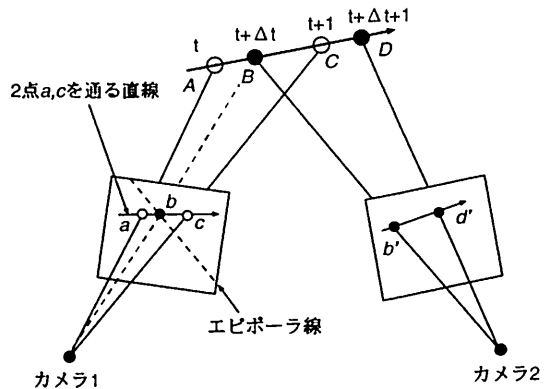


図1: 2台のカメラの配置と物体の移動経路との関係

### 4. 球速の算出

前述したように、 $E$  から分解される  $t$  は定数倍で不定であるので、前節において復元された  $B, D$  も定数倍で不定となる。そこで、この定数倍を決定するために、実際の3次元座標での既知の長さ  $R_d$  と、それを復元した3次元座標でのユークリッド距離  $S_d$  の比を用いる。したがって、復元した3次元点  $B, D$  のユークリッド距離を  $|B - D|$  と表すと、実際の球速  $V$  は次のようになる。

$$V = \frac{R_d |B - D|}{S_d} \quad (1)$$

### 5. 実験

#### 5.1 各カメラの事前準備

2台の市販カメラ (SONY DVR-TRV900, SONY DCR-TRV950) を使用し、スパイクの映像を30fpsで撮影した。まず、各カメラの内部変数を求めるため、各カメラで格子パターンを複数枚撮影し、各画像中の格子点の対応から  $A_1, A_2$  を求めた [4]。このときに歪み係数も得られるので、本研究で扱うすべての画像のレンズによる歪みはあらかじめ補正しておく。

#### 5.2 カメラ設置と外部変数の推定

図2のように、2階のギャラリーからコート中央を見下ろすようにしてカメラ1を、コート真横からカメラ2を設置した。次にバレーコートにおける対応点の

座標を記録から  $F$  行列を求め [5]、さらに  $E$  行列を導出し、外部変数  $R, t$  を求めた [2]。

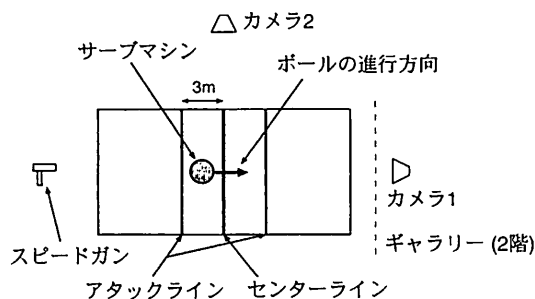


図 2: 実験カメラ配置

### 5.3 速度計測

カメラのシャッタースピードはすべて  $1/500$  秒に設定した。今回の実験では実際のスパイクではなく、サーブマシンを使って、コート奥から手前に向かってボールを数回放った。同時にスピードガン (StalkerRader 社製 The Stalker Sports) でボール進行方向の後方から、ギャラリーと同じ程度の高さの位置において、計測者が手に持って計測した。サーブマシンは可能な最高速度でボールを放ち、球速はほぼ一定であると考えた。

球速を求めるために  $S_d$  を設定する必要がある。今回はセンターライン上の点  $P_1$  とそれとの最小距離にあるアタックライン上の点  $P_2$  を復元し、 $S_d = |P_1 - P_2|$  とした。なお、コート上での実際の長さ ( $R_d$ ) は  $3m$  である。球速  $V$  は以下の式で求めた。

$$V = \frac{R_d |B - D|}{S_d} \times \frac{30[\text{fps}] \times 60[\text{sec}] \times 60[\text{min}]}{1000[\text{m}]}$$

ここで、第 2 項では単位を  $m/\text{frame}$  から  $\text{km}/h$  に変換している。

### 5.4 実験結果

図 3 はボールがサーブマシンによって放たれた直後から画面外にでるまでの各フレーム間の速さと、そのときのスピードガンでの結果を示す。スピードガンで計測した 9 回の速度の平均は、 $72.9 \pm 2.42[\text{km}/h]$  であった。

図 3 のスピードガンで測定した初速と、本手法で算出した速さは近い値を示している。しかし、スピードガンでの計測には、機器自体の誤差や、スピードガンを固定せずに手に持って計測していることによる測定角度の誤差などが含まれている。また本手法で  $S_d$  と  $R_d$  の比を用いて球速を求めているが、カメラキャリブレーションや  $F$  行列を求めるための座標取得は手動で行なっているので、復元した  $S_d$  にも誤差がある。

## 6. おわりに

本稿では、2 台のカメラ映像からバレーボールのスパイク速度を求める方法を示した。今後は、より精度の高い結果を得るために、最適化によって厳密に  $S_d$  を

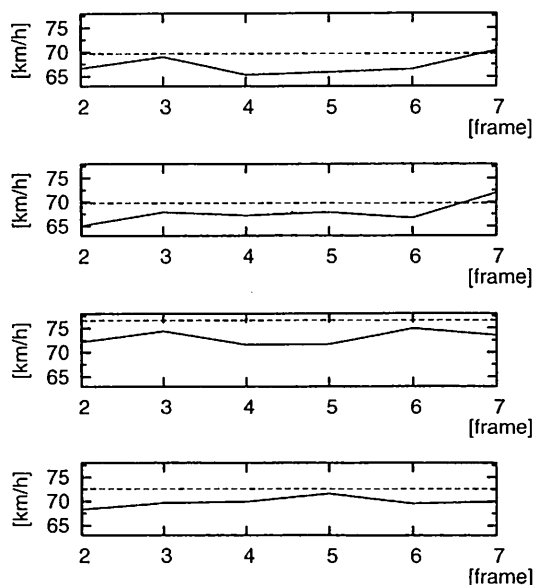


図 3: スパイク速度の変化。点線はスピードガンで計測した初速を、実線は本手法で計測した各フレームの速度を表す。

決定し、算出した速度の誤差解析を行なう。また、動画像から短時間で球速を求められるようなシステムを開発する。

### 謝辞

本研究の実験に協力して頂いた新潟大学バレー部の皆様に感謝致します。

### 参考文献

- [1] Chunxiao Zhou, Hai Tao: "Dynamic Depth Recovery from Unsynchronized Video Streams", *Proc. of CVPR2003*, Vol.2, pp.351-358, 2003.
- [2] Yi Ma, Stefano Soatto, Jana Kosecka, S. Shankar Sastry: *An Invitation to 3-D Vision*, Springer-Verlag, 2003.
- [3] 徐 剛, 辻 三郎: 3次元ビジョン, 共立出版, 1998.
- [4] Intel Open Source Computer Vision Library: <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>.
- [5] 三島 等, 金谷 健一: "基礎行列の最適計算とその信頼性評価", 情報処理学会研究報告, 99-CVIM-118, 情報処理学会, 1999.