

## 投球された野球ボールの自然シーン中からの抽出と追跡

村井 祐一† 番匠 一雅†  
山本 和弥† 野田 健一†

飛球をステレオ観測し、ボールの時々刻々の空間位置の精密計測を行うシステムの開発を目的とした。自然シーン中からボールを構成する画素の連続性に基づいてボール中心点を決定する方法、ボールの次フレーム位置予測によるボール像探索領域の限定を行うアルゴリズムを開発した。この結果、カーブやシュート、フォークなどの変化球をリアルタイムに追跡し、詳細かつ正確な飛跡の客観的計測データを得ることができるとのシステムを構築し、実験によって動作の確認を得た。

### Pitched Baseball Extraction in Natural Color TV Scene and Its Trajectory Pursuit

YUICHI MURAI,† KAZUMASA BANSHO,† KAZUYA YAMAMOTO†  
and KEN-ICHI NODA†

Pursuing algorithm of linear monitor area prediction and a color grade stressed integration for a pitched baseball image is newly invented to realtime measurement of its trajectory. After the ball image of video screen on each TV monitor of stereo cameras is enhanced by cancelling background scene image in specified limited area, the true ball image is searched on the screen and their coordinates are located. In searching process, searching area on the TV screen is limited within small area of the TV screen, by using the linear monitor area prediction algorithm. Ball arriving point forecast algorithm on batter plane are experimentally demonstrated by using parabolic equation approximation, and forecast accuracy less than a few millimeters is estimated.

#### 1. はじめに

移動物体を発見し、動作や位置の時間的変化を求めするために、TVカメラにより連続して撮られた画像を高速に解析する技術が取りあげられるようになった。ピンポンボールの飛跡観測や、ロボットラケットによる打球の可能性も示された<sup>1)</sup>。また移動物体の即時観測や、移動する映像中の特定像を特注の専用プロセッサによって検出する研究なども行われている<sup>2)</sup>。

移動物体の映像情報処理技術の応用分野のひとつに飛行するボールの追跡および捕打球の問題がある。野球のピッチャーが投げるボールの映像を2台のTVカメラで観測し、ボールの時々刻々の空間位置の精密計測、ボールのバッター平面到達位置の予測、ロボット捕打球等の高度処理をさせるものである。ストライクやボールの機械判定、球種の判断、投手の能力の評価および訓練にきわめて有効であると考えられる<sup>3),4)</sup>。

観測対象となる野球ボールは投球の際に投手が回転

を与えたり、故意に回転を止めることによって縫い目を持つボール表面と空気との摩擦による飛跡の変化が起こり打者を苦しめる<sup>5)</sup>。本論文ではステレオビジョンを利用して、微妙に方向を変化させながら飛行するボールの詳細な飛跡の観測をリアルタイムで、しかも汎用コンピュータ(富士通FM-TOWNS486DX2-40MHz, 横320×縦240ピクセル)によって行うことを目的とした。さらにグラウンドの背景等の環境変化に対してロバストなシステムを構築しなければならないと考え、高速で計測精度の高い移動物体追跡アルゴリズムを新たに考案した。自然シーン中のボール像候補画素の連続性に基づく中心点決定方法とボール次フィールド座標予測を用いてボール探索領域の限定を行うアルゴリズムを考案し、飛行ボールの空間位置観測システムを構築し実験ではほぼ目的を達成したことを確認した。

#### 2. システムの構成とボール像抽出アルゴリズム

本システムは図1に示すように、ホームベースの後方10mの位置から垂直に左右4m離れた位置に対

† 拓殖大学大学院工学研究科  
Doctoral Course of Engineering, Graduate School  
Takushoku University

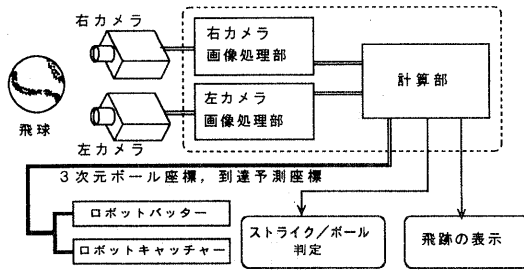


図1 システム構成図

Fig. 1 System configuration.

し高さ 1.6 m でステレオ配置されたカメラ, 画像処理部, 計算部, ロボットキャッチャー (現在は未実装), ロボットバッター (現在は未実装) から構成される。なお, 左右とは キャッチャーからピッチャーを見ての左右であると規定しておく。

左右のカメラで撮影された画像信号をデジタル化し, 各画像処理部に入力する。ここでは色距離に基づいたボール像の抽出を行う。次にボール中心点座標を決定し, 計算部に対しボール中心点座標データを送る。計算部側では各画像処理部から送られたボール中心点座標より三次元空間におけるボール座標の算出を行う。

本研究では認識する対象物をボールと限定しているため, 以下に示す点で有利である。

- (1) ボールはピッチャーの手から放出されるため, ボール像の探索開始点をピッチャー近傍のみに限定できる。
- (2) 野球ボールのモニタ上での飛行方向は, 右カメラでは右から左, 左カメラでは左から右と決まっている。
- (3) ボールは基本的に重力および空気との摩擦以外の影響を受けないため滑らかな飛跡で飛行する。
- (4) ボールのモニタ上での大きさは最低 4 ピクセル, 最大でも 20 ピクセルと限られた範囲内にある。
- (5) ボールを構成する画素は撮影条件によって多少変化するが基本的に単一色で構成されている。

したがって問題は, これらの条件を利用して, 画像中から高速にボール像を発見し, より正確なボール中心点座標を得ることにかかってくる。

ボール像抽出アルゴリズムは背景除去が有効である。しかし背景除去を行わずに自然シーン中から直接ボール像を抽出することができれば, システム全体の高速化が図れる。よって可能な限り自然シーン中から直接ボール像の抽出を行うためのアルゴリズムの精度を高め, 同時に限定した領域内での背景除去を併用することによってシステムの高速化および高精度化を図った。

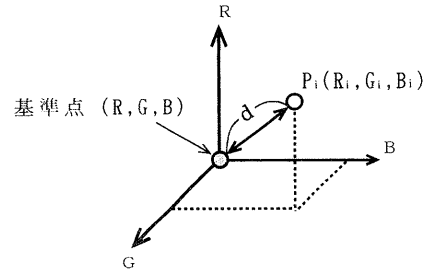


図2 色距離の概念

Fig. 2 Concept of color distance.

自然シーン中または背景除去画像中からボール像の抽出を行う場合, 画像中よりボール像を構成している可能性があるピクセルを探し出し, そのピクセルが実際にボール像を構成しているかの判定を行う。ボール像を構成している可能性を持つピクセルの判定は図2に示すようにあらかじめ予備実験で取得したボール基本色と呼ぶボール像の平均的な RGB の色情報と, 検索対象となるピクセルとの色距離の大きさを判断することによって決定する。色距離とは基本色を原点とし検索対象となるピクセルの RGB それぞれの成分を三次元空間に対して投影したものであり, このピクセルの原点からの距離を色距離と呼び, 原点からの距離が短いものをボール像と判断する。距離の閾値  $d_{th}$  の設定は多数の実験値から経験的に求めた。RGB それぞれ 32 階調の画像で  $d_{th} = 8$  と設定することで広範囲な環境で良好な結果が得られている。さらに精度の向上を計るため, ボール像の判断を行う際に基準となる 1 点のみではなく, 左右や上下など, 探索点近傍のパターンも含めて比較を行っている。さらにボール像の誤認識を防ぐため, ボール像の候補となったピクセルに対し背景像との比較を行い RGB の各成分が異なっているかを調べる。

### 3. 自然シーン中の画素連続性に基づくボール中心点決定アルゴリズム

画像信号としては認識の精度と汎用性を上げるために単なる濃淡信号ではなく RGB 信号を用いた。画像処理部のビデオメモリの構成上, ラスタ走査が最も効率が良い。次の 2 種類のボール探索アルゴリズムを開発した。ともに良好な結果を得ている。

#### 3.1 ピクセルの平均分布に注目する方法

画像内におけるボール像は基本色に近い色情報を持ったピクセルの集合体である。この点に注目し探索領域内において, 基本色に近似したピクセルを検出し, その  $x, y$  それぞれの座標を加算する。次に得られた座

標の総和を検出したピクセルの総数で割ることによって、領域内における基本色に近いピクセルが出現した平均中心座標を得る。この方式では探索領域内に実際のボール位置と離れた地点にノイズ成分が存在している場合、取得されるボール座標位置の平均がノイズ側に引っ張られてしまい、計測精度の低下が起こるが、後述する探索領域限定アルゴリズムの併用によって、大幅に精度の改善が計れる。

### 3.2 ピクセルの連続性に注目する方法

背景除去後の画像中において探索領域内をラスタ走査し、ボール像の候補となるピクセルが最も連続しているラインをボールの横方向の直径と等しいと考える。またボール像において横幅が最も広いラインは縦方向の中心も通っている。したがって、このラインの中点をボールの中心とする。

## 4. 次フィールド座標予測による探索領域の限定

探索領域の限定を行うため図3に示すように、ピッチャーの手から投球されるボールを必ずとらえる待機領域をあらかじめ定めておき、ボールの放出を待つ。この領域内にボール像が検知されれば、中心点位置の計測を行う。計測された中心点を次の探索領域の中心点とし、以降この繰り返しとなる。

探索領域限定アルゴリズムにより処理速度の大幅な短縮と、領域の限定による誤認識率の低下が期待できる。さらに(1)の条件からボール中心点を次TVフィールドにおける探索領域の中心とすることで、右カメラでは領域の右半分、左カメラでは領域の左半分を省略することができ、処理時間を半減できる。しかし探索領域幅をボールが2フィールド間に移動する最大距離以下に設定するとボールを見失う問題がある。これを解決するために、二次元平面上でのボールの次フィールド存在位置予測処理を併用するアルゴリズムを考案し、シミュレーションと実験から探索領域をより小面積に限定できることがわかった。

また(3)の条件から飛行しているボールの連続した

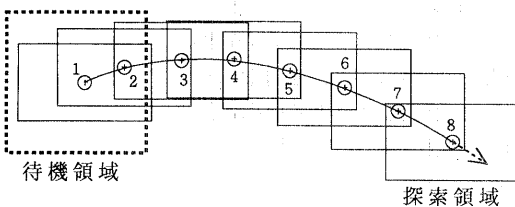


図3 探索領域の限定

Fig. 3 Algorithm of search area limitation.

3点 a, b, c について考えてみると、ベクトル ab とベクトル bc はほぼ等しいと考えられる。よって連続した2点 a, b が取得できれば、c 点の存在位置をある程度予測することができ、次フィールドにおける探索領域を予測点の近傍のみと、小面積に限定することが可能となる。

## 5. 投球撮影実験

実際のボールの投球映像を撮影し、ボールを追跡する実験を行った。ボール中心点を次の探索領域の中心とするアルゴリズムでは領域を40×20ピクセルまで限定できた。リアルタイム動作のためには1フィールド時間16.7msより短くなければならない。実験によって1フィールドにおける処理時間は2.68msであり条件を満たしている。また予測を利用したアルゴリズムでは領域を20×10まで限定でき、このときの1フィールド処理時間は1.26msであった。これらのデータは、処理速度の点でかなり余裕があることを示しているため、毎秒のフィールド数向上による高精度化にも十分応えられる。図4は左カメラ上で得られたグラウンドの情景に飛行するボール映像を多重録画した図である。図5は左右のカメラからリアルタイムに得られた連続したボール中心点座標の計測結果である。図6は図5に得られた左右のボール中心点座標から三角測量法の原理に基づいてリアルタイムに求めたボールの空間位置である。左右のカメラの配置状況により測定精度は変化するが、本システムでのx, y, zそれぞれ最小分解計測精度はピッチャー近傍で4, 8, 35mm, キャッチャー近傍で2, 4, 17mm程度である。ボールの幅が71mm, バットの幅が70mm程度であることから、飛球のリアルタイム精密計測を行えることが確



図4 ボール飛跡再構成図

Fig. 4 Reconstructed ball image.

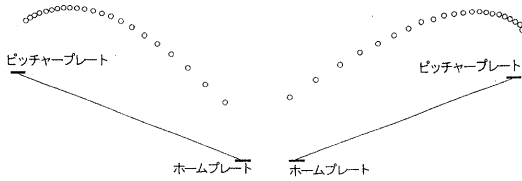


図5 左右のカメラで観測されたボールの軌跡  
Fig. 5 Ball images observed by stereo cameras.

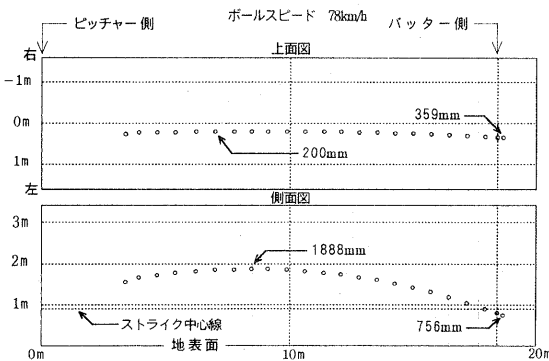


図6 計測されたボールの軌跡  
Fig. 6 Measured ball trajectory.

認された。

## 6. むすび

TVカメラから得られるボールの飛行映像から高速にボール像の抽出を行い、その中心点座標を得るためのボール抽出アルゴリズムおよびボール中心点決定アルゴリズムの開発を行い、ボール像のリアルタイム追跡を行った。また、投球実験で得られた連続したボールのステレオ映像から三次元空間座標を求めるアルゴリズムを開発し、実験によって動作の確認が得られた。

## 参考文献

- 1) 特別講演, 1992 IEEE/RSJ Int'l Conf. Intellig. Robot. & Sys., Raleigh (July, 1992).
- 2) 農宗, 芥川: 可変機能可変構造型パイプラインプロセッサをもつ高速画像処理装置, 電学論, Vol.112, No.2, pp.81-88 (1992).
- 3) Morozumi, T., Murai, Y., Masuda, S., Kato, T. and Noda, K.: Stereo-Vision Observation of Flying Ball Locus, IEEE/RSJ Int'l Conf. Intellig. Robot. & Sys., July, 1992, Raleigh, *IROS'92*, WP2-4, No.6 (1992).
- 4) 村井, 番匠, 山本, 野田: 野球ボールの追跡と到達点の予測, 情報学会コンピュータビジョン研究会, Vol.95, No.68, pp.1-8 (1995).

- 5) R.G. ワッツ, A.T. ベイヒル: ベースボールの科学, サイエンス社 (1993).

(平成7年8月28日受付)

(平成7年11月2日採録)

村井 祐一 (正会員)



昭和42年生。平成3年3月拓殖大学工学部情報工学科卒業。平成5年3月同大学大学院修士課程修了。現在、同大学大学院工学研究科博士課程後期在学中。動画像処理の研究

に従事。著書「はじめてのVZエディタ」株式会社秀和システムほか、日本ロボット学会会員。

番匠 一雅 (学生会員)



昭和45年生。平成5年拓殖大学工学部情報工学科卒業。平成7年同大学大学院工学研究科博士課程前期修了。現在、同大学大学院工学研究科博士課程後期在学中。物体

認識、物体の軌跡予測の研究に従事。著書(共著)「GATEWAY2000 スーパーファンブック」株式会社秀和システム。

山本 和弥 (学生会員)



昭和45年生。平成6年3月拓殖大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科博士課程前期電子情報工学専攻に在学中。動画像処理の研究、特に汎用パーソナル

コンピュータによる野球ボールの飛跡追跡に関する研究に従事。

野田 健一 (正会員)



昭和2年生。昭和23年3月東京大学第一工学部電気工学科卒業。同時に通信省電気試験所入所。日本電信電話公社武蔵野電気電気通信研究所においてマイクロ波回路・ミリ波

導波管製造技術・同伝送方式・無線伝送・光通信・光機能装置および方式等の研究を行い、後に所内の基礎研究の指導統括を行う。昭和56年に東京農工大学工学部電気工学科に移り、教育および光ファイバセンサ・光ファイバ特性計測等の研究に従事。平成元年に拓殖大学工学部情報工学科に移り、教育および動画像処理・コンピュータビジョン・人工知能等の研究に従事している。工学博士、電子情報通信学会、IEEE、都市情報学会各会員。