

ステレオ画像処理を用いたバレーボールの試合映像からのボール抽出に関する研究

生産システム工学専攻 下村 涼太

Research on Ball Position Extraction from Volleyball Game by Stereo Image Processing

Ryouta Shimomura

Advanced Course of Production System Engineering, Toba National College of Maritime Technology

Abstract

In recent years, it is the mainstream to research analysis of sports scene. Volleyball is a competition that needs high analysis systems. “Scouting System”, which is a system to analyze a game by using computer, is sold on the market. The Scouting System, which is sold now, is to input the data by manual operation. Therefore, it has a possibility to make mistakes and a problem that we need a trained person to input the data.

So, in this paper, I'll state about the methods for acquiring the three-dimensional position of the ball from the game images by using Image Processing. If I can acquire the three-dimensional position of the ball, I can analyze its orbit and can be used to analyze event of the volleyball. There are three steps to extract the ball as follows: (1) Background removal processing. (2) Ball position extraction by the template matching by using the hue histogram. (3) Distance estimated by the stereo matching.

In this experiment, I used each 300 still frames taken by WEB camera of the left and right.

As a result, I succeeded in the ball extraction almost 100%.

Keywords: Ball Position Extraction, Background Removal Processing, Hue Histogram, Template Matching, Stereo Matching

1. はじめに

近年、映像機器やコンピュータの性能向上を背景に、スポーツのプレイシーン解析を行う研究が活発化している。中でもバレーボールは他のスポーツとは異なり、試合中にデータ収集や相手チームの分析を行い監督等にアドバイスを送るアナリストの活動が認められている。以前までのデータ分析は手作業で行われてきたが、最近ではコンピュータを使用したスカウティングシステムと呼ばれるソフトウェアが利用されている。コンピュータを用いることにより瞬時にデータの解析を行うことができ、より高度な試合分析が可能となった。

現在販売されているスカウティングシステムの例として、(有)バレーボール・アンリミテッドによる“DataVolley”[1]が挙げられる。DataVolleyは、ナショナルチームをはじめ、多くのトップレベルのチームが使用している。このソフトウェアはデータ入力をキーボードで行い、試合を見ながら選手のプレーや位置に応じた記号を入力する必要があり、初心者が利用するためには訓練が必要となる。また、非常に高価な製品であるため、中高生などの一般的なチームが利用することも難しい。

そのほかにも“TouchVolley”[2]や(株)ミカサより販売されている“VSCT”[3]などがある。これらは低コストで直感的な操

作を特徴としており、初心者でも扱いやすいが、DataVolleyと同様にデータ入力を手動で行っている。そのため、入力者の主観による誤入力や操作ミスが発生する可能性がある。

そこで私は、撮影された試合映像から自動でイベントデータを生成できないかと考えた。ボールの位置情報が自動的に認識できれば、イベント入力の手間を省くことができる。例えば、ボールの軌道が変化した時などに、サーブなどのイベントが発生したと考えられる。つまり、試合画像からボールの3次元位置を取得できれば、ボールの軌道を推定することができる。

本稿では、スカウティングシステムにおけるイベントデータの自動取得を目的とし、画像処理によって試合画像からボールの3次元位置を取得する手法および軌道推定実験について述べる。

2. 試合映像におけるボール位置抽出の流れ

ボールの3次元位置取得までの流れを図2.1に示す。ボール位置の取得は大きく分けて3つの処理から成る。まず、左右のWebカメラで撮影された試合画像を読み込み、それぞれの画像に対して背景消去処理を行う。次に背景消去を行った画像に対して色相ヒストグラムを用いたテンプレートマッチ

ングを行い、画像内でのボール候補領域を抽出する。そして、抽出したボール候補領域を基に、試合画像からボール候補領域のみの画像を左右それぞれ作成し、ステレオマッチングを行うことによってカメラからボールまでの距離を取得する。

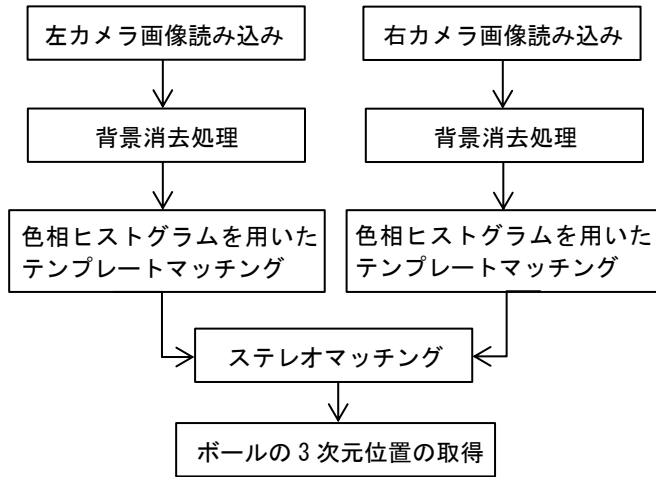


図 2.1 ボールの 3 次元位置を取得するまでの流れ

3. 実験画像

3.1. 撮影方法

今回の実験では、2 台の Web カメラを使用して練習試合の撮影を行った。使用した Web カメラは「Microsoft LifeCom Studio」[4]で、解像度は 1920×1080 である。

撮影方法は、2 台のカメラを図 3.1 のような三脚に取り付けたカメラ台に設置して練習試合を撮影し、左右それぞれのカメラで 1 秒当たり約 3 枚ずつ JPEG 画像として保存した。



図 3.1 2 台の Web カメラによるステレオ視

3.2. 実験画像の視差調整

ステレオマッチングを行うには、2 台のカメラで撮影された画像は平行でなければならない（第 6 章参照）。しかし、実際に 2 台のカメラを完全に平行とすることは困難である。そこで、撮影した試合画像に対して視差の調整を行う必要がある。視差の調整には「ステレオフォトメーカー」[5]というフリーソフトを使用した。図 3.2 に視差調整画像の例を示す。図 3.2 は左右の画像を重ねた画像であり、青は左画像、赤は右画像を表している。今回は左画像を下方向に 6 ピクセルず

らし、右方向に 1.2 度回転させ、右画像を上方向に 6 ピクセルずらし、右画像を左方向に 0.6 度回転させることによって視差の調整を行った（図 3.2 (b)）。以降の処理は全て視差調整後の画像を使用して行った。

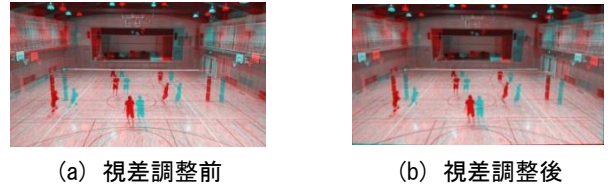


図 3.2 視差調整画像例

3.3. 正解領域入力

この実験では、ステレオマッチングによって抽出したボール候補領域と予め手動で入力しておいた正解領域を比較して評価を行う。正解領域は、実験画像 1 枚 1 枚を人間の目視によって、ボールと判断される場所を予め点情報として登録しておく。ボールの正解領域は CSV 形式のデータとして記録する（図 3.3）。記録される内容は、左からフレーム数、正解領域の x 座標、y 座標である。また、正解領域が存在しない（ボールが映っていない）フレームの x、y 座標にはそれぞれ -1 を記録している。

1	-1	-1
2	-1	-1
3	304	445
4	283	415
5	282	286

図 3.3 CSV ファイル例

4. 背景消去によるボール・選手領域の抽出

4.1. 背景消去を行うまでの流れ

背景消去を行う流れを図 4.1 に示す。まず、ボールや選手の映っている試合画像と、映っていない背景画像を読み込む。次に背景差分処理を行い、ボールと選手の領域を抽出する。背景差分のみでは、ボールや選手と背景を分離させることはできないので、さらに以下のような処理を行う。

まず、背景差分処理を行った画像に対して 2 値化処理を行う。そして、2 値化処理を行った画像と、試合画像との論理積処理を行うことによって背景を消去した画像を作成する。また、これらの画像処理は全てオープンソースのコンピュータビジョンライブラリである OpenCV[6]を用いて実装した。

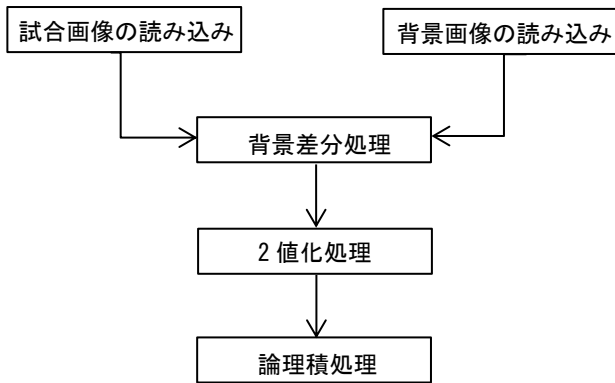


図 4.1 背景消去を行うまでの流れ

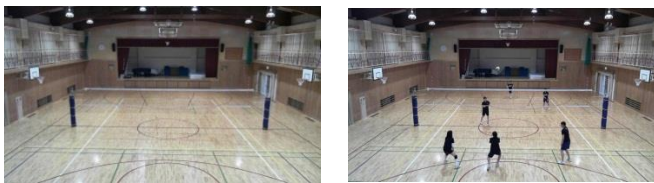
4.2. 背景差分処理

背景差分[7]とは、予め用意した背景のみの画像（背景画像）と背景に物体が映っている画像（試合画像）との各画素値の差の絶対値を計算することによって物体の領域のみを抽出する手法である。ここで、画像の位置 (x, y) における背景画像の画素値を $B(x, y)$ 、試合画像の画素値を $I(x, y)$ とし、差分画像の画素値 $Diff(x, y)$ を式 (4.1) に示す。

$$Diff(x, y) = |B(x, y) - I(x, y)| \dots (4.1)$$

これにより、背景画像と試合画像で画素値が等しい領域は 0（黒）となり、物体（選手やボール）が映っている領域の画素値は大きくなる。

背景差分を行った例を図 4.2 に示す。図 4.2 では、(a) と (b) の画素値が等しい背景領域の画素値が 0 となり、選手とボールの領域のみ（図 4.2 (c)）が抽出されたことが分かる。



(a) 背景画像

(b) 試合画像

(c) 差分画像

図 4.2 背景差分の例

4.3. 2値化処理

2値化処理[8]とは、画像をある閾値 Th ($0 \sim 255$) を境に白領域（画素値 255）と黒領域（画素値 0）に分ける処理である。注目する画素の濃度値と閾値を比較して、濃度値が閾値以上なら注目画素を白く、閾値未満なら注目画素を黒くする。2値化画像 I_{Binary} は式 (4.2) で表される。

$$I_{Binary} = \begin{cases} 255, I(i, j) \geq Th \\ 0, I(i, j) < Th \end{cases} \dots (4.2)$$

また、図 4.2 (c) の差分画像に 2 値化処理を行った画像を図 4.3 に示す。



図 4.3 2値化画像

4.4. 論理積処理

論理積処理[7]とは、2 枚の画像の同じ位置にある画素同士の論理積つまり AND を取ることである。これにより、2 値化処理を行った画像の白領域にのみ、試合画像の領域を出力することができる。画像の任意の位置 (x, y) における、試合画像の画素値を $I(x, y)$ 、2 値化画像の画素値を $I_{Binary}(x, y)$ とし、論理積処理 $I_{And}(x, y)$ を式 (4.3) に示す。

$$I_{And}(x, y) = I(x, y) \text{ And } I_{Binary}(x, y) \dots (4.3)$$

2 値化画像（図 4.3）と試合画像（図 4.2 (b)）との論理積処理を行った画像を図 4.4 に示す。



図 4.4 背景消去画像

5. 色相ヒストグラムを用いたテンプレートマッチングによるボール候補領域抽出

5.1. 画像内のボール抽出処理の流れ

第 4 章までに行った処理では、ボールの位置を特定することができない。そこで、抽出した領域の中からボールのみを抽出する方法を考える必要がある。

現在のバレーボールはカラーボールの使用が一般的である。そこで、カラー画像を用いた色相ヒストグラムによるテンプレートマッチング[9]を行う。この手法を利用する理由として通常のテンプレートマッチングは、テンプレート画像と一致している領域を見つけ出す画像処理手法である。しかし、バレーボールは試合中ほとんどの場合、ボールは回転しているため常に同じ向きを向いていることはなく、テンプレート画像と同じ領域を見つけ出すことは困難である。そこでボールの向きや領域の大きさに左右されない色相ヒストグラムを用いたテンプレートマッチングが有効であると考えた。

5.2. 色相ヒストグラムを用いたテンプレートマッチング

テンプレートマッチングとは、対象画像の中からあるパターンを見つけ出す手法の1つである。パターンを見つけるためにテンプレートと呼ばれる画像を用意し、その対象領域との類似度を計算して、類似度の高い場所を出力する。今回は、色相値ヒストグラム相関を用いたテンプレートマッチングを利用する。

各色相値に対して、画像中におけるその色相値を持った画素値を求めたものを色相ヒストグラムと呼ぶ。横軸に色相値、縦軸に画素数をとったグラフで表現される。ヒストグラムは、その画像がどのような画素値を持った画素から成り立っているのかの情報を集約したものであり、デジタル画像処理において、処理が安易でしかも有用な手段の1つになっている。予め10枚のテンプレート画像(図5.1)を用意し、それぞれの色相ヒストグラムを作成し、その平均値を取った色相ヒストグラム(図5.2(a))をテンプレート用の色相ヒストグラムとした。色相値は0~255の値を取り、図5.2(b)の色相スケールは色相ヒストグラムの横軸と対応している。バレーボールの色相は、主に黄色と青で構成されており、図5.2(a)では黄色と青の色相値が多く表れていることが分かる。

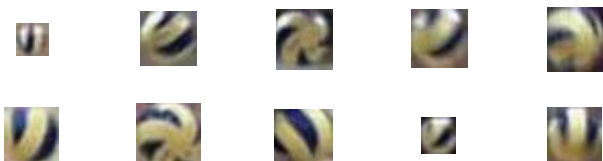
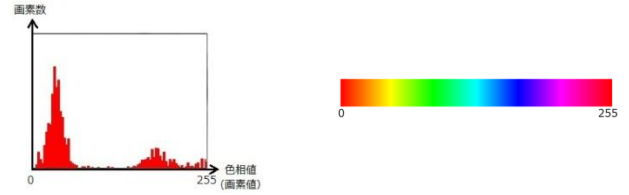


図 5.1 テンプレート画像



(a) 平均色相ヒストグラム (b) 色相スケール

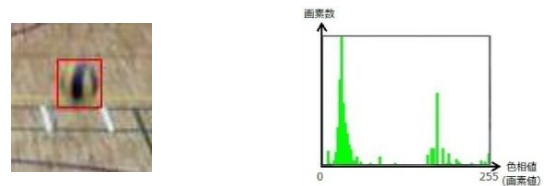
図 5.2 色相ヒストグラム

背景消去処理によって抽出された領域とテンプレート画像のヒストグラムの相関値は式(5.1)を用いて求める。式(5.1)で、 x_i は候補領域の画素値、 \bar{x} は候補領域の平均画素値、 y_i はテンプレート画像の画素値、 \bar{y} はテンプレート画像の平均画素値を示している。相関値は-1~1の値をとり、相関値が1に近づくほど相関が強くなる。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \dots (5.1)$$

5.3. テンプレートマッチングを行った例

テンプレートマッチングを行った例を図5.3に示す。図5.3(a)の赤い四角で囲った領域が抽出された領域であり、図5.3(b)が抽出された領域の色相ヒストグラムを表している。抽出領域の色相ヒストグラムを図5.2の平均色相ヒストグラムと比較してみると、抽出領域の色相ヒストグラムと類似していることが分かる。また、式(5.1)を用いて相関値を計算した結果、相関値が0.88であった。



(a) 抽出領域の例 (b) 色相ヒストグラム

図 5.3 テンプレートマッチングを行った例

6. ステレオマッチングによる距離計測

6.1. 3次元位置抽出を行うまでの流れ

第5章までに行った処理では、画像内のボール座標を取得することはできるが、ボールの奥行情報を取得することはできない。よって、3次元座標を取得するには、画像内のボールの奥行情報を取得する方法を考えなければならない。ポー

ルの奥行情報を取得するには、カメラとボールとの距離を求める必要がある。そこで、2台のカメラで試合を撮影し、ステレオマッチングを行うことによって画像間の視差を求め、その視差を距離に変換することでカメラとボールとの距離が求められると考えた。

6.2. ステレオマッチング

ステレオマッチング[10]とは、別々の位置から撮影された2枚の画像間で視差(ズレ)を計測することによって奥行を求める手法である。図 6.1 にステレオマッチングの概念図を示す。図 6.1 では四角い物体が手前、三角の物体が奥にあることを表しており、手前にある物体ほど視差が大きいということが分かる。

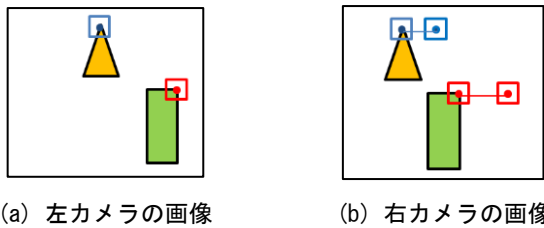


図 6.1 ステレオマッチングの概念図

視差は、左カメラで撮影された画像が、右カメラで撮影された画像のどの部分に対応しているかを面積関連の計算によって求める。入力画像において対応する部分を求める時に、その点の画素の比較だけでは結果が非常に不安定になってしまう。そこで、面積関連法では、注目する画素の周りの面(ウィンドウ)で比較し、その面中の点それぞれについて左右の画像中で差を取り、その合計が最も小さい部分を対応点とする。面積関連法の例を図 6.2 に示す。

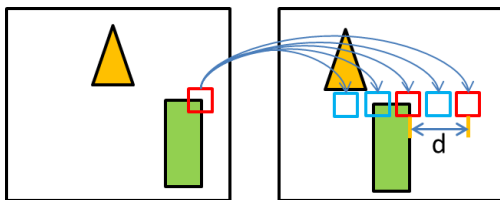


図 6.2 面積関連法の例

左右それぞれのカメラ画像における任意の位置の画素値を $I_{Left}(x, y)$, $I_{Right}(x, y)$ とする。面積関連の計算は、左のカメラ画像の画素 $I_{Left}(x, y)$ と、右の画像上でその画素から左

に $d[\text{pixel}]$ ずれた画素 $I_{Right}(x-d, y)$ を比較することによって行う。左画像の面積関連の式を式 (6.1) に示す。

$$\sum_{i=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} \sum_{j=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} |I_{Left}(x+i, y+j) - I_{Right}(x+i-d, y+j)| \dots (6.1)$$

ウィンドウの中の画素値が完全に一致していれば、最小値は 0 となる。ウィンドウサイズは、小さすぎると誤対応が多くなり、大きすぎるとエッジがぼけるなどの問題が発生する。本実験では、 $m=3$ (ウィンドウサイズ 3×3) で固定して行った。

ステレオマッチングによって求められた視差から実際の距離への変換は式 (6.2) によって求められる。ここで、 D は実際の距離、 z は視差、 B はカメラ間距離、 f は焦点距離を表している(図 6.3)。

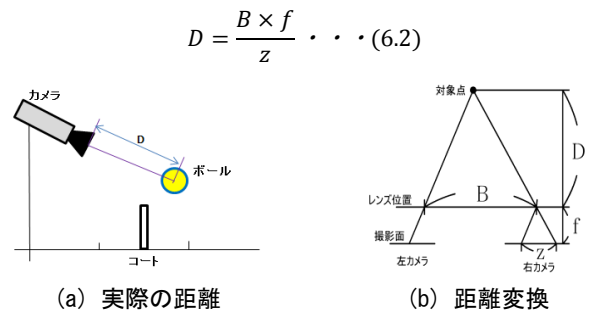


図 6.3 ステレオ視から距離への変換

6.3. ステレオマッチングによるボールまでの距離計測

カメラとボールとの距離を取得するためには、ボールの視差のみを抽出した視差画像を作成する必要がある。そこで、これまでの処理によって抽出された領域の座標を基に、左右それぞれで抽出されたボール候補領域のみの画像を作成し、その画像に対してステレオマッチングを行うことで、抽出領域の視差のみを出力することができる。ボール候補領域のみの画像作成の流れを図 6.4 に示す。まず背景画像内で、抽出されたボール候補領域の座標に対応した領域を白(画素値: 255)にする。そして、背景画像内の白領域とテンプレート画像との論理積処理を行うことによって背景とテンプレート画像のみの画像が生成される。ここで、論理積処理を行う際に、試合画像内のボール領域ではなくテンプレート画像を使用する理由としては、ボールのぶれなどが生じた場合でも視差の出力が安定すると考えられるからである。

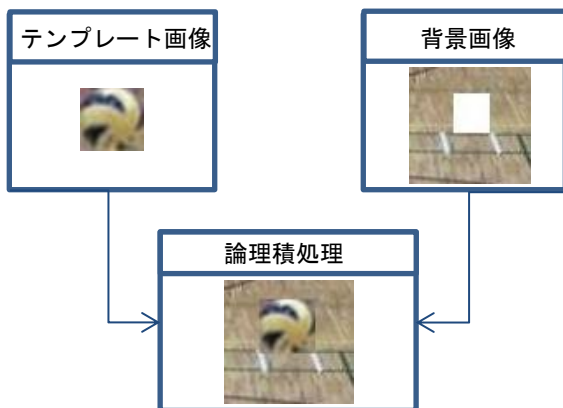


図 6.4 ポール候補領域のみの画像作成の流れ

なお、本実験では、左カメラの画像と右カメラの画像で共通の背景画像を利用している。もし左右それぞれのカメラで撮影された背景画像をそのまま使用するとコートの線などについても視差が生じてしまう。今回はボールの視差のみを出力できればよいので、このような方法を採用した。共通の背景画像には、左カメラで撮影された背景画像を使用した。

ボール候補領域のみの画像に対してステレオマッチングを施して作成した視差画像例を図 6.5 に示す。視差画像は、式 (6.1) によって求められた最小の値 (視差) を画素値として表現したものである。そして、出力された視差を式 (6.2) に代入することによってカメラとボールとの実際の距離を推定することが可能となる。その際、カメラの焦点距離 f を求める必要がある。焦点距離はカメラ固有の値であり、撮影した画像に 1000mm 先にある、100mm の物体が何 pixel で映っているかを調べることにより算出できる。 f は式 (6.3) により求まる (p [pixel] は 100mm の物体の画像内での大きさ)。

$$f = \frac{1000p}{100} \dots (6.3)$$

本実験で利用したカメラの焦点距離 f は 1480[mm/pixel] で、カメラ間距離は 200mm に設定して行った。以上の値と図 6.5 で出力された視差を式 (6.2) に代入すると、ボールまでの距離は約 10.2m であると推定することができた。

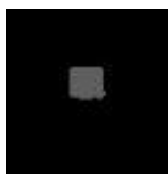


図 6.5 視差画像例

ところで、左右でそれぞれ別のボール候補領域が抽出されてしまった場合の例を図 6.6 に示す。右カメラの画像ではボール領域が抽出されているが、左カメラの画像では選手の領域が抽出されてしまっている。図 6.6 の画像に対してステレオマッチングを行っても視差は出力されない。よって、テンプレートマッチングによって左右別々の領域が抽出されてしまった場合は、ステレオマッチングを行うことで省くことができる。



(a) 左カメラの画像

(b) 右カメラの画像

図 6.6 左右で別々の領域が抽出された例

7. 評価実験

7.1. 評価方法

正解領域 (実験に使用した画像の中でのボール領域) の数、ボール候補領域 (テンプレートマッチングまたはステレオマッチングによって抽出された領域) の数、および抽出成功領域 (正解領域とボール候補領域を比較して成功と判断される領域) の数から、適合率、再現率を求めることによって評価を行う。適合率、再現率は式 (7.1)、式 (7.2) によって求められるが、それぞれの数は、すべての実験画像における総数を利用する。

$$\text{適合率} = \frac{\text{抽出成功領域の総数}}{\text{ボール候補領域の総数}} \dots (7.1)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{抽出成功領域の総数}}{\text{正解領域の総数}} \dots (7.2)$$

適合率は抽出されたボール候補領域の中で成功の占める割合を表し、抽出されたボール候補領域がどれだけ正確であったかを知ることができる。100% に近づくほど正確に抽出できていることを示し、正確性の指標である。一方、再現率は抽出成功領域の総数を正解領域の総数で割ったものであり、どれだけのボール領域を抽出することができたかを示す。100% に近づくほど多くのボール領域を抽出できたことを示し、網羅性の指標である。

7.2. 実験結果

今回の実験では、左右それぞれでテンプレートマッチングを行い抽出された領域の相関値が最大の領域のうち、指定した閾値以上の相関値の領域をボール候補領域1とした。また、テンプレートマッチングによって抽出された領域に対して、ステレオマッチングを行い得られた視差領域をボール候補領域2とした。今回、相関値が0.7以上(実験1)と0.8以上(実験2)のときの、テンプレートマッチングおよびステレオマッチングによるボール抽出実験を行った。実験結果を表7.1, 7.2に示す。

表 7.1 実験 1

	テンプレートマッチング		ステレオ マッチング
	左カメラ	右カメラ	
実験画像	300		
相関値閾値	0.7		
正解画像	203	200	198
ボール候補領域	71	71	64
抽出成功領域	65	61	61
適合率 (%)	91.5	85.9	95.3
再現率 (%)	32.0	30.5	30.8

表 7.2 実験 2

	テンプレートマッチング		ステレオ マッチング
	左カメラ	右カメラ	
実験画像	300		
相関値閾値	0.8		
正解画像	203	200	198
ボール候補領域	29	29	27
抽出成功領域	29	28	27
適合率 (%)	100.0	96.6	100.0
再現率 (%)	14.3	14.0	13.6

表 7.1, 7.2 より、実験 1 の方が再現率は高くなるという結果が得られた。しかし、相関値閾値を低くするほど、選手領域などを誤抽出してしまう領域も多くなるため、適合率は低くなる。

一方、実験 2 の場合では、ステレオマッチングによって抽

出された視差領域で適合率 100%という結果が得られた。これは、得られた視差領域がすべてボールであることを表している。しかし、再現率は 13.6%と低い値になってしまっている。これは、正解領域 198 箇所に対して、27 箇所の抽出に成功し、残りの 171 箇所の領域を見逃していることを意味する。

以上の結果から、私は実験 1 の方が有効であると考えた。その理由として、ボールの 3 次元位置を抽出した後、イベントデータ解析のためにボールの軌道を推定する必要がある。軌道推定には放物線近似を用いるが、その際にボールの正確な位置情報を推定する必要がある。実験 2 では、抽出された領域がすべてボールであるという結果が得られたが、再現率が低いため、放物線近似を行った際の誤差が大きくなると考えられる。放物線近似を行う際には、すべてのボールを抽出する必要はないが、補間が可能であるボールの位置は必要である。よって、再現率が約 3 割という結果が得られ、適合率も実験 2 と比較してほとんど差が見られない実験 1 の方が有効であると考えた。

7.3. ボールの軌道推定実験

評価実験で得られた結果を基にボール軌道の描画を行い、実際にどの程度ボール軌道が再現できるかについての実験を行った。ボール軌道を描くためには、実空間上の 3 次元座標が必要である。今回は、実験 1 でステレオマッチングを行った際の抽出成功領域が含まれる試合画像 61 枚に対して、実空間上のボール座標を目視により設定した。実空間上の座標軸は、コート内の横方向を X、高さを Y、奥行を Z に設定し、 $X=9$, $Y=7$, $Z=18$ とした (図 7.1)。



図 7.1 実空間上の座標軸

実験画像 300 枚の中で、ラリー(サーブから点が入るまで)の数が 5、トスやレシーブなどによるボール軌道の数は 28 であった。表 7.3 に各ラリーにおけるボール軌道内での抽出成功領域数を示す。表 7.3 では右側の数がボール軌道内に含ま

れるボール領域数, 左側の数が抽出成功領域数を表している.
また, NULLは軌道がない箇所を表している.

表 7.3 ボール軌道内における抽出成功領域数

	ラリー1	ラリー2	ラリー3	ラリー4	ラリー5
軌道 1	6 / 7	2 / 4	0 / 3	2 / 4	3 / 4
軌道 2	1 / 6	0 / 5	NULL	0 / 4	2 / 5
軌道 3	2 / 4	1 / 6	NULL	4 / 6	2 / 5
軌道 4	3 / 5	0 / 2	NULL	0 / 5	0 / 2
軌道 5	1 / 3	5 / 5	NULL	2 / 4	2 / 2
軌道 6	1 / 4	2 / 4	NULL	2 / 4	NULL
軌道 7	1 / 6	0 / 3	NULL	2 / 4	NULL
軌道 8	2 / 4	NULL	NULL	NULL	NULL

軌道内に含まれるボール領域数に対して, 抽出成功領域数が多かった軌道と少なかった軌道の例を図 7.2 に示す. 軌道の描画には, 統計計算ソフト R[11]を使用した. 図 7.2 (a) はラリー1の軌道 1, (b) はラリー1の軌道 7を表している. 図 7.2 では, 薄い色の点が抽出された座標, 濃い色の点が抽出されなかった座標を表しており, (a) では抽出された座標同士を線で繋いでいる.

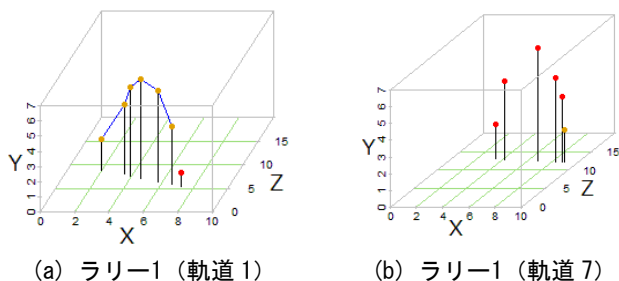


図 7.2 ボール軌道例

軌道推定実験の結果, 奥の領域 (相手チーム側) のボール座標はあまり抽出されていないことが分かった. しかし, 手前領域 (自チーム側) のボール座標はある程度抽出することができていたため, 自チーム側のボール軌道に関しては十分再現可能であると考えた.

8. おわりに

今回の研究では, 色相ヒストグラムを用いたテンプレートマッチングとステレオマッチングを組み合わせることでボール領域の抽出および実空間上での距離推定および軌道推定実験を行

った. 評価実験の結果, ボールの抽出率は適合率がほぼ 100%, 再現率が約 3 割という値を得ることができた. ボールの軌道は放物線近似により推定するため, すべてのボール領域を抽出する必要はないと考える. また, 軌道推定実験の結果から, 手前領域の軌道に関しては, 十分再現できると考えた. しかし, 奥の領域に関しては, ボールのぶれなどにより抽出できていない領域が多かった. よって, 精度を向上させるためにはハイスピードカメラなどを使用して試合を撮影する必要があると考えられる.

参考文献

- [1] (有) バレーボール・アンリミテッド: “DataVolly” <http://unlimited.volleyball.ne.jp/> (2013.01.31)
- [2] 梶原 修平: バレーボールのスカウティングシステム “TouchVolly”の開発, バレーボール研究, Vol9, pp25-30 (2007)
- [3] (株) ミカサ: “デジタルカタログ 2010” <http://www.mikasports.co.jp/catalog/fbook.html> (2013.01.31)
- [4] Microsoft LifeCom Studio http://www.microsoft.com/japan/hardware/lifecam/studio_special/ (2013.01.31)
- [5] ステレオフォトメーカー <http://stereo.jpn.org/jpn/stphmkr/index.html> (2013.01.31)
- [6] OpenCV.jp (<http://opencv.jp/>) (2013.01.31)
- [7] 江尻正員ほか, 『デジタル画像処理』, CG-ARTS 協会 (初版: 2004.7)
- [8] 田村秀行, 『コンピュータ画像処理』, オーム社 (初版: 2002.12)
- [9] 中井英介, 江崎修央: “バレーボールの試合映像からのボール領域抽出に関する研究”, 鳥羽商船高等専門学校特別研究論文, 2009 年度
- [10] ステレオマッチング http://www.image.esys.tsukuba.ac.jp/range_finder/stereo/index.html (2013.01.31)
- [11] R を用いての 3 次元の散布図の作成 <http://www.kkaneko.com/rinkou/r/rscatterplot3d.html> (2013.01.31)