

# サッカー試合ビデオにおける キーフレーム検出のためのサッカーボール認識

## Soccer Ball Recognition in Soccer Game Image Sequences for the Keyframe Detection

山田 拓郎† 姫路 秀孝‡ 山内 俊明† 関 靖夫†  
Takuro Yamada Hidetaka Himeji Tosiaki Yamanouchi Yasuo Seki

### 1. まえがき

本研究の目的は、サッカー試合のビデオからダイジェストを効率よく生成することである。そのためには、試合の中で重要と思われるキーフレームを自動抽出することが必要となる。さらに、当該フレームがキーフレームであるか否かは、フィールドに対するボールの位置・動きに依存している。そこで、本稿では各フレーム内のボール抽出を検討した。

ヒトがサッカー試合の静止画像中のボールを認識する際には、形状や色などのボール自体についての情報以外にも、選手の立ち位置・姿勢・向きや当該画像を撮像したカメラの向きなども考慮に入れていると考えられる。しかし、本研究ではビデオ映像のみからボール抽出を行うことを目的としているため、ボールの形状と色のみを用いた抽出を検討した。具体的には、(1) ボールがほぼ円形であることを生かして、エッジ検出及び円形ハフ変換によってボール候補を抽出し、(2) 事前に学習しておいたボール内の色分布情報に基づき、ボール候補群からボールとしてふさわしくないものを排除するというものである。特に(1)では、ボールの輪郭を構成するエッジの強度が、当該フレーム中の他のエッジと比較して必ずしも大きくないため、円形ハフ変換の投票に用いるエッジの強度の下限を小さくした。これによって増大する円形ハフ変換の計算コストを抑制し、かつ雑音の影響を抑制するために、ブロック分割及びエッジの方向を用いた効率的な投票を行った。また、このままでは円の密集という問題も発生するため、密集した円同士を融合させる手法も考案した。これらの処理手法と、実験結果について述べる。

### 2. 形状情報を用いたボール候補の抽出

サッカーボールの形状が円形であることを利用し、フレーム内の輪郭がほぼ円状になっている領域をボール候補として検出することにした。そのため、まずフレーム内のエッジを検出する。具体的には、ガウス平滑型微分処理を行い、各ピクセル毎にエッジの強度とその角度を算出した。これらのエッジの中で、強度の小さいものは雑音とみなし、強度の大きいものは検出されたエッジとして次の円形ハフ変換の処理対象とするのが一般的である。しかし、試合ビデオ中のサッカーボールは、付着した泥やフィールドの芝生や光線の影響など多くの理由で、輪郭を構成するエッジ強度が他のエッジと比べて十分大きいとは限らない。そのため、エッジの強度に対する閾値を小さくとり、円形ハフ変換の処理対象にボールの輪郭を構成するエッジが含まれるように配慮することにした。しかし、これは円形ハフ変

† 神奈川工科大学, Kanagawa Institute of Technology

‡ 東洋コンピュータシステム(株), TCS Corporation

換の計算コストを飛躍的に増大させるため、現実的ではない。計算コストの問題以外にも、半径のみがわずかに異なる同心円や、半径はほぼ同一で中心座標がわずかに異なるという非常に密集した円集団(以後、密集円)の出現が予想され、ボール位置の特定に対する大きな障害となる。そこで、次のような手法を用いて、計算コストを抑制した効率的なハフ空間への投票及び同心円や密集円の解消を行うことにした。

#### (1) ブロック分割によるエッジの選別

およそボールの半径程度の長さを1辺とする正方形ブロックにフレームを分割し、各ブロックの中心から最も近いエッジ2点を当該ブロックに属するエッジとして登録する。ここで、登録されたエッジのみが円形ハフ変換の処理対象となるのである。これには、輪郭線の形状的雑音に影響されない大局的形状を抽出する目的もある。また、正方形ブロックの1辺の長さの目安となっているボールの半径は、ボールの色情報の学習領域の大きさから決定する。具体的には、学習領域である矩形のより短い1辺の半分とする。詳細は次章で述べるが、ボールの色を学習するための領域は、ボールに内接する矩形とみなすことができるためである。

#### (2) エッジの方向を考慮した円形ハフ空間への投票

各ブロックに登録されたエッジは、隣接するブロックのエッジ同士が円を構成する可能性として以下の条件を満たす場合に、円形ハフ空間に投票される。その条件は、(a) 両エッジからその方向を利用して垂線を求め、交点が存在するか、(b) 交点から両エッジまでの距離の差がある範囲(予め定めておいた閾値)内にあるか、の2つである。

#### (3) 同心円や密集円の解消

同心円や密集円の解消は、(a) 円形ハフ空間の半径方向を捨象した空間の投票数を算出し、(b) 同空間に対して移動平均フィルタを適用し、(c) 投票数が極大値となっている座標を中心を持つ最大半径の円を元の円形ハフ空間から探索する、(d) 最後に、抽出された円相互の包含関係を調べて含まれる側の円を削除する、という手順で行うこととした。なお、円相互の包含関係は、一方の円の中心が他方の円に含まれるかどうかで判別し、この判別基準で互いに含まれると判別された場合には、半径の大きい方の円を残すことにした。

### 3. 色情報を用いたボール候補の絞込み

まず、サッカー試合によって使用されるボールの色が異なるため、処理対象となる試合ビデオの最初のフレームでボールの色情報の学習を行う。具体的には、当該フレーム中のボール領域内を矩形(以後、色学習領域)で指定し、矩形内のR,Gを明るさで正規化したヒストグラムを作成する。

そして、ヒストグラム中の各頻度を最大頻度に対するある割合(予め定めておいた閾値)で二値化(ある割合以上の頻度を「1」、そうでないものを「0」とする)した。

次に、前章で検出された各ボール候補円内の色と前述の色学習領域から学習された色情報の照合を行う。具体的には、各円候補内の色から明るさで正規化したR,Gを求め、二値化ヒストグラムの「1」に含まれる色の割合を算出する。この割合が予め定めておいた閾値を下回るものは、色情報の観点からボールとしてふさわしくないで排除する。

#### 4. 実験

今回サッカーボールの認識に使用した画像は、イングランド対アルゼンチン戦の試合中継の放送を録画したビデオから、連続する40フレームを計算機にキャプチャーしたものである。今回は基礎的な検討ということで、一人の選手がカメラに対してほぼ水平方向にボールをドリブルしており、フレーム間でボールの大きさがほとんど変化しないシーンを選んだ。これらの連続フレームに対して、表1に示す閾値やパラメータを用いてボールの検出を試みた。その結果、40枚中35枚のフレームでボールのみを認識することに成功した。残り5枚の内3枚においては、本来のボール位置は検出できたがそれ以外の場所にもボールを検出してしまい、最後の2枚では、本来のボール位置にボールを検出することができなかった。

図1及び図2に、ボールの認識に成功した例を示す。前者は検出した円のほぼ中央に実際のボールが位置し、後者は検出した円の円周の一部と実際のボールの円周の一部が接している。両者とも内部にボールを含む大き目の円としてボールが検出されているが、これは同心円や密集円を融合した影響と考えられる。一方、図3の失敗例では、ボール以外にも選手の肘の辺りにボールを示す円が検出されているが、色情報による絞り込みの精度を高めることにより改善できると思われる。

#### 5. むすび

サッカー試合のビデオからダイジェストを効率よく生成することを目的として、試合ビデオの各フレームからボールを認識する方法を検討した。

今回検討した手法は、ボールの形状情報を用いてボール候補を検出し、その後ボールの色情報を用いて候補の絞り込みを行うというものである。特に、ボールの輪郭を構成するエッジの強度が他のエッジと比べて必ずしも大きくないことから、強度が小さなエッジも円形ハフ変換の処理対象に含める必要が生じた。そのため、これにより増大する計算コストを抑制し、円形ハフ空間上に生じる同心円や密集円を解消する手法を考案した。

実際の試合ビデオから連続フレームをキャプチャーし、上記手法を適用してボールの認識を試みた。その結果、40枚中35枚(88%)のフレームでボールのみを認識することができた。今後、色情報によるボール候補の絞り込みの精度を向上させることにより、ボールの認識率を高めることができると思われる。

表1 使用した閾値・パラメータの一覧

閾値・パラメータの種類	値
色ヒストグラムの二値化の閾値	20[%]
エッジ強度に対する閾値	140
交点から両エッジまでの距離の差の絶対値を両距離の平均で割った値に対する閾値	0.19
移動平均フィルタの窓幅	3[ピクセル]
投票数の極大値を判定する際に調査する近傍ピクセルまでの距離	11[ピクセル]
円候補内の色情報照合時の閾値	20[%]



図1 ボール認識の成功例1



図2 ボール認識の成功例2

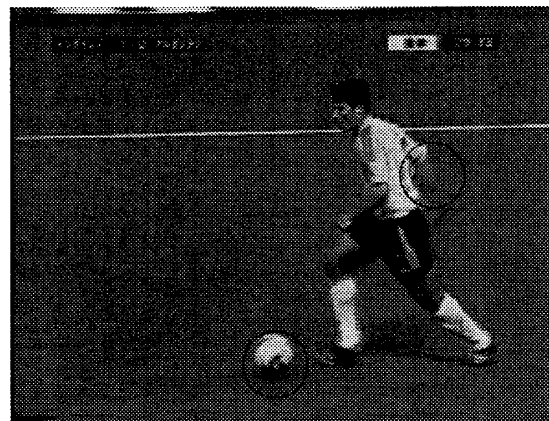


図3 ボール認識の失敗例