

サッカーゲームにおける選手とボールの追跡

大野 義典 三浦 純 白井 良明

大阪大学 大学院 電子制御機械工学科

あらし

ボールゲームでは、試合の解析や戦術を分析するためには選手とボールの動きを把握することが必要不可欠である。そこで本論文では、ビデオ画像より色情報を用いてサッカーゲームにおける選手とボールの追跡を行うシステムについて提案する。本システムは、選手のユニフォームのシャツとズボンの色の領域を抽出し、その領域に基づき姿勢変動や隠れに対応した選手の追跡を行う。見かけが小さく、高速運動を行うボールに対しては、色の情報と動きの情報を併用することにより追跡を行う。また、得られた結果よりそれぞれのフィールド上の3次元位置を推定する。実画像を用いての実験を行い、本システムの有効性を示す。

Tracking Players and a Ball in Soccer Games

Yoshinori Ohno, Jun Miura, Yoshiaki Shirai

Dept. of Mechanical Engineering for Computer-Controlled Machinery,
Osaka University

Abstract

In ball games, understanding the movement of players and a ball is essential to analyze matches and tactics. In this paper, we present a system to track soccer players and a ball by using color information from video images. Our system extracts regions of shirt and pants of each player. And then, it tracks soccer players coping with the variations of posture and occlusion on the basis of the regions. As for a ball which is small in appearance and moves with high speed, the system tracks a ball by using both color and motion. It estimates the positions of them on the field by using the result of the above. We tested our system on real image sequences and show the effectiveness of this system.

1 はじめに

近年、動画像中の動きの情報から移動物体の検出、追跡を行うシステムの研究が数多くなされている。不審者や侵入者を検知するセキュリティシステム、道路環境における交通監視システム、動画像データベースの検索、スポーツシーンの解析、などがその応用例としてあげられる。とりわけ、最近のスポーツ界においては、試合を解析し、対戦相手の戦術や傾向を分析した上で試合にのぞむといったデータ重視の傾向が強まっていることから、ますますこのようなシステムの必要性が高まっている。そこで、本論文ではサッカーを例にとり、そのシーン中の選手とボールの追跡を行うシステムについて提案する。

サッカーシーンをテレビ中継を通して理解しようとする研究 [1, 2] では、一般にテレビ中継は放送時間の割に視聴者の求める重要な場面は少ないことが多いとして、冗長な部分を取り除き、必要な情報を得て解析を行っている。これはシーン検索、ダイジェスト作成などのためには有効な手法と言える。しかし、その反面テレビ中継は撮影の対象がボールを持つ特定の選手に集中してしまうことから、選手全体の動きからチームワークの評価を行う [3] ことができない。そこで、本システムではそのどちらの用途にも適用できるよう、フィールド全体が覆われるような数台の固定カメラを用いて、斜め上の高い位置からシーンの撮影を行う。

また、複数選手の追跡を困難にする要因として隠蔽があげられるが、テンプレートマッチングを用いて追跡を行う手法 [4, 5] では、この問題を予測関数の適用や、重なり領域を定義するなどして対処している。しかし、相関を計算する特徴量が減少するため追跡の精度が落ちることは避けられない。したがって、選手が隠蔽する場合にも安定な追跡手法が求められる。団体競技においてプレーをする選手は通常、色を持つユニフォームを着用している。この色は、選手が重なる際にも乱れることはない。そこで、この特徴を利用し、本システムでは色情報を用いて選手の追跡を行う。

ゲームの中でボールの動きは非常に重要である。ボールの動きが分からなければ選手の動きが把握できてい

るとしても、その動きの意図や理由を判断することができず、不完全な解析にとどまってしまう。そこで、本システムでは選手と共にボールの追跡も行う。

本論文の構成は、まず、2章で追跡を行う前段階として、選手の初期位置の検出法について述べる。次に、3章では選手が重ならない場合の追跡、4章では重なりにより隠蔽される場合での追跡、5章ではボールの追跡、さらに6章ではそれぞれの追跡結果からそれらの3次元位置の推定法について述べる。

本システムを用いることにより、注目選手の強調表示、得点シーンなどの特定シーンの再現、あるいは戦術分析や作戦立案などの支援となることが期待される。

2 選手の発見

色情報を用いてユニフォームのシャツとズボンの領域を抽出し、その組合せによって選手の発見を行う。

2.1 色の領域抽出

人間は色を明るさ、彩度、色相の3つの属性により知覚する。そのため、入力画像のカラー信号 (R,G,B) をこれらの成分に変換することにより、人間にとって意味のある情報を得ることができる。そこで、これらを表す成分が線形演算によって比較的簡単に得ることができる YIQ 信号を用いる。この信号の3成分を3軸にした色空間を考え、選手のユニフォーム領域の色分布特性を統計的に調べる。例として図1に紺色と白色のユニフォームの統計データを示す。

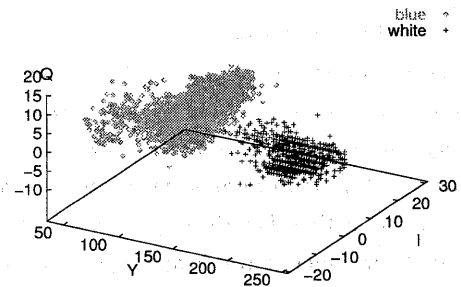


図1: 紺色および白色の分布

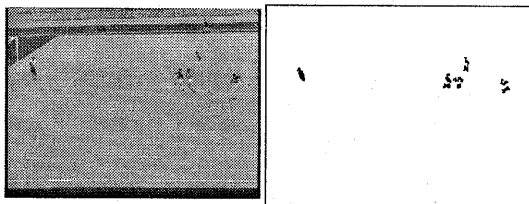
得られたこの分布を取り囲むような直方体を考え、この直方体の内部に存在する成分を領域として抽出する。これをすべての色に関して同様に行う。

2.2 選手領域の特定

2.1節で得られた領域にはユニフォームの色に似た領域がすべて含まれる。この候補領域の中から選手のものの特定する。選手は直立している状態ではシャツとズボンは垂直方向に並ぶ。そこで、シャツ領域の重心から一定距離 F 下にある点を中心に半径 G の範囲内にズボン領域の重心があれば、この領域の組を選手であるとみなす。つまり、式 (1) を満たす 2 色の領域の組を選手とする。

$$\{Xs_i - Xp_j\}^2 + \{Ys_i - F(Ys_i) - Yp_j\}^2 \leq \{G(Ys_i)\}^2 \quad (1)$$

但し、 (Xs_i, Ys_i) はシャツ領域 i の重心、 (Xp_j, Yp_j) はズボン領域 j の重心を表す。また画面の観測位置によって選手の見かけの大きさが異なることに対応するため、 F, G の値は Ys_i によって変化させる。画面の下側ほど F, G は大きな値をとり、上側ほど小さな値をとる。なお、選手の位置はシャツ領域の重心とする。図 2 に入力画像とその抽出結果を示す。



(a) 入力画像

(b) 選手抽出結果

図 2: 選手の発見

3 重なりのない選手の追跡

3.1 動画像としての解析

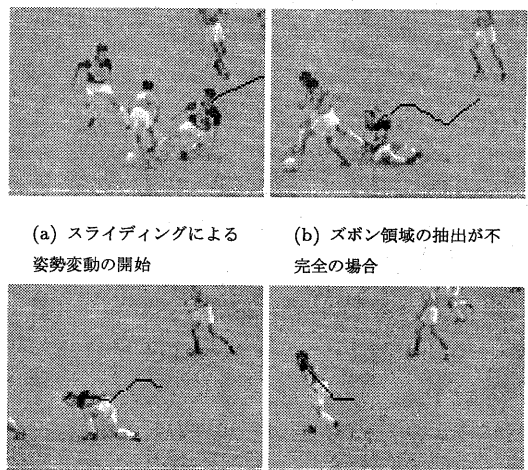
各フレームで 2 章のように、毎回画面の全体から選手の位置を検出しようとする、すべての領域の場合について調べる必要があり効率が悪い。そこで、運動の予測を行うことで、探索範囲を限定する。選手は連続するフレーム間のような微小時間内においては等速

で運動すると近似すれば、次フレームの選手の位置を予測できる。その予測された位置を中心に探索を行い、最も近くに存在する (1) 式をみたすようなシャツとズボンの領域の組を選手であるとする。これにより対応を誤る恐れもなくなる。また、新しい選手は画面の端からのみ登場するとして、その範囲を探索する。

3.2 領域が不完全な場合

安定した選手の追跡を行うためには、シャツとズボンの 2 色の領域が常に安定して抽出されることが必要となる。しかし、現実には画質の乱れやノイズの影響などにより十分な領域を得られない可能性もある。また、選手は通常直立していると仮定しているため、垂直方向にならぶ領域の組しか検出できない。そのため、選手が転倒するなどの姿勢変動を起こした際には 2 色の領域の組が検出できない場合もある。

選手は速度や進行方向は変化させるが、突然消えたり、全く別の場所から現れるということは考えられない。そこで、予測位置の近傍に別の選手が存在しない状況の下では、2 色の領域の組が完全に得られなくてもどちらか一方の領域を検出することで選手の位置を特定することができる。図 3 に姿勢変動の例として転倒した場合の追跡結果を示す。なお、画像中の線は領域を基にした選手の軌跡を表す。



(a) スライディングによる姿勢変動の開始

(b) ズボン領域の抽出が不完全の場合

(c) シャツとズボンが垂直方向に並ばない場合

(d) 姿勢変動の終了

図 3: 転倒した選手の追跡

4 重なりのある選手の追跡

4.1節では2人の選手が近接する場合を想定し、その2人が異なるチームの場合と同じチームの場合について、また、4.2節では3人の選手が近接する場合を想定して、異なるチームの選手を含む場合と含まない場合とに分けてそれぞれの追跡法を述べる。

4.1 2人の選手が重なる場合

4.1.1 異チーム選手間の隠蔽

重なる選手が異なるチームの場合、両者は色の違いにより選手を特定することができる。隠蔽される選手については領域が検出されないため、追跡不可能であるが、隠蔽する選手は領域が検出されるため、追跡を行う上で大きな支障はない。そこで、どちらかの選手の領域が観測されなくなった時点で隠蔽を検知し、隠蔽している選手の追跡を続け、隠蔽されている間は2人の選手が同じ位置に存在するとする。そして、隠している手前の選手の周辺を探索し、そこで新たに検出される領域を隠されていた選手であるとみなす。図4にその実験結果を示す。

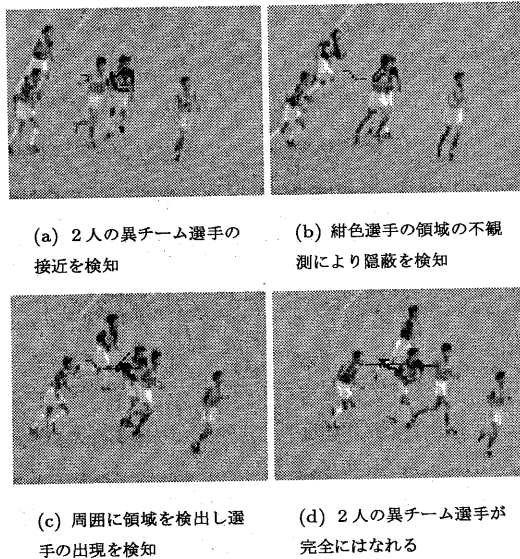


図 4: 異チーム選手が重なる場合の追跡

4.1.2 同チーム選手間の隠蔽

重なる選手が同じチームの場合、同じ色のユニフォームを身につけているため、色のみ注目すると両者は区別できない。そこで、2人の選手を特定するために、重なる以前の選手の画面上での位置関係を用いる。扱うシーンは斜め上の高い位置から撮影されているために、実際のフィールド上でカメラからみて手前に位置する選手は画面上では下に観測される。つまり、重なっている間は、画面上で下に位置していた選手が観測され、上に位置していた選手が隠蔽される。

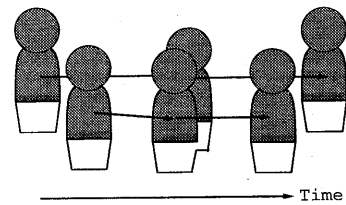


図 5: 同チーム選手が重なる場合

このことから、図5に表すように、2人の選手の領域が統合した時点で隠蔽を検知し、重なる以前に画面上で下に位置していた選手は重なっている間には手前にいるとみなし、再び離れた時には画面上で下に位置する領域を対応させる。図6にその実験結果を示す。

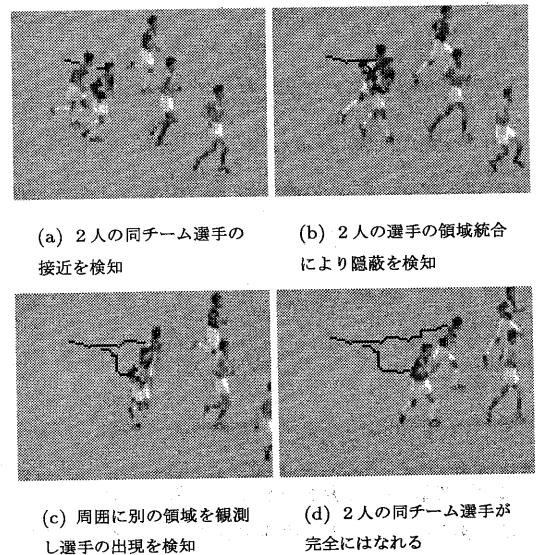


図 6: 同チーム選手が重なる場合の追跡

4.2 3人の選手が重なる場合

4.1節では選手が隠蔽された場合、隠蔽している選手の周辺を探索して、そこで新たに検出される領域をすべて隠れていた選手であると判断した。しかし、3人の選手が一定の範囲内に近づき近接している状況の下では単純にこのような判断はできない。例えば、ある時刻において図7の上を示すように画面上で異なる色の領域がならんで検出されたときに、同じ色の選手に関して、図7の下に示すような様々な場合が考えられる。検出された領域がどの選手のものであるかを2次元の静止画像を見る限りでは判断することはできない。そこで、本節ではこのような場合でも選手位置を特定する手法について述べる。

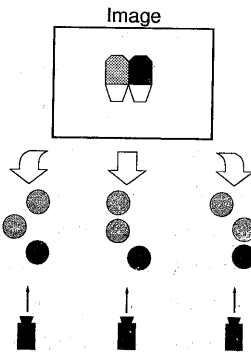


図7: 3選手の存在位置の可能性

4.2.1 異チーム選手が含まれる場合

運動中の選手は、その位置と速度から一定時間後に存在し得る範囲は限られる。したがって選手が以後も等速で運動を続けると仮定すれば、選手の存在する位置を予測することができる。そこで、選手の位置と速度を用いた推定を行う。速度は領域統合の際の重心位置の乱れを考慮し過去5フレームの間の平均を用いる。その平均速度と現在の位置を用いて次の位置を予測し、どの領域に近いかを判断する。具体的には、次の処理を行う。ここで、3人の選手を A_1 、 A_2 、 B_1 で表し、 A チーム、 B チームの領域をそれぞれ A 領域、 B 領域と呼ぶことにする。

近接する範囲内で A 領域、および B 領域を探索する。その結果、

1. B 領域のみの場合、 B_1 に B 領域を対応させる。 B_1 が手前に位置し、 A_1, A_2 のうち下に位置していた選手が B_1 のすぐ後ろに、他方がその後ろに隠されているとみなす。
2. A 領域2つの場合、予測位置に合うようにそれぞれの領域を A_1, A_2 に対応させる。 A_1, A_2 は離れているとみなし、 B_1 は予測位置に近い方の選手に隠されているとみなす。
3. A 領域1つの場合、 A_1, A_2 のうち下に位置していた選手に A 領域を対応させる。他方と B_1 のうち下に位置していた選手がそのすぐ後ろに、上に位置していた選手が一番奥にいるとする。
4. A 領域1つと B 領域1つの場合、 B 領域に B_1 を対応させる。 A_1 と A_2 の平均速度を用いてそれぞれの現在の位置を予測し、 A 領域に近い方に A 領域を対応させる。他方の選手は予測点が A 領域と B 領域の近い方に対応させる。なお、 A_1, A_2, B_1 の前後関係は4.1.2節と同じとする。

以上の処理を3人の選手が近接している間の各フレームにおいて繰り返す。この場合の実験結果を図8に示す。重なっている2人の中に1人が加わる場合でも追跡可能である。

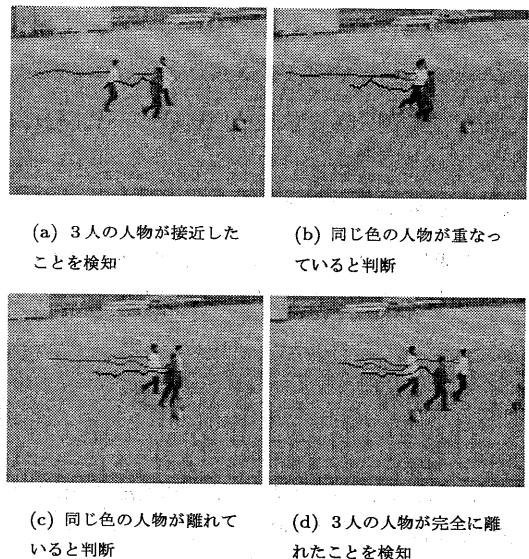


図8: 三人の選手が重なる場合の追跡

4.2.2 同チーム選手のみの場合

4.1.2節で述べた画面上での位置関係と、4.2.1節で述べた速度の関係を組み合わせることで、選手の特定を行う。3人の同チーム選手が近接する間、各フレームに対して次の処理を繰り返し行う。

近接する範囲内で領域を探索し、検出された領域が、

1. 1つの場合、3人の選手に同じ領域を対応させ、3人が重なっているとみなす。下に位置していた選手から順番に手前から奥に位置するとする。
2. 2つの場合、平均速度を用いて現在の位置を予測し、どちらの領域により近いかを推定して、それぞれの領域を1人と2人に対応させ、同じ領域に対応させた2人の選手のうち、下に位置していた選手が手前にいるとみなす。
3. 3つの場合、予測に合うように3つの領域をそれぞれの選手に対応させ、3人の選手は離れているとみなす。

5 ボールの追跡

ボールの追跡は基本的に、画像中からボール色の領域を抽出し、予測の最も近くに位置する領域を対応させることにより行うが、次のような理由のため困難である場合が多い。

1. 選手に保持されると隠蔽されることが多い。
2. みかけの大きさが小さい。
3. 高速に運動する。

5.1 選手のボール保持

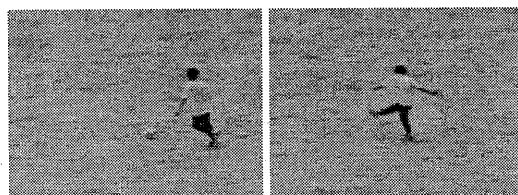
1の問題に対処するため、選手とボールが画面上で一定の範囲内に存在する場合には、選手がボールを保持しているとみなして追跡を一時中断し、その選手に、“ボールは保持されている”という情報のみを保存する。その後、選手の周辺に現れるボール色の領域を探索し、見つければ再び追跡を開始する。

しかし、画像からでは光軸方向の距離が分からないため、画面上で選手とボールが重なっているからといって必ずしも実際に選手がボールを保持しているとは限らない。そこでこれを判定するために、ボールの運動

の規則性を考慮し、重なる以前のボールの軌道を放物線または直線に近似する。選手周辺に新しく発見された領域がその軌道上にあればボールは画面上で重なっただけで実際には保持されていなかったと判断する。

5.2 動き領域の併用

図9の(a)に示すように、静止したボールは色からでも判別できるが、選手に蹴られることによって高速運動するボールは図9の(b)に示すように、前述の2,3の問題のため色のみの情報からでは判別するのが困難である。そこで、このような場合に動きの情報を用いる。フレーム間差分を用いて動き領域を抽出し、その中からボール領域の特定を行う。しかし、差分によって抽出される領域は、照明条件の変化やカメラのブレなどによっても生じるため、即座にボールの領域を特定することは難しい。そこで、ここでもボールの運動の規則性を踏まえると、ボールによって生じた動き領域も規則性がある。つまり、ボールの動き領域は選手から放射状に連続して検出される。よって、あらかじめ選手の動きによって生じる動き領域を除いた中で、選手周辺に存在する動き領域をボールの候補として保存し、選手を中心にその候補に向かって放射状に領域を探索し、連続して検出される動き領域群をボールであると判定する。



(a) 静止したボール

(b) 高速運動するボール

図9: ボールの観測

図10に、その追跡例を示す。画像中の○はボールの候補を表し、□は保存されているボールの重心を表す。選手周辺にボールの候補として数多くの動き領域が検出されているが、候補の先に引き続いて動き領域が検出された候補のみを残すことで候補が1つに絞られ、ボールを特定し追跡しているのが分かる。

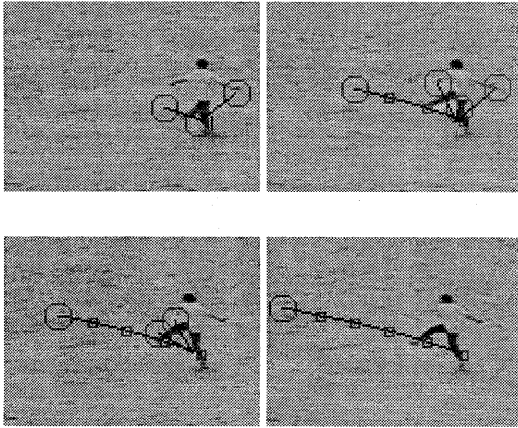


図 10: 高速運動するボールの追跡

6 3次元位置の推定

画像内の選手とボールの追跡結果から、それぞれのフィールド上での位置を推定する。

6.1 カメラのキャリブレーション

カメラモデルを理想的なピンホールカメラと仮定し、同次座標系を用いると画像平面に原点をもつカメラ座標系 $p_c = [x_c \ y_c \ 1]^t$ と世界座標系 $P = [X \ Y \ Z \ 1]^t$ は、以下の(2)式の関係が得られる。

$$\omega p_c = CP \quad (2)$$

ここで、 C は 3×4 の透視投影行列を表す。

世界座標系での点 (X_i, Y_i, Z_i) とそれに対応するカメラ座標系での点 (x_{ci}, y_{ci}) が1組分かれば、式(2)より2つの方程式が得られる。したがって行列 C の11個のパラメータを求めるためには最低6個の同一平面上にない基準点が必要となる。

基準点を得るために実際にフィールド上に人工的に目印を置くことは困難であり現実的ではない。そこで基準点としてラインの交点を選ぶ。これは、ラインの長さは規定により定められているため既知であるからである。しかし、用いる基準点は同一平面上にあってはならない。基準点としてゴールポストの交点なども考えられるが、それではシーンが限られてしまう。

そこで、3次元位置を求める選手はフィールド平面上を運動し、その高さは一定であると仮定する。すると(2)式はカメラ座標系 $p_c = [x_c \ y_c \ 1]^t$ と世界座標系 $P = [X \ Y \ 1]^t$ を用いて(3)式のように表すことができる。

$$\omega p_c = C' P' \quad (3)$$

ここで、 C' は 3×3 行列を表す。

パラメータ数は8個に減り、同一平面上の4個の基準点でキャリブレーションを行うことができる。

6.2 3次元位置の推定

6.2.1 選手の3次元位置

選手追跡において、選手の位置はシャツの領域の重心としていたが、これを3次元位置の推定に用いると選手が姿勢変動を起こすことにより高さが変化し、3次元位置は大きく乱れてしまう。そこで、安定した3次元位置の推定を行うために、高さの中で比較的安定な選手の足元の位置を求める。シャツ領域から選手の足元のおおよその位置はあらかじめ見当がつく。そこで、シャツ領域の下に足元を覆うようなウィンドウを生成する。そのウィンドウ内ではグラウンドを背景に足が映っていると考えられる。グラウンドは一様な色をしているため、そのウィンドウ内で2値化を行うことで足の領域が抽出され、その最下点を足元であると判断できる。また、選手が重なっている場合は足元が観測できないが、2人の選手はほぼ同じ位置にいると考え、前面に位置する選手のシャツの領域の重心と足元の差をそのまま隠れている選手にも適用する。

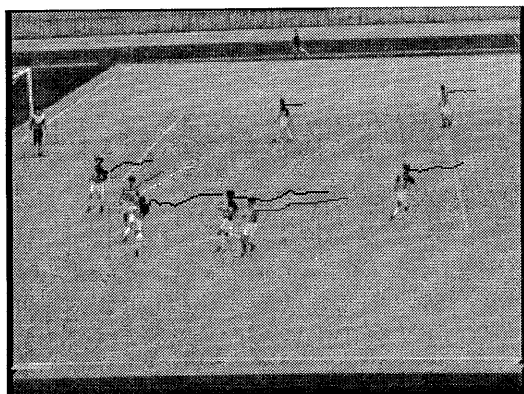
6.2.2 ボールの3次元位置

ボールは3次元空間上を運動するが、位置の推定はボールが地面に接している時、つまり、速度方向が下向きから上向きに変化した瞬間と選手が保持している間のみ行う。

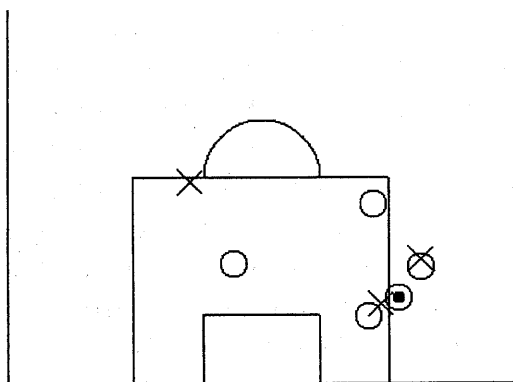
それ以外の時間では直接ボールの位置の推定を行うことはできないが、ボールは選手が触れなければ規則的に運動するというのを踏まえれば、観測された地点の間を等速に移動すると考えられる。

6.2.3 推定結果

実際の追跡結果から3次元位置を推定した結果を図11に示す。入力画像中の線は、選手およびボールの軌跡を表す。フィールド図ではチームの異なる選手を○と×で表し、●はボールを保持していることを示す。



(a) 入力画像



(b) フィールド図

図 11: 3次元位置推定

7 まとめ

本論文では、色情報を用いてサッカーゲームにおける選手とボールの追跡を行い、その結果からフィールド上での位置を推定するシステムについて述べた。本手法はユニフォームを着用していれば他の競技にも適用可能であり、有効なシステムであると考えられる。選手

追跡に関しては3人までの重なりしか想定していないが、位置と速度の関係を用いれば4人以上の場合にも拡張可能であると思われる。また、ボールの追跡に関しては、周囲に選手がいない状況を想定しているため追跡が可能であるが、実際のシーンではボール付近に選手が密集することが予想されるだけに、今後はそのような複雑な状況下でも追跡を行えるよう、さらに研究を進めていく方針である。

謝辞

本研究を進めるにあたって、研究資料となるサッカー映像を提供して頂いた中京大学の長谷川純一教授、瀧剛志様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 皆川信司, 川嶋稔夫, 青木由直. “スポーツ中継における動画解析 —サッカー中継のシーン理解—”, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU'92, 2, pp. 161-167, 1992.
- [2] 吉田貴男, 小沢慎治. “サッカー中継のシーン解析”, 第2回画像センシングシンポジウム, pp. 183-188, 1996.
- [3] T. Taki, J. Hasegawa and T. Fukumura. “Development of Motion Analysis System for Quantitative Evaluation of Teamwork in Soccer Games”, Proc. Int. Conf. on Image Processing, Lausanne, Switzerland, pp. 815-818, 1996.
- [4] 脇谷潤, 沢崎直之, 森田俊彦. “トラッキングビジョンによるスポーツ選手の追跡”, 日本ロボット学会学術講演会. pp. 995-996, 1997.
- [5] 松井健太郎, 平野一視, 田中敏光, 大西昇. “任意視点からサッカーシーンを復元する仮想カメラシステム”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU97, 251-265, pp. 15-22, 1998.