

シーン検索システムのための長時間サッカー中継映像の解析

島脇 巧* 三浦 純* 白井 良明*

長時間のスポーツであるサッカーの試合において、テレビ中継映像のように次々ショットが切り替わる映像からゴールシーンなどのイベントを認識するためには、映像から特定のショットを切り出してその画像を解析する必要がある。本論文では、長時間映像の解析を可能にするため、色情報、ラインの見え方によりセンターカメラからのショットを切り出し、画像中の白線とグラウンド上の白線のモデルとの対応関係からカメラ姿勢（パン、チルト、ズーム）を推定する方法を述べる。また、処理の効率化をはかるため、選手の追跡等に必要な色情報を自動登録する方法を述べる。約10分の実画像による実験では約94%の割合でセンターカメラからのショットの切り出しに成功した。また、切り出されたフレームに対しては正しくカメラ姿勢が推定できた。

Analyzing Video Image Sequence for Scene Retrieval System in Soccer Game

Takumi Shimawaki*, Jun Miura*, and Yoshiaki Shirai*

This paper describes the analysis of broadcast soccer image sequences with frequent shot changes. To recognize interesting events such as goal scenes in such image sequences, it is necessary to extract specific shots (that is, shots taken from a specific camera) and analyze them. For this purpose, we develop a method of extracting a shot from the center camera and then estimating the initial camera parameters (pan, tilt, and zoom) from the correspondence between points in the image and the model of the soccer field. We also develop a method of extracting and registering the colors of the ground and uniforms using hue histograms. We succeeded in extracting 94% of the frames taken by the center camera from an about ten-minute real soccer image sequence, and in correctly estimating the cameras parameters for all of those frames.

1 はじめに

近年、我々が取り扱う映像情報量は著しく増加している。医療、教育、福祉、放送など多方面にわたる様々な分野において、映像情報はますます広く利用されると考えられる。

スポーツのテレビ中継と言ったものは、複数のカメラから撮影された映像が随時切り替わりながら放映され、映像中には、試合の中での面白い場面であったり勝敗に関わる決定的瞬間などといった視聴者が好むと思われるシーンと、ベンチの様子や選手の情報、観客の様子といったそれ以外のシーンを含む。中継映像は放送時間のわりに視聴者が求めるシーンが少ないため、映像中から視聴者は好みのシーンを検索したいと考えられる。

本研究ではシーン検索システムの構築を目的として、テレビでのサッカー中継の映像を取り上げて画像解析を行う。サッカーの試合は前後半合わせて90分からなる長時間のスポーツでありながら、多くの視聴者が見たいシーンは「ゴールシーン」、「惜しいシーン」等の得点に絡むシーンやゴール近くでの攻め合いに限られる。そのため、シーン検索の技術を適用するのに有効なスポーツであると言える。

サッカーに関する研究としては、選手やボールの動きの関係の変化から動作を分類し、一定のイベントを抽出する手法[1]、テンプレートマッチングを用いて選手を追跡する手法[2]、ライントラッキングに

よるカメラ姿勢を推定する手法[3]などがある。

また、われわれは次のような研究を行ってきた。大野ら[4]は、固定カメラ画像を用いて、複数人の選手の重なりに対応した選手の追跡、ボールの追跡を行う手法を提案した。Yamadaら[5]はさらに、テレビ中継画像において、白線を用いてカメラパラメータ（パン、チルト、ズーム）を推定し、選手とボールのグラウンド上での位置関係を知ることによりシーンを認識する手法を提案した。

しかしこのようなサッカーの研究に用いられる画像の多くは、テレビ中継映像中から解析に必要な部分があらかじめオペレータによって切り出されており、解析対象の映像の時間も最大数十秒と短い。またカメラ姿勢推定に必要なカメラ初期姿勢はオペレータにより推定値があらかじめ与えられていた。実際のテレビ中継映像はショットが次々に切り替わるため、解析を行うためには逐一オペレータが解析対象のショットを切り出し、カメラ初期姿勢を与えるという作業が必要になり、非常に時間がかかる。また選手の追跡等に必要な色情報はオペレータが手動で与えており、異なる試合では登録をしないため、作業の効率が悪い。

そこで本研究では、色ヒストグラムを用いてショットの切り替わりを認識し、解析対象のショットであるかどうかを画像中のグラウンド、選手、白線によって判別し、さらに画像中の白線の対応によってカメラ初期姿勢を推定することを行う。これによりオペレータの補助なしに長時間の中継映像の解析が可能となる。また、色情報の自動登録を行い、効率化を

*大阪大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

はかる。

以下、第2章で選手の追跡等に必要な色情報の自動登録を行う方法、第3章で中継映像から特定のカメラからのショットを切り出す方法、第4章でカメラ姿勢推定のためのカメラ初期姿勢推定方法、第5章で実画像による実験結果について述べる。

2 色情報の自動登録

2.1 色空間

色情報として登録する色の数は、グラウンドの色は芝の色の一色、選手のユニフォームの色は各チームでシャツとパンツの色が違うものを考えると最大で4色である。グラウンドの色は日照条件により日向と日陰が発生し、一色では表現できない場合があるが、今回はそのような場合を省き、グラウンドの色がほぼ一様な場合を考える。これらの色を自動で登録するためには、これらの色を構成する色成分が統計的に各色に対しては分散が小さく、かつ各色ごとでは分散が大きくなるような色空間を用いるのが好ましい。画像中で色を構成する三要素である赤(R)、緑(G)、青(B)からなるRGB色空間では、明るさが変化するとR,G,Bが同時に大きく変化してしまうことがあり、この色空間でグラウンドの色、選手のユニフォームの色を分類するのは困難である。そこで本研究ではHSV色空間を用いる。

2.2 グラウンドの色の登録

グラウンドと選手の映っている画像を用いてまずグラウンドの色を登録する。画像全体から色相のヒストグラムを作成し、そのピークを中心にクラスタを1つ検出してその色の範囲をグラウンドの色として登録する。

図1に色相のヒストグラムを示す。図1を見ると $H=70 \sim 100$ 付近にほとんどの画素の色が集中していることがわかる。よってこの範囲をグラウンドの色として登録する。

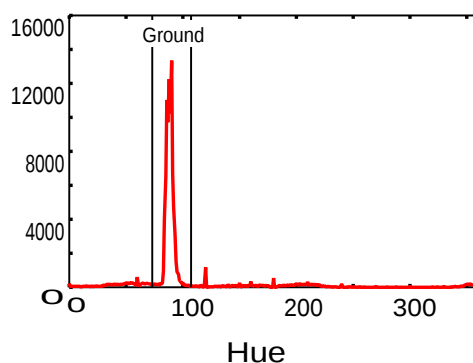


図1: 画像全体の色相のヒストグラム

2.3 選手のユニフォームの色の登録

選手の領域は画面全体にくらべると非常に小さく、さらにこの小さい領域のなかで各チームのシャツ色とパンツ色、合わせて最大で4種の色が存在する。このため安定して色を抽出し登録することが難しい。ここでは、どの色がどちらのチームのユニフォームに相当するかが問題となるので、選手領域をチーム分けし、色の領域の上下関係を用いることでこれに対処する。以下に手順を述べる。

- 2.2節で求めたグラウンドの色を用いて、画像全体からグラウンド領域を求める。
- グラウンド領域内で、グラウンド色でなく、白線でもない領域を選手領域として抽出する。ここで白線領域とは白い色で細長い領域のことを示す。
- 白色、黒色を彩度 S 、明度 V により定義しておき、各選手領域において白色または黒色が一定面積以上であるものを白色または黒色を含む選手とする。この選手領域が複数ある場合、白色または黒色のチームがあるとする。
- 白色または黒色によってそのほとんどの部分を占められる選手領域が一定数以上ある場合、白色または黒色一色のチームとして登録する。そうではない選手領域については以下の処理を行う。白色、黒色を除いた各選手領域で色相 H のヒストグラムを作成し、ヒストグラム間距離の近いものを同一チームとして、選手領域をチームわけする。白色または黒色一色のチームがある場合には、他のチームの選手に対応するヒストグラムをもつ選手領域の集合がひとつ得られ、それ以外の場合には、それぞれのチームに対応する2つの集合が得られる。
- チームごとに、全ステップで計算した選手領域ごとの H ヒストグラムを足し合わせ、チーム全体の H ヒストグラムを作成する。白色または黒色を含むチームの場合は、このヒストグラムからクラスタを1つ検出する。そして、白色または黒色と、検出した色を選手領域に投影して色領域の重心が上にあるものをシャツ色、下にあるものをパンツ色として登録する。それ以外の場合には、 H ヒストグラムからクラスタを検出し、1つの場合はシャツパンツ同色として登録する。2つの場合はもとの色を選手領域に投影して、色領域の重心が上にあるものをシャツ色、下にあるものをパンツ色として登録する。

ここで、ヒストグラム間距離には emd (earth mover's distance)[6]を用いている。単純に二つのヒストグラムの差を計算すると、同じようなヒストグラムでも距離が大きくなる場合がある。 emd は色の類似度を考慮して距離を計算するので、そのようなことがおこりにくい。

また、チーム間での色の範囲が重なった場合は範囲の大きい方をカットする。

図2に選手領域の抽出結果を、図3に各チームにおける色相のヒストグラムと色の切り出しの結果を示す。

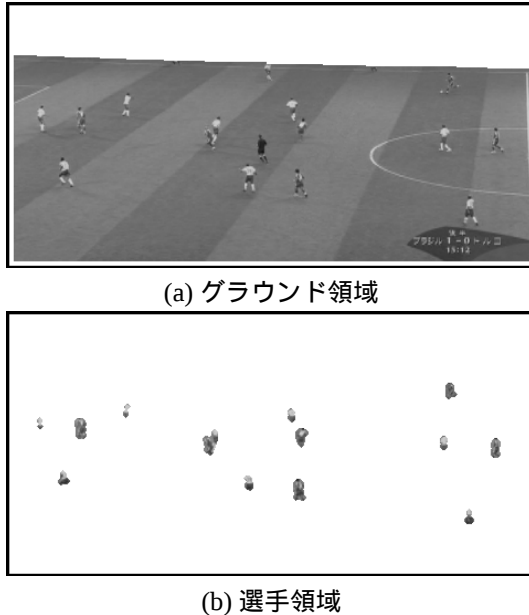


図2: 選手領域の抽出

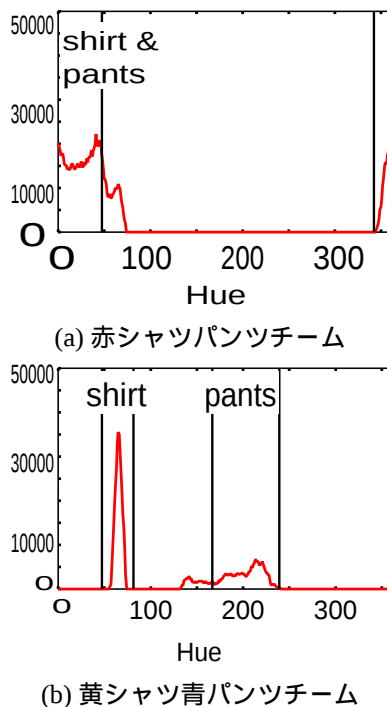


図3: 各チームにおける色相のヒストグラム

3 中継映像からの特定カメラ映像の切り出し

本研究ではグラウンド中央を高い位置から映しているカメラ（以降、センターカメラと呼ぶ）からのショットを取り上げ、中継映像からこのショットを切り出し、解析する。そこで、まずショットの切り替わりを認識し、次にそのショットがセンターカメラからのショットであるかどうかを検証する。

3.1 ショットの切り替わりの認識

本研究ではショットが切り替わったかどうかを認識するために、色ヒストグラムを用いる。ここで色ヒストグラムはR, G, B(各色256階調)を各色16階調に減色した、計48ピンから成っている。現在の画像と、1フレーム前の画像からそれぞれヒストグラムを作成し、対応するピンの値の差の絶対値の和を評価値Eとする。Eが閾値以上になったときにショットが切り替わったとする。図4に評価値Eのグラフを示す。この例では15回ショットが切り替わっているが全て認識できている。

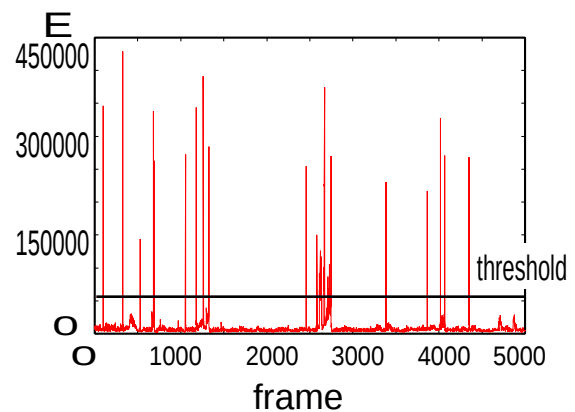


図4: 評価値Eの変化

3.2 センターカメラショットの認識

実際のテレビ中継映像におけるショットの例を図5に示す。ここでは画像全体に対するグラウンド領域と選手領域の割合、および画像中のラインの見え方からセンターカメラショットである条件を設定し、その条件を満たすかどうかを調べる。

以下に用いる条件を示す。

1. 画像の大半がグラウンドである
画像中からグラウンドの色を持つ領域のうちで最大面積の領域を抽出し、この面積が閾値（現在は40%）以上であればよいとする。図6において(b),(c),(d)が条件に当てはまる。

2. 画面中の選手は小さい

この条件は選手のアップのショットと区別するものである。グラウンド領域中で、グラウンド色でなく白線部分でもない領域のうち最大面積の領域を抽出し、面積が閾値（現在は 1%）以内であればよいとする。図 7 において (b),(c) が条件に当てはまる。

3. 画像から抽出される直線は水平線が二本以内、垂直線が一本以内である

この条件は図 5(c) のようなコーナーキック用の左右のカメラのショットと区別するものである。図 8 において (b) が条件に当てはまる。

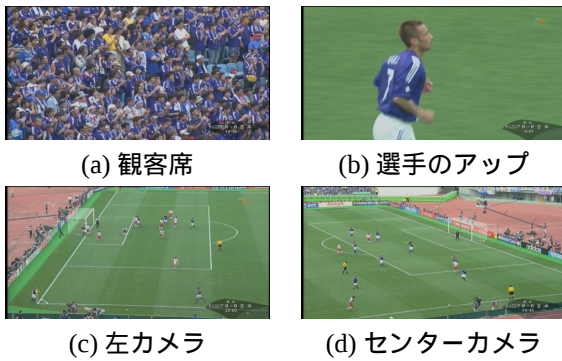


図 5: 原画像

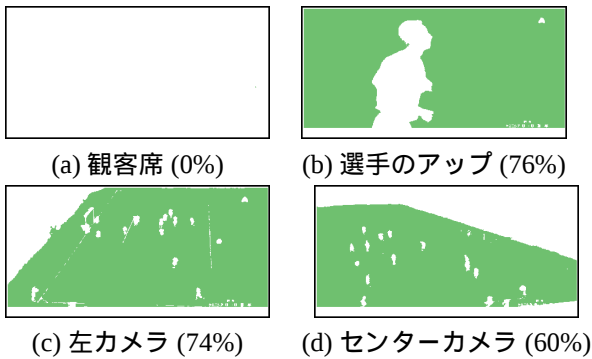


図 6: グラウンド領域 (括弧内は画像全体に対する割合を示す)

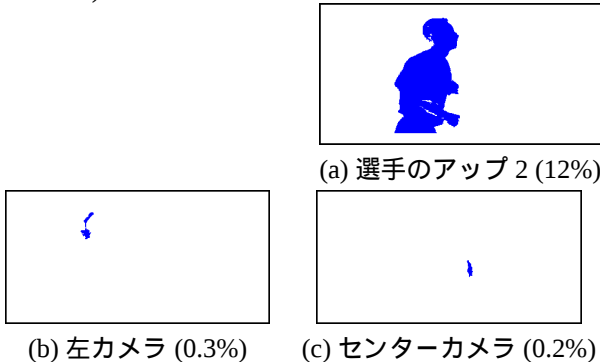


図 7: 選手領域 (括弧内は画像全体に対する割合を示す)

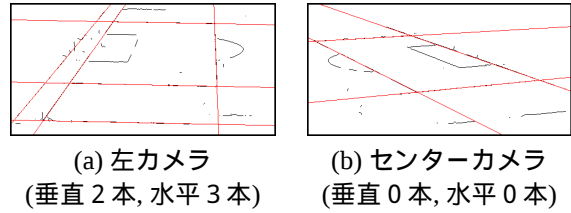


図 8: 直線抽出結果

4 カメラ姿勢の推定

本研究においてカメラ姿勢とはパン (α), チルト (β), ズーム (f) のカメラパラメータのことである。Yamada ら [5] は、前フレームのパラメータを初期値としてその周囲を探索することにより現フレームのパラメータを推定し、毎フレームパラメータ推定を行っていった。本研究で、ショットが切り替わった直後はこの手法に必要な初期パラメータが不定であるので、これを自動で決める必要がある。そこで、画像座標系における 2 点とそれに対応する世界座標系の 2 点の関係からカメラ初期姿勢を推定する。その後毎フレームカメラ姿勢を推定する。カメラ位置を推定する手法については参考文献 [5] を参照されたい。

4.1 画像座標系、カメラ座標系、世界座標系の関係

画像座標系 (x, y), カメラ座標系 (X_c, Y_c, Z_c), 世界座標系 (X, Y, Z) の各座標系の関係は図 9 のようである。

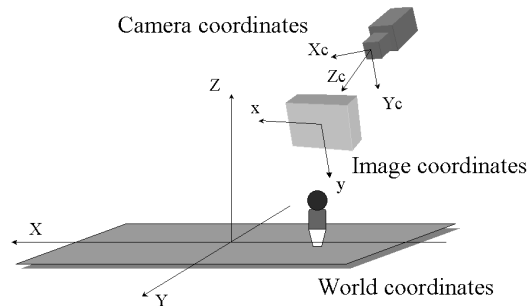


図 9: 各座標系の関係

カメラ座標系と画像座標系は相似の関係から，焦点距離 f を用いて式 (1) のように表される．

$$\begin{cases} X_c = Z_c \frac{x}{f} \\ Y_c = Z_c \frac{y}{f} \end{cases} \quad (1)$$

また，本研究で対象としているカメラにおいては光軸方向の回転はないとして，世界座標系からカメラ座標系への回転行列 R を以下の式によって表す．

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \sin \beta & -\cos \beta \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta & \sin \beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで α はパン角， β はチルト角を表す．この回転行列 R と，カメラ位置 (X_{cp}, Y_{cp}, Z_{cp}) を用いると，世界座標系からカメラ座標系の変換は式 (3) のように表すことができる．

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X - X_{cp} \\ Y - Y_{cp} \\ Z - Z_{cp} \end{bmatrix} \quad (3)$$

4.2 カメラ初期姿勢の推定

公式ルールによってラインの位置が決められているサッカーグラウンドをここではグラウンドモデル (図 10) と呼ぶことにする．ここでは，白線の交点のグラウンドモデルと画像座標の対応関係を用いることによりカメラ初期姿勢を推定する．以下に手順を示す．

1. 画像から白い直線を三本抽出する．
2. 1 で得られた各直線について，カメラの可動範囲と直線の傾きによって，グラウンドモデルで対応する直線の中から候補を絞る．さらに各候補直線の対応の組み合わせを考える．
3. 2 で求めた各組み合わせについて，画像座標系，世界座標系ともに，三直線から二交点を求め，対応点の各座標値の二乗誤差が最小となるパラメータを計算する．
4. 各組み合わせについて 3 で求めたパラメータを用いて画像中の白線領域をグラウンドモデルに投影し，最もよくマッチした組み合わせのパラメータをカメラの初期パラメータとする．

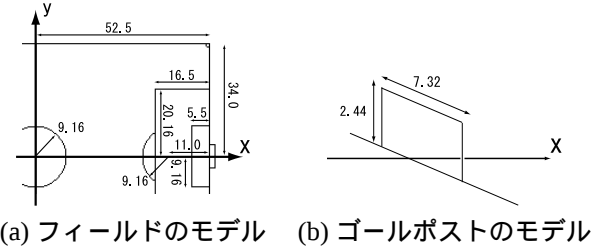


図 10: モデル

4.2.1 直線の対応候補の選択

カメラがグラウンド全体を映すには，ある程度パン (α)，チルト (β)，ズーム (f) の可動範囲が制約される．この可動範囲の中では，画像上での各直線の傾きがある範囲内に限定されるので，画像上の直線の傾きを用いてグラウンドモデル上における直線との対応関係を絞り込むことができる．表 2 にカメラパラメータの可動範囲とグラウンドモデル上の各直線 (図 11 参照) の画像上での傾きの範囲を示す． $X = 0$ の直線のみ直線の方程式が $x = ay + b$ で，それ以外の直線は $y = ax + b$ とする．

表 1: カメラ位置とパラメータの稼働範囲

カメラ位置	X_{cp}	=	1.89
	Y_{cp}	=	-80.01
	Z_{cp}	=	16.81
パラメータの範囲	-45	$\leq \alpha \leq$	45
	-25	$\leq \beta \leq$	-5
	700	$\leq f \leq$	4000

表 2: 画像座標系における直線の傾きの範囲

番号	直線	min	max
1	$X = -52.50$	-0.331	-0.213
2	$X = -47.00$	-0.369	-0.236
3	$X = -36.00$	-0.478	-0.299
4	$X = 0.00$	-0.491	0.192
5	$X = 36.00$	0.329	0.533
6	$X = 47.00$	0.254	0.400
7	$X = 52.50$	0.229	0.356
8	$Y = -34.00$	-0.254	0.254
9	$Y = -20.16$	-0.197	0.197
10	$Y = -9.16$	-0.168	0.168
11	$Y = 9.16$	-0.135	0.135
12	$Y = 20.16$	-0.121	0.121
13	$Y = 34.00$	-0.107	0.107

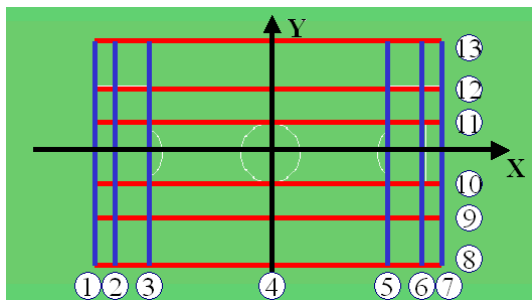


図 11: 直線の番号との対応関係

4.2.2 直線の交点の対応を用いたパラメータ推定

画像上における三直線から二交点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ が求まる．また，世界座標において対応する三直線からも二交点 $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ が求まり，パラメータ (α, β, f) を与えてやると式 (1), (3) より画像座標系 $(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2)$ に変換することができる．このときグラウンド上の点は高さ 0 であるから $Z_1 = Z_2 = 0$ とする．

式 (4) の F が最小となるパラメータ (α, β, f) を可動範囲内で全探索する．このとき，刻み幅は $\Delta\alpha = 0.1, \Delta\beta = 0.1, \Delta f = 50$ とする．

$$F(\alpha, \beta, f) = (x_1 - x'_1)^2 + (y_1 - y'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + (y_2 - y'_2)^2 \quad (4)$$

この計算を 4.2.1 項で求めた直線の組み合わせの数だけ行う．

4.2.3 世界座標系と画像座標系のラインの対応点によるパラメータの決定

各組み合わせについて求めたパラメータを用いて，画像中の白線領域を世界座標系に投影し，投影されたピクセルに一番近い世界座標系での座標との距離が 1 m 以内であれば対応点とする．投影された白線領域と世界座標系での対応点の組の例を図 12 に示す．各組み合わせについて対応点の数を求め，最も対応点の数の多いパラメータをカメラ初期姿勢とする．

4.2.4 直線が少ない場合の対処

グラウンド中央ではセンターライン，センターサークルしか見えず，必要な数だけ直線を抽出することができなくなりカメラ初期姿勢が推定できない(図 13 参照)．しかし，2 点について画像座標と世界座標の関係がわかればカメラ初期姿勢は計算できるので，センターラインとセンターサークルの交点を利用する．

- モデル
- 投影された白線
- 投影された点
- ○ の対応点

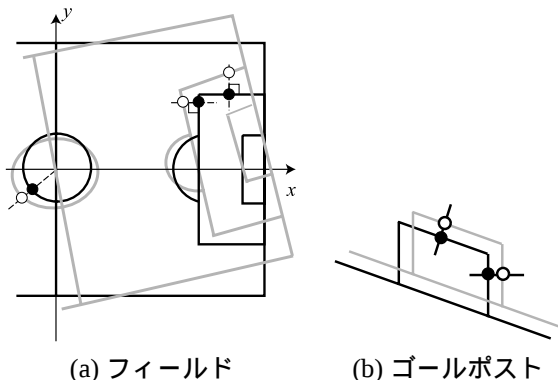


図 12: 対応点の組の例

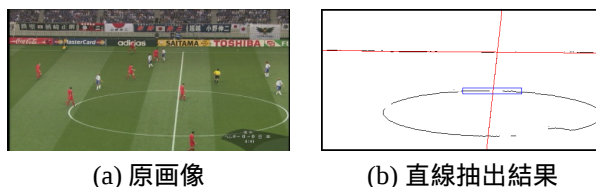


図 13: センターラインとセンターサークルの交点の利用

センターラインとセンターサークルの交点付近ではセンターサークルの弧の部分がほぼ水平に見える．このため，直線を抽出してその傾きからセンターラインがあるとわかった後，図 13(b) のように探索ウィンドウを設けてセンターライン上を動かしていき，ウィンドウ内にセンターライン以外の白線領域が最も多く含まれたときに交点付近のセンターサークルの弧の部分が見つかったとし，その点をセンターラインとセンターサークルの交点とする．

4.2.5 初期姿勢が推定できなかった場合の処理

白線領域が少ない場所など，直線が必要な数だけ抽出できなかったときは，そのフレームではカメラ初期姿勢が推定できない．このような場合は，このフレームではカメラ初期姿勢の推定を行わず，一定フレーム後に再びカメラ初期姿勢を推定することを行う．推定できなければ以降一定フレームごとに推定を行う．初期姿が推定できれば推定できなかったフレームまでさかのぼってカメラ姿勢を推定していく．

4.3 初期姿勢推定後のカメラ姿勢の推定

カメラ初期姿勢を推定した後，以降のフレームでは山登り法を用いてカメラパラメータを推定する(文献[5] 参照)．

ここで， k -th フレーム， $(k-1)$ -th フレームのカメラパラメータが計算されているとする． α_k, β_k, f_k はそれぞれ k -th フレームにおける pan 角，tilt 角，焦点距離を表す．以下に $(k+1)$ -th フレームにおける各パラメータ $\alpha_{k+1}, \beta_{k+1}, f_{k+1}$ を求めるアルゴリズムを述べる．

1. $i = 0, \Delta = 1.0, \alpha(0) = \alpha_k, \beta(0) = \beta_k, f(0) = f_k$ とする．ここで i は繰り返し数を表す．
2. 以下の式(5)より各パラメータの候補を計算する．

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}(l) &= \alpha(i) + l \frac{(\alpha_k - \alpha_{k-1})}{\Delta} \\ \hat{\beta}(m) &= \beta(i) + m \frac{(\beta_k - \beta_{k-1})}{\Delta} \\ \hat{f}(n) &= f(i) + n \frac{(f_k - f_{k-1})}{\Delta} \\ l &= l_{min}, \dots, l_{max} \\ m &= m_{min}, \dots, m_{max} \\ n &= n_{min}, \dots, n_{max}\end{aligned} \quad (5)$$

$i = 0$ のときは $l_{min} = m_{min} = n_{min} = -10$ ， $l_{max} = m_{max} = n_{max} = 10$ とする．

3. Step2 で求まった各パラメータ候補から 4.2.3 の方法で対応点の組の数 M を求め， M が最大となる $M_{max}(i)$ を求める．
そのときの各パラメータ候補を $\hat{\alpha}_{max}, \hat{\beta}_{max}, \hat{f}_{max}$ とし， i を 1 増やす．
4. $|M_{max}(i) - M_{max}(i-1)| < M_{threshold}$ を満たしたら，Step6 に進む．
5. $\alpha(i), \beta(i), f(i)$ を $\hat{\alpha}_{max}, \hat{\beta}_{max}, \hat{f}_{max}$ に置き換えて $l, m, n, = -1, \dots, 1, \Delta = 2^i$ として Step2 に戻る．
6. $\hat{\alpha}_{max}, \hat{\beta}_{max}, \hat{f}_{max}$ を $\alpha_{k+1}, \beta_{k+1}, f_{k+1}$ として決定する．

5 実験

実際の TV 中継映像を用いて実験を行った．実験条件を表 3 示す．

表 3: 実験条件

試合	2002 年 World Cup 日本 vs ベルギー
映像時間	約 10 分
フレームレート	30 frames/sec.
フレーム数	17270 枚
画像サイズ	480×240

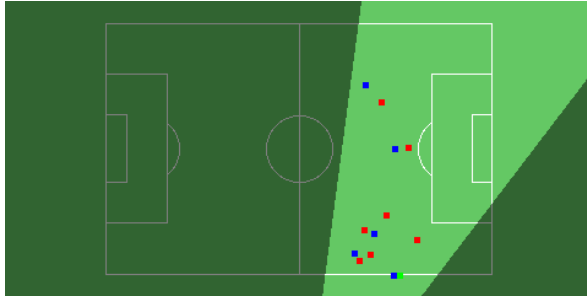
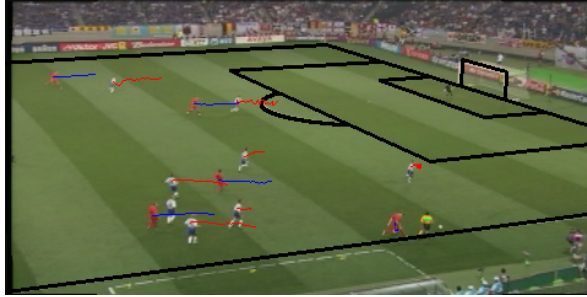
表 4 に実際のセンターカメラからのショットのフレーム数とそれ以外のショットのフレーム数，実験した結果センターカメラのショットと認識されたフレーム数とそれ以外のショットと認識されたフレーム数の関係を示す．全フレーム中 93.6% が正しく分類された．

表 4: 実験結果

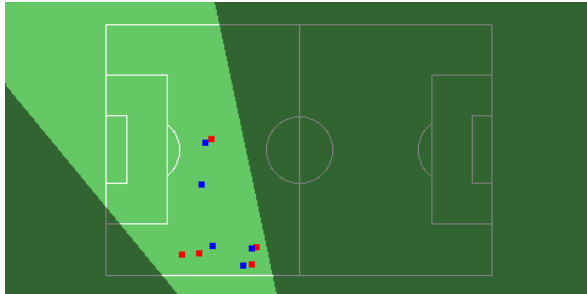
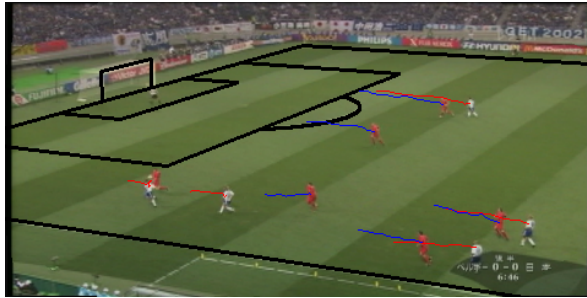
		実際のショット	
		センター	それ以外
結果	センター	7439(43.0%)	70(0.4%)
	それ以外	1030(6.0%)	8731(50.6%)

実際のセンターカメラからのショットが，実験の結果センターカメラ以外のショットであると認識された原因として，映像中のリプレイシーンの挿入によるものが挙げられる．リプレイシーンの前後では，画像がフェードイン，フェードアウトしていく形がとられ，二フレーム間の色ヒストグラムによりカットを検出する本手法においては明確なカット点が出ない．このため，リプレイシーンがセンターカメラ以外のショットと認識され，そのあとセンターカメラに戻ったあとでもそのままセンターカメラ以外のショットとして見なされてしまうという結果になった．しかし，このような状況を除けばセンターカメラのショットの認識はほぼできていると考えられる．

図 14 にカメラ姿勢推定及び選手追跡結果画像を示す．入力画像上の黒い線は推定したカメラパラメータを用いてグラウンドモデルの白線を投影したものであり，画像中の白線と投影した白線がほぼ一致していることからカメラ姿勢が正しく推定されていることがわかる．また，選手追跡結果の明るくなっている部分はカメラの視野でその中の点は推定した選手の位置である．



(a)



(b)

図 14: 結果画像

6 おわりに

本論文では、長時間サッカー中継画像の解析のために、特定のショットの切り出しとショット最初の画像におけるカメラの初期姿勢の自動推定を行った。そこでは、色ヒストグラムによりショットの切り替わりを検出し、画像中のグラウンドと選手の割合およびラインの見え方からセンターカメラショットであるかどうかを検証し、直線の交点の世界座標と画像座標との対応関係からカメラ初期姿勢を推定した。さらに、色ヒストグラムのクラスタリングに基づいて、グラウンドおよび選手のユニフォームの色情報の自動登録を行った。以上により、オペレータの補助なしに長時間のサッカー中継映像を解析することが可能となった。

参考文献

- [1] 丸尾, 岩井, 谷内田, 越後, 飯作. “ サッカー映像からの特定イベントの抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU99, Vol. 99, No. 181, pp. 31-38, 1999.
- [2] Y. Seo, S. Choi, H. Kim and K. S. Hong. “ Where Are the Ball and Players? Soccer Game Analysis with Color-Based Tracking and Image Mosaicking ”, Int. Conf. on Image Analysis and Processing, pp. 196-203, Sept. 1997.
- [3] H. Kim and K. S. Hong. ”Soccer Video Mosaicking using Self-Calibration and Line Tracking”, ICPR-2000 IEEE Int. Conf. on Image Processing. 1, pp. 592-596, 2000.
- [4] 大野, 三浦, 白井. “ サッカーゲームにおける選手とボールの追跡 ”, 情報処理学会研究報告, 99-CVIM-114, pp. 49-56, 1999.
- [5] A. Yamada, Y. Shirai, and J. Miura , ”Tracking Players and a Ball in Video Image Sequence and Estimating Camera Parameters for 3D Interpretation of Soccer Games,” Proc. of the 16th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 303-306, 2002.
- [6] Y. Rubner, C. Tomasi, L. Guibas. A Metric for Distributions with Applications to Image Databases. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision, January 1998.