

屋外大規模空間における自由視点映像生成のための選手領域抽出法

古山 孝好[†] 向川 康博^{‡*} 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] 筑波大学理工学研究科〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡] 筑波大学大学院システム情報工学研究科〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] [‡] {koyama, mukaigaw, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は、屋外大規模空間におけるイベント、特にサッカーシーンを対象として、自由視点映像のライブ中継を実現する研究に取り組んでいる。屋外大規模空間において品質の良い自由視点映像生成を行うには、多視点映像から選手領域を安定して抽出することが必須である。そのための、日照変動に影響を受けにくい選手領域抽出法について報告する。また、自由視点映像生成のためには、選手の3次元位置の推定をリアルタイムに行う必要がある。これに対して、2台の固定カメラを用いた選手のフィールド上での位置を推定する手法について提案する。本手法は、1台のカメラで選手同士が重なって見える場合にも対応可能である。以上の手法は、実際のサッカーシーンに適用され、有効に機能することが確認された。

キーワード 屋外大規模空間、サッカー、自由視点映像、選手領域、領域抽出、日照変動

Player Region Extraction for Free Viewpoint Video Image Generation in a Large Scale Outdoor Space

Takayoshi KOYAMA[†] Yasuhiro MUKAIGAWA^{‡*} Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba, 1-1-1 Tenoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

[‡] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 1-1-1 Tenoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

E-mail: [†] [‡] {koyama, mukaigaw, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract We have been working on realizing live broadcasting of free viewpoint video Images for events held in a large scale outdoor space such as soccer stadiums. It is important to extract player regions stably in video images of multiple video cameras despite of sunlight intensity changes in order to provide high quality free viewpoint video images in outdoor scenes. We introduce robust player region estimation method that is hardly affected by sunlight intensity changes. It is also important to estimate 3D locations of players on line to provide free viewpoint images. To that purpose, we propose a two-camera 3D location estimation method. The method can successfully estimate the locations even when players are overlapped to each other at a camera image. These methods are implemented and evaluated in real soccer scenes. The results proved that our methods are effective to manage various situations in real soccer games.

Keyword Large scale outdoor space, Soccer, Free viewpoint, Player region, Region extraction, Illumination change

1. はじめに

我々は、屋外大規模空間におけるイベント、特にサッカーシーンを対象として、自由視点映像のライブ中継を実現する手法について研究を進めている。ここでいう自由視点映像のライブ中継とは、カメラの設置位置や映像制作者の意図によらず、視聴者であるユーザ各々が望む視点位置を自由に選択することが可能な映像を、自宅に居ながらにして視聴することができる映像メディアを指す。

近年、対象空間を多数の視点から撮影し、この多視点映像をコンピュータで解析することにより、3次元空間を仮想化する研究が盛んに行われている[1,2,3,4,5,6,7]。しかし、屋外における大規模空間において映像を撮影し、遠隔地のユーザにネットワークを介してデータをリアルタイム配信することにより完全に自由な位置からの映像を提示できる総合的な取り組み例は我々の他には世界的にほぼない状況である。

本取組では、大規模空間における映像の一般的な観察スタイルを考察しその特徴を踏まえて、「人物ビル

* 現在、大阪大学。

ボード」という表現手法による自由視点映像の生成手法を提案してきた[11,12,13]。この提案手法では、選手を1枚の平面で近似し、この平面に多視点映像から獲得した選手映像を適切に貼り付けることにより、自由視点映像の生成・提示を行う。そのため、従来研究で提案されてきた多くの手法に比べ、多視点映像から自由視点映像を生成するための計算コストを大幅に抑えることが可能であり、リアルタイムでの自由視点映像の生成が容易となる。また、自由視点映像を提示するために必要最低限な情報を選択していることから、少ないデータ量で配信が可能であり、そのためブロードバンド回線を介した遠隔地への自由視点映像の配信も実現できる[14]。

このような取組における重要な技術の一つが、画像からの選手領域の抽出とそれに基づく選手の三次元位置推定である。特に、本研究では屋外でのサッカーシーンを対象としているため、不可避に発生する日照変化に影響を受けにくい手法が求められる。自由視点映像生成においては、多数のカメラを同時に設置し画像処理することが要求されるため、この点からも頑健な手法が望まれる。我々はこれらの要求を満たす選手領域抽出法と選手位置推定法について、本稿で提案する。

以下、2節で日照変動に影響を受けにくい選手領域抽出法について述べ、3節では選手の3次元位置推定法について説明する。つづいて4節で実験結果を示し、5節で本稿の結論を述べる。

2. 日照変化に対応した選手領域抽出

本節では日照変化に影響を受けにくい選手領域抽出法について述べる。本手法の特徴は、フィールドに対応する画素値の変動要因を明らかにし、それに対応した逐次適応型背景モデルを構築して処理を行っている点である。

一般的なサッカースタジアムにはフィールド全体を覆う屋根が無い場合、多視点映像の獲得は屋外環境での撮影となる。屋外環境下では、撮影される映像に日照が与える影響は大きい。例えば薄雲で太陽が陰るような日照変化でも、図1のように映像中での画素値は大きく変化する。また、天候によってはその変動が頻繁に発生する。そのため、静的な背景画像を用いた単純な差分処理による選手領域（前景領域）の抽出方法では、長時間にわたる安定的な処理が困難である。

屋外環境下での日照変化にロバストな前景領域の抽出手法については、これまでに多くの研究が行われている[8, 9, 10, 15, 16]。Hanらは、映像内の画素ごとに、複数個のガウス分布で背景モデルを構築し、新たなデータに対してこの背景モデルによる確率密度を算出することにより、前景・背景の判定を行うアルゴリズムを提案している[10]。この手法では、新たな画素が背景であると判断された場合、これを背景モデルに逐次組み込み、得られた新たな背景モデルの分布の極大値を基に適応的にガウス分布の数を変動させることにより、メモリの消費量を抑えつつ背景の動的な変化に柔軟に対応している。しかし、新たなガウス分布

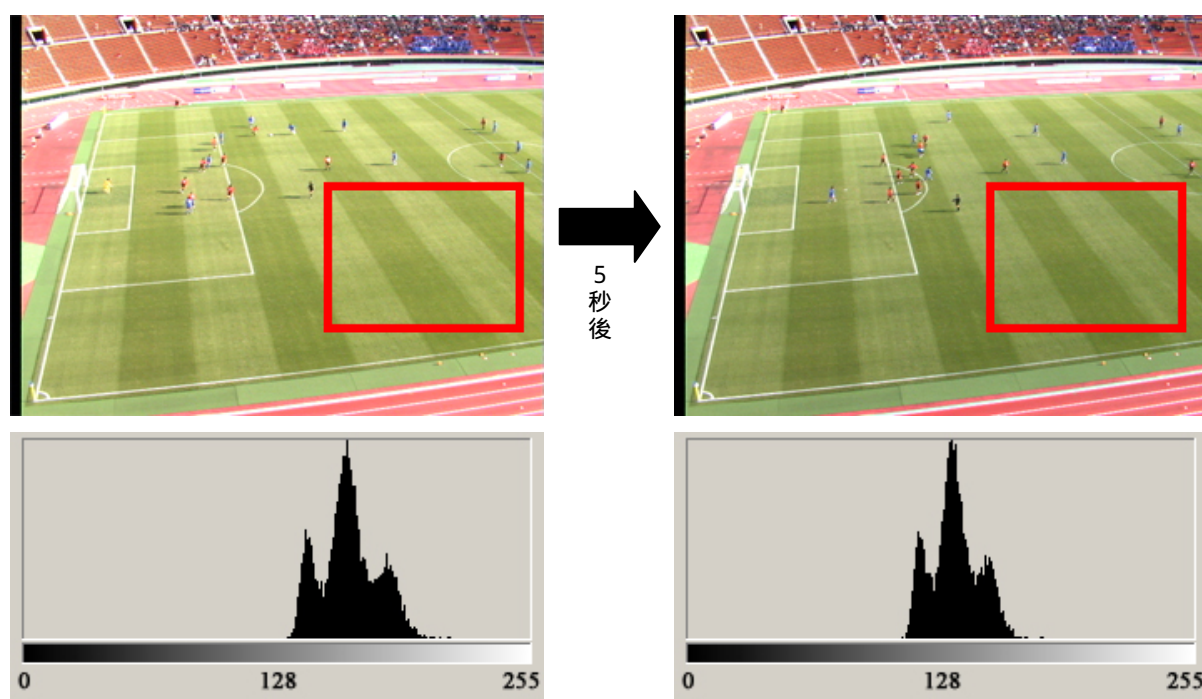


図1 日照変化の例。下段は画像中赤枠内の輝度値ヒストグラム

の極大値の探索などに多くの計算コストを必要とするため、リアルタイムでの前景領域抽出は困難であると考えられる。

本研究では、サッカーフィールドという背景の特徴を利用し、屋外での日照変化に対応できる新たな選手領域抽出手法を提案する。サッカーシーンにおいて、前景領域である、選手やボールが存在する場所はフィールド上のみであると仮定し、撮影画像中のフィールド部分のみを対象として、抽出処理を行う。本手法では、動的な背景モデルを、フィールドを映している画素ごとに個別に構築する。また、毎フレーム得られる新たな画素の値で背景モデルを逐次更新していく。

ここで、屋外でのサッカーフィールドを対象にした場合の、画素値変動要因について考えてみる。なお、処理対象をフィールド上に限定しているため、背景となるものはフィールド自体のテクスチャである芝生または白線とし、フィールドに関してはそのテクスチャが動的に変化することはないと仮定する。

このような状況下での画素値の変動要因の一つは、天候の変化、言い換えれば光量変動である。天候の変化は一般に急激には生じないので、これに対しては、十分なフレームレートで処理を行っていけば、画素値の急激に変化が観測されることはないと考えられる。

もう一つの変化の原因は影の移動である。これは光線方向の変化、つまり太陽の移動によって生じる。構造物がフィールドに落とす影は太陽の移動により移動していくため、影による画素値の変化も急激なものではなく、ゆるやかな変化であると考えられる。

このように、日照変化による背景の画素値変動には光量変動と影の移動という二つの要因が挙げられるため、本来はそれぞれに対応した二つの背景モデルを構築すべきである。しかし、上述のように、この二つの状態間の遷移は急激なものではないため、本手法では、画素ごとに一つのガウス分布で背景モデルを表現し、これを逐次更新していくことにより日照変化に対応する手法を採用する。

いま、ある画素について観測したとして、そのガウス分布の平均を m 、分散を σ とすると、新たなフレームで得られた画素値 v に対して次式を計算する。

$$f(v) = \prod_d \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_d^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(v_d - m_d)^2}{\sigma_d^2}\right)$$

本手法では、YUV 色空間でモデルを構築し、 d は Y, U, V の各軸を表す。 $f(v)$ が閾値以上であればその画素は背景領域、閾値以下であれば選手領域であると判断する。背景であると判断された画素は、新たなデータ v を基に、次式でモデルの更新を行う。

$$m_d' = \alpha_d v_d + (1 - \alpha_d) m_d$$

ここで、 α_d は学習率である。なお、本手法では、サッカーフィールドにおける観察から、日照変化が背景モデルに与える影響は主に平均 m に対するものであるとみなし、分散 σ を一定値とする。

上記手法により、背景モデルを逐次更新しながら日照変化に対応して選手領域を抽出できる。しかし、ある画素が長時間、選手領域である（選手が停止しているなど）場合、背景モデルの更新ができないため、この間に大幅な日照変化が起きた場合、その変化に対応できず以降の処理がすべて失敗してしまう可能性がある。

ここで、サッカーフィールド内では、近似色で観察されている画素間では、日照変化時の背景モデルの変動は似たような傾向を示すものと考えられる。そこで、フィールド上の全画素を、その画素値を基に N 個のクラスタにあらかじめ分割し、このクラスタ内の背景モデルの変動を考慮することにより、選手領域である画素の背景モデルの更新を適宜補う。つまり、選手が長期間重なる画素については、事前に調べておいた同じ色合いの画素集合の振る舞いを調べて、背景モデルを更新する。ここで、クラスタリングに用いる画像は構造物が落とす影を含んでおらず、フィールドのテクスチャそのものの画素値でクラスタリングが行える画像とする。図 2 は、図 1 のフィールド部分のみを取り出し、 $N = 10$ としてクラスタリングした例である。

あるクラスタにおいて、あるフレームで背景と判断された画素の集合を S_b 、その画素数を n_b とすると、集合 S_b 内の各背景モデルの平均 m の変化の平均値 $\Delta \bar{m}$ は

$$\Delta \bar{m}_d = \frac{1}{n_b} \sum_i^{S_b} (m_{i_d}' - m_{i_d})$$

で求められる。これを基に、選手領域と判断された画素の背景モデルを次式によって更新する。

$$m_d' = m_d + \Delta \bar{m}_d$$

ここで、集合 S_b 内の背景モデルの平均値 $\bar{m}$ をそのまま用いるのではなく、その変化分を用いて更新を行うのは、構造物が落とす影に対応するためである。前述のように、フィールドのクラスタリングでは構造物が落とす影を含んでいない画像を用いているが、選手領域の抽出時には、日照状況によっては、同じクラスタ内でも影である部分とそうでない部分が存在する場

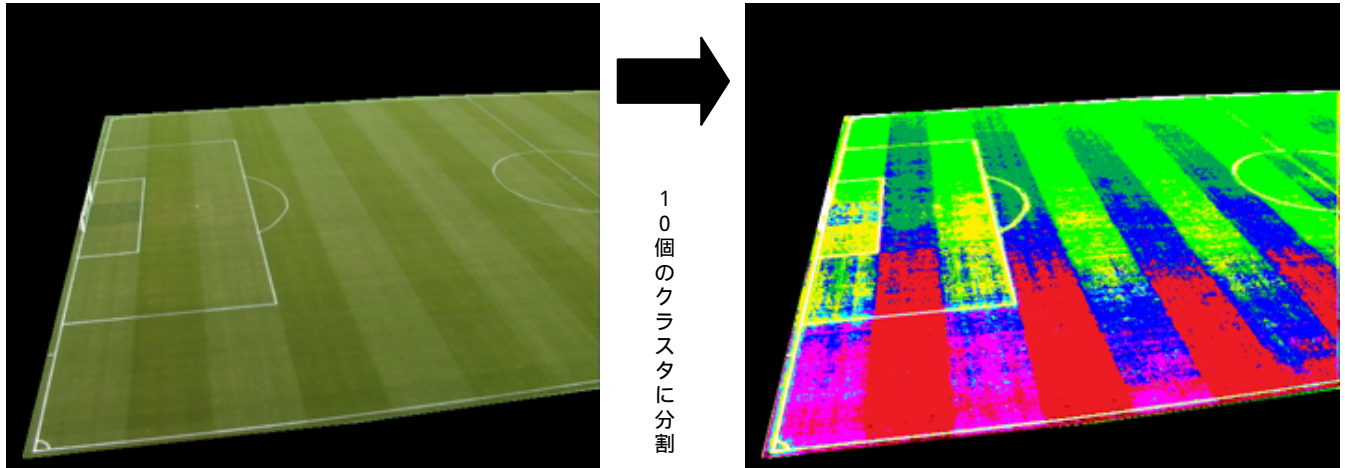


図2 フィールドのクラスタリング例

合がある．この場合，背景モデルの平均値には大きな差があると考えられる．そこで，平均値 $\bar{m}$ の変化 $\Delta\bar{m}$ を取り出し，これを基に更新を行う．

以上の処理は，ガウス分布の平均 m が背景モデルを正しく表している状況では有効であるが，処理の開始時には， m を自動的に適切な値に設定することが出来ない．また，一定値とする分散 σ に関しても，明確な基準を設定できない．そこで，事前にさまざまな照明環境下において背景のみの映像を撮影しておき，この映像を解析することにより， m の初期値， σ の基準となる背景モデルの構築を行っておく．この背景モデルは，画素ごとではなく，クラスタごとに構築する．さまざまな照明環境下で撮影した多くの画像を基に，複数個のガウス分布による背景モデルを構築する．処理の開始時は，この複数個のガウス分布による背景モデルにより前景領域の抽出を行いながら，一つのガウス分布による動的な背景モデルの構築・更新を進めていく．ある画素が属するクラスタを s ，そのクラスタのガウス分布を G_{si} ($1 \leq i \leq N$) とし，それぞれの平均，分散を m_{si} ， σ_{si} すると，

$$f(v) = \max_i \{G_{si}(v)\} = \max_i \left\{ \prod_d \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{si_d}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(v_d - m_{si_d})^2}{\sigma_{si_d}^2}\right) \right\}$$

を計算し， $f(v)$ が閾値以上であれば背景であると判定する．このとき，この画素の背景モデルを次式のように構築する． t は時間であり，処理の開始時を $t = 0$ とする．

$$m_d' = \begin{cases} v_d & : (t = 0) \\ \alpha v_d + (1 - \alpha)m_d & : (t > 0) \end{cases}$$

$$\sigma_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{si_d}$$

以上の手法によって，背景モデルが得られるので，選手領域抽出処理としては，入力画像の各画素に対して背景かどうかの判定を行い，選手領域を抽出する．同時に，背景モデルの更新を進めていく．

3. 選手の3次元位置推定

本節では，前節の結果をもとに，リアルタイムに選手の3次元位置推定を行う方法について述べる．我々はここで，2台の固定カメラを用いている．本手法の特徴の一つは，1台のカメラで選手同士が重なって見える場合にも対応可能であることである．

本研究では，サッカーフィールドを撮影対象としているが，サッカースタジアムによっては，フィールドの上空に屋根などの構造物が存在する場合がある．このような環境では，その構造部分にフィールドを真上から見下ろすようにカメラを設置し映像を獲得すれば，簡易な処理により選手の位置を獲得することができる．サッカーにおいては，天井からの映像では選手同士が重なることはほとんどないため，各選手を個別に抽出できる．また，選手は地面に接地していると仮定することにより，1台のカメラによる映像だけで選手の3次元位置を推定することが可能である．

しかし，一般的なサッカースタジアムでは，フィールドの上空にカメラを設置できるような構造物が存在しない．そこで，本研究では，選手の3次元位置を推定するためのカメラを2台，対象空間全体を撮影範囲に捉え，お互いの光軸がほぼ直交するように設置する．この2台のカメラ映像から獲得された選手領域の幾何的対応をとることにより，選手の3次元位置をリアルタイムに推定する．

本研究では、フィールドは平面であり、選手はフィールドに対して常に直立しているものと仮定している。したがって、人物ビルボードを用いた自由視点映像の生成において必要となる3次元位置情報は、各選手の足元位置だけである。選手の足元位置の推定を行う場合、原理的には、各カメラで抽出された選手領域の足元位置を重畳しその交点を求めればよい。しかし、選手領域の抽出精度や、映像中の各画素と3次元座標とを対応付けるカメラキャリブレーションの精度が十分でない場合、正しい推定結果を得ることができない。また、サッカーシーンでは多くの選手が存在するため、映像中での複数選手の重なりにも対応しなければならない。

以上の要素を考慮した3次元位置推定のアルゴリズムを以下に示す。また、図3および図4にその処理過程例を示す。

・各カメラの映像上で抽出された選手領域ごとに、領域の外接長方形を求める。(図3中の矢印(イ))
 ・そのカメラの前フレームに得られた外接長方形との重なりを検査することにより、各外接長方形が含む選手数を推定する。前フレームの外接長方形 j が含む選手数を N_{pj} 、現フレームの外接長方形 i が含む選手数を N_{ci} とすると、

A) 現フレームの外接長方形と前フレームの外接長方形との重なりが1対1で対応する場合には、前フレームの外接長方形が含む選手数をそのまま設定する。

$$N_{Ci} = N_{Pj}$$

B) 現フレームの外接長方形が前フレームの複数 (n 個) の外接長方形と重なる場合には、その合計の選手数を設定する。

$$N_{Ci} = \sum_j^n N_{Pj}$$

C) 現フレームの複数 (m 個) の外接長方形が前フレームの同一の外接長方形と重なる場合には、現フレームの各外接長方形の面積 S_{Ci} に応じて、前フレームの外接長方形が含む選手数を分割する。

$$N_{Ci} = \frac{S_{Ci}}{\sum_i^m S_{Ci}} N_{Pj}$$

$$\text{ただし, } \sum_i^m N_{Ci} = N_{Pj}$$

D) 前フレームとの重なりがなかった外接長方形は、選手数を1とする。

・各外接長方形にIDを割り当てる。においてA)に該当する外接長方形には対応する前フレームの外接長方形のIDを割り当てる。それ以外の外接長方形については、新しいIDを割り当てる。(図3中の矢印(ロ))

・2台のカメラそれぞれから得られた外接長方形の情報を合わせ、前フレームにおいて対応付けられ、

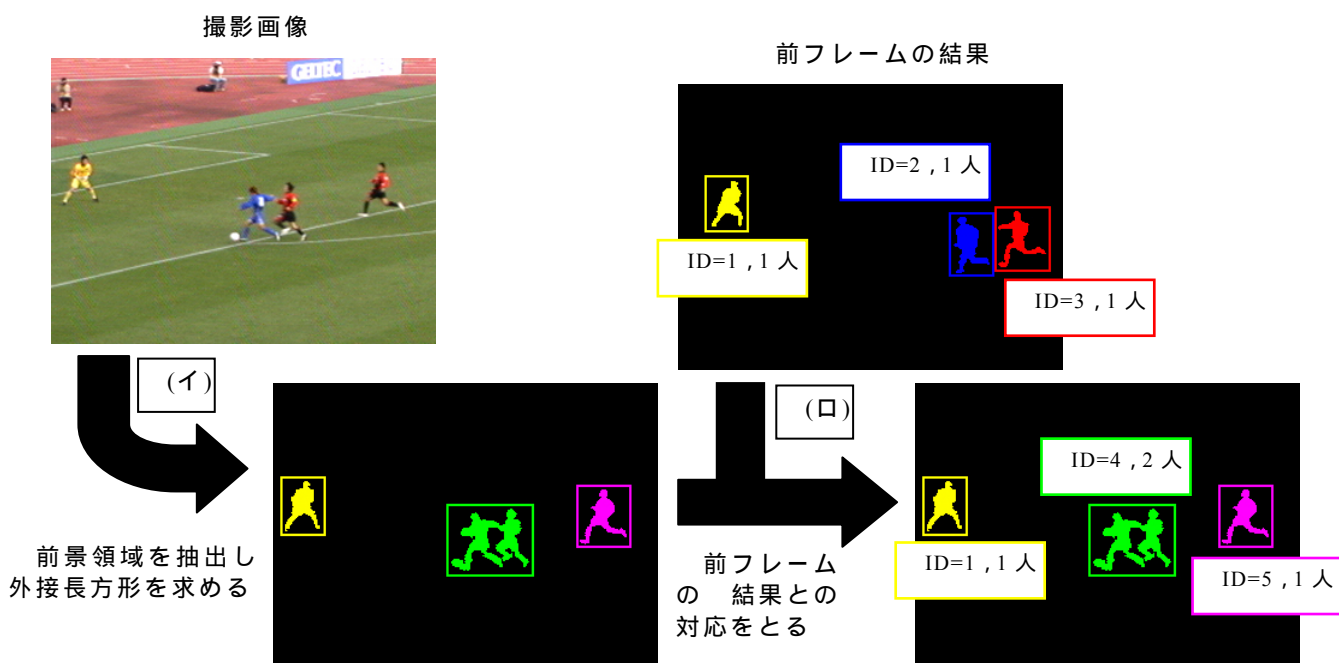


図3 各カメラで行う処理(選手領域抽出からIDの割り当てまで)

かつ各々の ID と含む選手数が変化していない外接長方形のペアは対応がとれたとみなし、以降の処理の対象から除外する。各外接長方形の足元位置（下辺の中点）を 3 次元空間中に投影し、2 直線の最近点を選手の位置とする。

・各外接長方形を、カメラ位置に基づいてフィールド上に投影し、各々の投影四角形を得る。ここで、外接長方形が含む選手数が 1 のものはその足元付近のみを、複数の選手を含む外接長方形はその全体を投影する。（図 4）

・両カメラで得られた投影四角形がフィールド上で重畳するかを検査し、重畳部分がある投影四角形対を全て求める。

・得られた投影四角形対全てについて、投影四角形の重心とカメラ位置をフィールド上に投影した点とを通る直線を求め、両直線の交点を選手の位置とする。（図 4 中の ● 印）

以上の処理により、選手の位置を推定する。において、外接長方形を地面上に投影しているため、これ以降の処理で 3 次元位置を正しく推定できるのは、地面上に接地している選手のみである。しかし、の処理を行うことにより、それまでに正しく対応付けられ位置の推定が行われている選手に関しては、ジャンプなど空中に存在していても、継続的にその 3 次元位置

を得ることが可能である。また、の処理を事前に行うことにより、以降の計算量や、誤対応の可能性を削減することができる。また、前述の通り、本手法では、各選手の足元の 3 次元位置のみを推定する。したがって、選手を 1 人しか含んでいない外接長方形に関しては、において、その足元付近の領域のみを投影することで選手領域の抽出やキャリブレーションの誤差に対応する。これにより、選手が密集している場合に、投影四角形が不必要に重畳してしまい誤対応が発生する可能性を低減する。

4. 実験

本稿で提案した選手領域の抽出手法の有効性を検証するための実験を行った。

実験に使用した映像は 60 秒間連続して撮影したものであるが、映像の開始時を $t = 0$ [sec] として、 $t = 50$ [sec] 前後から、太陽が薄雲に陰ったことによって、シーン全体が大幅に暗くなっている。この映像に対して、静的な 1 枚の背景画像を用いた差分処理による抽出と、提案手法による選手抽出の二通りの実験を行い、その結果を比較した。

提案手法ではまず、フィールド上の全画素を YUV 値によりクラスタリングし、図 2 のように 10 個のクラ

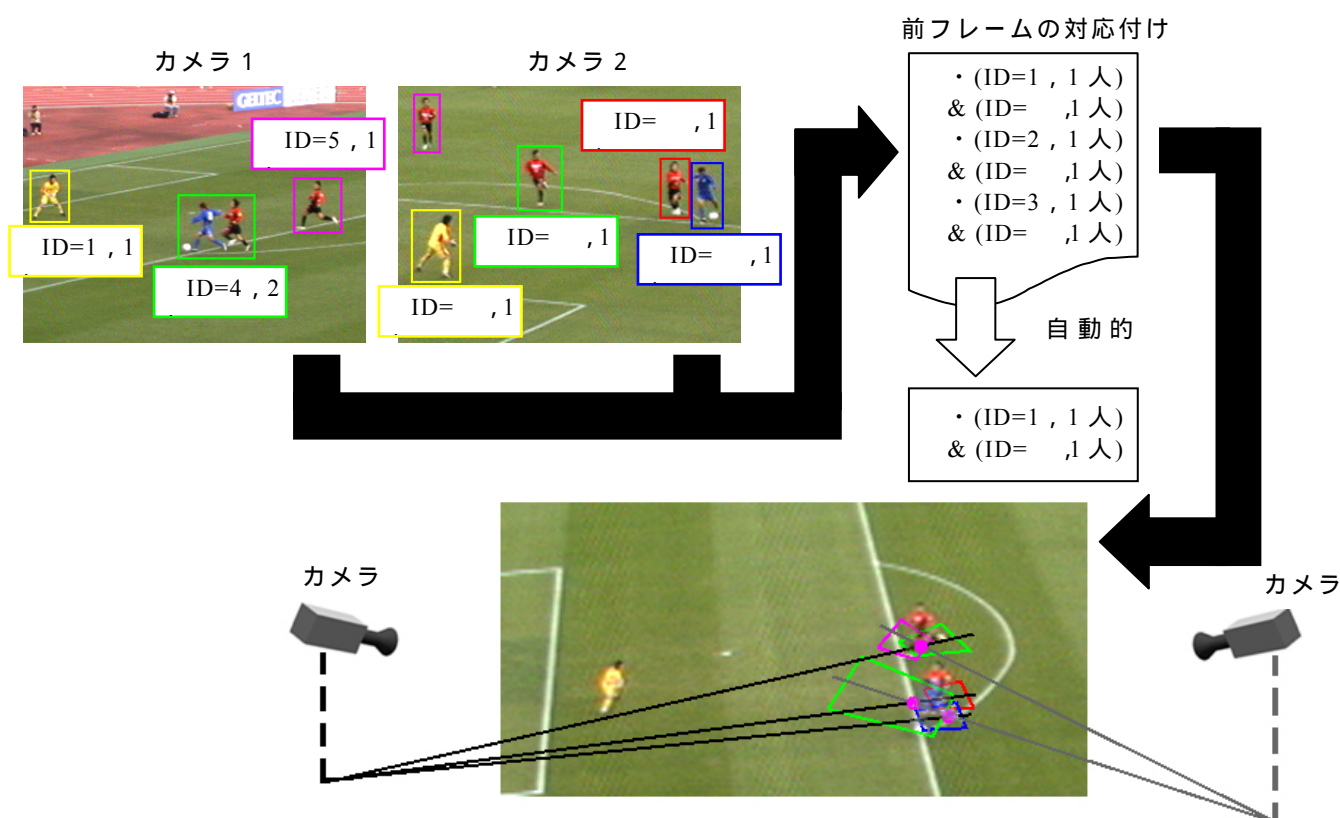


図 4 2 台のカメラによる選手の 3 次元位置推定



図5 静的な背景モデルの構築に
使用した画像の例

スタを得た．そして，クラスごとに，図5に示すような40枚の画像群から，複数個のガウス分布による背景モデルをあらかじめ構築した．この背景モデルの中には，少ないサンプル画素群から算出されるガウス分布が多数存在する．これは，映像信号やキャプチャボードの回路にのったノイズに起因するものであると考えられる．また，本実験では，図5右上の図や左下の図のように，背景だけではない画像群も使用したため，背景以外の物体をモデル化したガウス分布も含まれている．そこで，背景モデルを構築した画像の枚数である40以下の画素群によるガウス分布は，背景以外の画素をモデル化したガウス分布であると仮定して，これを破棄し，以降の処理には使用しない．図6は，あるクラスについて，そのクラス内で求められた複数のガウス分布を，そのガウス分布の構成画素数でグラフ化したものである．

このような準備を行った後で，60秒の入力データを与え，選手領域の抽出実験を行った．実験に使用した映像のスナップショットを図7の左端列(元画像)に，背景画像による差分結果を左から2列目(背景差分)に，提案手法による抽出結果を3列目(提案手法)に示す．縦軸は時間の経過を示し，単位は秒である．なお，図7の画像は，見易さのためにフィールド上の一部を切り出したものである．静的な1枚の背景画像を用いた差分処理では， $t = 50$ [sec]前後から，フィールドの大部分を前景として抽出してしまい，選手領域を得ることができない．これに対して，提案手法では，このような大きな照明変化においても，背景モデルを動的に変化させることにより適切な選手領域の抽出を行えていることが分かる．なお，図7の右端列(ラベリング結果)は，提案手法による抽出結果にノイズ除去処理を行い，ラベリングを行った結果である．全ての選手を抽出できていることが分かる．

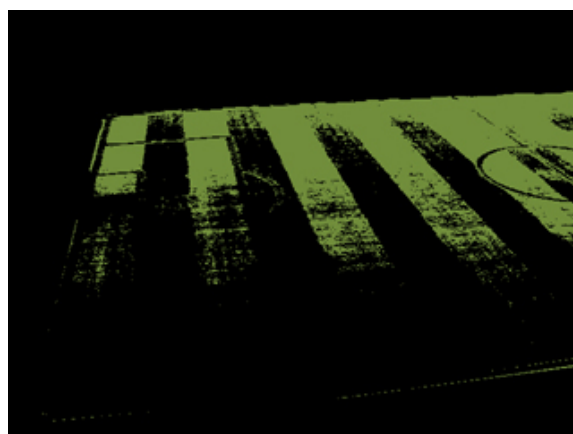


図6 あるクラスで構築されたガウス分布

また，提案手法の処理速度に関しても検討を行った．選手領域抽出の処理を300回行って平均を求め，1フレームあたりの処理時間を測定した．本実験では，640x480 [pixel]の画像を使用して処理を行っているが，そのうち，処理の対象であるフィールド上の画素数はおよそ191,000 [pixel]である．その結果，1フレームあたり，背景モデルによる選手領域の抽出処理に56 [msec]，背景モデルの更新処理に10 [msec]の時間を要した．1枚の背景画像を用いた差分処理で同様の測定を行った結果，25 [msec]であった．1枚の背景画像を用いた差分処理に比べると2.5倍程度の処理時間を要するが，さらなる高速化を図れば，リアルタイム処理に十分に使用できる手法である．

5. おわりに

本稿では，屋外大規模空間における自由視点映像生成に利用可能な，日照変動に強い選手領域抽出法と，その結果に基づく選手位置推定法について提案した．選手領域抽出法については，フィールド上での背景画

素値の変動要因が光量変動と影の移動であり，そのどちらもが緩やかな変化を示すことに注目し，適応的な背景モデルを構築していることが特徴である．また，選手位置推定については，サッカー選手の見かけの大きさが急激に変化しないことに注目したことで，選手同士がカメラ上で重なっても対応できる方法となっている．

実験結果から，選手領域抽出が日照変化に対しても安定して行えている様子が示された．また，処理速度についても現時点でリアルタイム処理に近い値が得られている．

- 今後の検討課題としては，さらなる高速化や，自由視点映像のライブ生成システムへの組み込みを行った上でのランタイム実験評価が上げられる．

文 献

- [1] T.Kanade, P.Rander and P.J.Narayanan, "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes", IEEE Multimedia, Vol.4, No.1, pp.34-47, 1997.
- [2] P.J.Narayanan, P.Rander and T.Kanade, "Constructing Virtual Worlds Using Dense Stereo", Proc. of the Int. Conf. on Computer Vision (ICCV) '98, pp.3-10, 1998.
- [3] S.Würmlin, E.Lamboray, O.G.Stadt, M.H.Gross, "3D Video Recorder", Proc. of Pacific Graphics '02, pp.325-334, 2002.
- [4] W.Matusik, C.Buehler, R.Raskar, S.J.Gortler and L.McMillan, "Image-Based Visual Hulls", Proc. of ACM SIGGRAPH 2000, pp.369-374, 2000.
- [5] N.Inamoto and H.Saito, "Immersive Observation of Virtualized Soccer Match at Real Stadium Model", Proc. of The Second International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR03), pp.188-197, 2003.
- [6] I.Kitahara and Y.Ohta, "Scalable 3D Representation for 3D Video Display in a Large-Scale Space", Proc. of the IEEE Virtual Reality 2003, pp.45-52, 2003.
- [7] 石川，北原，大田，"大規模空間の多視点映像を用いた運動視差の再現可能な自由視点映像提示"，信学技報 PRMU 2000-190 Feb.，pp.31-38，2000.
- [8] A.Elghamall, R.Duraiswami, D.Harwood and L.S.Davis, "Background and Foreground Modeling Using Nonparametric Kernel Density Estimation for Visual Surveillance", Proc. of The IEEE, Vol.90, No.7, pp.1151-1163, 2002.
- [9] Y.Matsushita, K.Nishino, K.Ikeuchi and M.Sakauchi, "Illumination Normalization with Time-dependent Intrinsic Images for Video Surveillance", IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.26, No.10, pp.1336-1347, 2004.
- [10] B.Han, D.Comaniciu and L.Davis, "Sequential Kernel Density Approximation through Mode Propagation: Applications to Background Modeling", Proc. of Asian Conference on Computer Vision (ACCV) 2004, pp.818-823, 2004.
- [11] T.Koyama, I.Kitahara, and Y.Ohta, "Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium",

International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.178-187, 2003.

- [12] Y. Kameda, T.Koyama, Y.Mukaigawa, F.Yoshikawa, Y.Ohta, "Free Viewpoint Browsing of Live Soccer Games", IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2004), 4 pages, 2004.
- [13] T.Koyama, I.Kitahara, Y.Ohta, "Live 3D Video in Soccer Stadium", SIGGRAPH Sketches and Applications, 2003.
- [14] 古山，向川，亀田，大田，"サッカーの自由視点映像のネットワークを用いたライブ配信"，第3回情報科学技術フォーラム (FIT2004)，1-054，pp.125-126, 2004.
- [15] 島井，栗田，梅山，田中，三島，"ロバスト統計に基づいた適応的な背景推定法"，信学会論文誌 D-II, vol.86-D-II, No.6, pp.796-806, 2003.
- [16] 松山，和田，波部，棚橋，"照明変化に頑健な背景差分"，信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211, 2001.

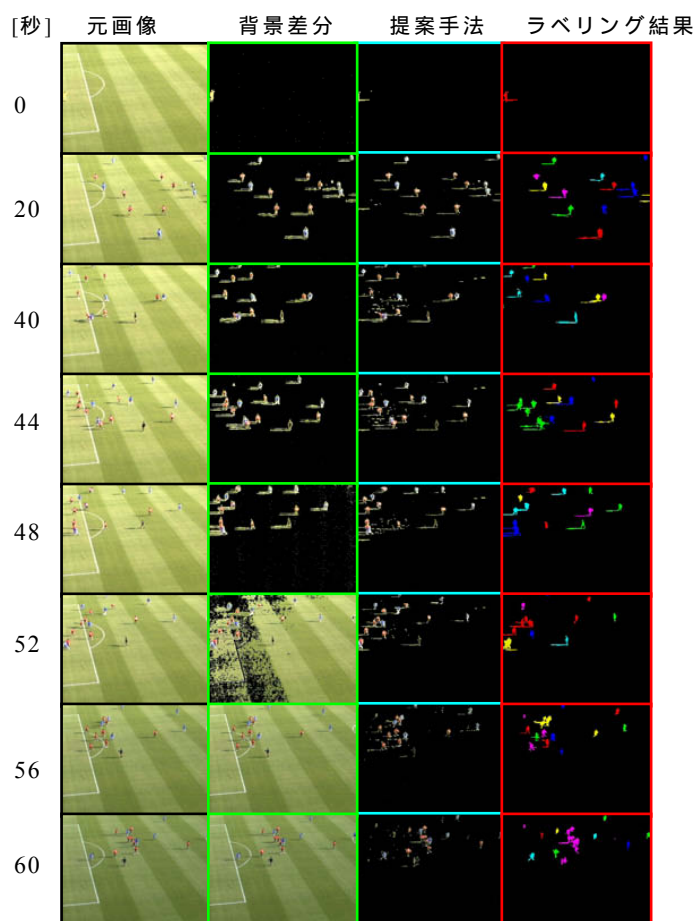


図7 選手抽出の実験に使用した映像のスナップショットと処理結果