



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	レベルセット法を用いたサッカー映像における選手追跡手法
Author(s)	高橋, 翔; 林, 原局; 長谷山, 美紀
Citation	電子情報通信学会論文誌 D, J96-D(3), 695-703
Issue Date	2013
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71960
Rights	copyright©2013 IEICE
Type	journal article
File Information	IEICE_J96-D(3)_695-703.pdf



レベルセット法を用いたサッカー映像における選手追跡手法

高橋 翔[†] 林 原局[†] 長谷山美紀[†]

Player Tracking by Using Level-Set Method in Soccer Video

Sho TAKAHASHI[†], Wonkuk LIM[†], and Miki HASEYAMA[†]

あらまし 本論文では、サッカー映像からレベルセット法を用いて選手を追跡する手法を提案する。提案手法では、サッカー映像を各フレームが時間軸方向に重なるように連結した三次元データとして扱う。このデータに対して、レベルセット法を適用することで抽出される三次元の領域は、複数フレームに渡って存在する同一選手を包含する。提案手法では、この三次元の領域をサッカー映像から抽出することで、選手の追跡を実現する。したがって、提案手法では、フレームごとに選手を検出する必要がないため、フレームを個別に処理する従来手法における選手の検出と追跡それぞれの誤差によって精度が低下する問題を解決可能である。また、我々は、ユニフォームの色成分をサッカー映像から色コリログラムを用いて推定し、これをレベルセット法を用いて追跡する選手の特徴として導入する。これにより、提案手法では、追跡対象の特徴を事前に与えることなく、選手の頑健な追跡が可能となる。本文の最後では、実際にテレビで放送されたサッカー映像に対する実験により、提案手法の有効性を確認する。

キーワード サッカー、選手追跡、ユニフォーム色の推定、レベルセット法、色コリログラム

1. ま え が き

近年、インターネットを用いた映像配信や大容量の記憶媒体を用いた録画機器の普及により、大量の映像の視聴や保持が可能となった。これに伴い、大量の映像の中からユーザが望む映像を効率良く提示するため、映像を解析する様々な研究が行われている [1]~[7]。その中でも、サッカー映像や野球映像などのスポーツ映像に関する研究は、これまでに多くの手法が提案されている [4]~[7]。特に、サッカー映像を対象とする研究では、選手の追跡やボールの抽出、戦術の解析、チームの優劣度の判定、オフサイドラインの検出、三次元映像の自動生成などが行われている [8]~[19]。これらの中でも、選手の追跡は、試合内容の解析に必要な選手の走行経路を取得するために重要である。更に、選手追跡手法の分野では、パーティクルフィルタ [20] を用いた文献 [12] やレベルセット法 [21] を用いた文献 [13] が知られている。文献 [12] は、選手の接近を検知し、パーティクルフィルタの重心を再配置することで、選

手領域の重なりに対して頑健な選手追跡を実現する。しかしながら、この手法は、初期設定として選手の位置を指定する必要がある。また、文献 [13] では、サッカー映像の各フレームにおいて選手位置を検出し、前フレームの検出結果を処理対象フレームにおける初期位置とすることで、選手の追跡を行っている。このため、前フレームの選手検出に誤りが発生した場合に、上記の従来手法では、以降の処理に影響を与える危険性がある。

そこで、本論文では、初期設定として選手の位置の指定を必要とせず、かつ、各フレームでの処理結果の影響を受けずに選手を追跡可能な手法を提案する。提案手法ではまず、選手追跡を自動で行うための前処理として、選手ユニフォームの色成分をサッカー映像から推定する。次に、提案手法では、サッカー映像に対して三次元のレベルセット法を適用し、各フレームにおける同一の選手を連続した一つの領域として抽出することで、選手の追跡を実現する。これら二つの処理により、提案手法では、選手の初期位置を与えることなく、レベルセット法によって頑健な選手追跡が可能となる。

なお、近年では、一般の動物体の追跡をグラフ表現による最適化問題として扱うことで高精度な追跡を

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科, 札幌市
Graduate School of Information Science and Technology,
Hokkaido University, Kita-14 Nishi-9, Kita-ku, Sapporo-shi,
060-0814 Japan

実現する手法 [22]~[25] が提案されている。これらの手法では、各フレームにおける同一の対象物を連続した一つの領域として抽出しており、実験によりその有効性が確認されている。本論文では、提案手法をこれらの手法と比較し提案手法の有効性を示す。

本文ではまず、2. で提案手法の概要を示す。3. では、ユニフォームの色成分を推定する方法を説明する。次に、4. では、3. で推定されたユニフォームの色成分に基づき、レベルセット法を用いて選手追跡を行う手法を提案する。最後に 5. では、提案手法の有効性を確認するため、実際のサッカー映像を用いて実験を行う。

2. 提案手法の概要

提案手法では、三次元のレベルセット法を用いて選手の追跡を実現する。レベルセット法では、抽出対象の領域の特徴に基づき、速度関数 F を適切に設計することで、高精度な領域の抽出が可能となる。ここで、一般にサッカーでは、互いのチームのユニフォームの色成分が類似しないという特徴がある。したがって、レベルセット法を用いた選手の追跡では、速度関数をユニフォームの色成分に基づいて設定することが有効であると考えられる。このため、提案手法では、以下の二つの処理によって、精度の良い選手追跡を自動で行う。

< 3. > サッカー映像からのユニフォーム色の推定

前処理として、レベルセット法で追跡する領域の特徴をサッカー映像から自動で取得する。

< 4. > 三次元のレベルセット法を用いた選手の追跡

サッカー映像に対して三次元のレベルセット法を適用し、各フレームにおける同一の選手を連続した一つの領域として抽出することで、選手の追跡を実現する。

以降では、上記の処理それぞれについて説明する。

3. ユニフォームの色成分の推定

本章では、ユニフォームの色成分をサッカー映像から推定する方法について説明する。同一ユニフォームの画素は、各フレームにおいてそれぞれ近い位置に存在するため、ユニフォームの色成分は同一フレームの近傍の画素に表れると考えられる。そこで、提案手法では、サッカー映像から取得する画像に対して色コリログラム [26] を算出し、ユニフォームの色成分を推定する。なお、提案手法ではユニフォームの色成分を高精度に推定するため、フィールドラインとフィールドの領域を、あらかじめ、簡便な方法で除去する。具体的

には、前者を文献 [27] の方法で検出し、その画素を除去する。次に、残りの画素をクラスタリングすることで、要素数が最大となるクラスタに属する画素をフィールドの領域として除去する。本章の以降では、ユニフォームの色成分の推定方法について詳述する。

提案手法ではまず、次式に示す色コリログラムを算出する。

$$\zeta_{c_{n_1}, c_{n_2}}^{(k)} = Pr[p_2 \in I_{c_{n_2}} | |p_1 - p_2| \leq k, p_1 \in I_{c_{n_1}}] \quad (1)$$

ただし、上式は、画像 I の色 c_{n_1} , c_{n_2} をもつ画素 p_1 と p_2 との間の距離 k に対する色コリログラムであり、各画素 $p = (x, y) \in I$ に対して $I(p)$ をその画素の色とし、 $I_c = \{p | I(p) = c\}$ とする。更に、 $|p_1 - p_2|$ は 2 画素間の距離であり、画素 p_1 及び p_2 それぞれの座標 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) を用いて次式で定義される。

$$|p_1 - p_2| = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (2)$$

次に、提案手法では、各画素に対して算出された色コリログラムを用い、同一のユニフォームを構成する色成分の推定を行う。同一のユニフォームを構成する色成分は、同一フレームにおいて互いに近傍の画素に表れるため、提案手法では、式 (1) で色コリログラムが最大となる色の組、及び 2 番目に大きな値となる色の組を求め、各々を各チームのユニフォームの色成分とする。色コリログラムには、審判やゴールキーパーの画素も含まれるが、これらは人数が少ないため、色コリログラムの値が大きくなり、推定精度に与える影響は小さい。

以上のようにして、提案手法では、ユニフォームの色成分の推定が可能となる。ここで、選手が着用するユニフォームについては、文献 [28] によって、互いのチームでユニフォームの色が類似しないことが規定されている。このため、ユニフォームの色の違いに着目する提案手法は有効であると考えられる。

4. レベルセット法を用いた選手追跡

本章では、3. で推定される色成分に注目することで、レベルセット法を用いた選手追跡を可能とする速度関数を設定する。提案手法では、図 1 (a) に示すようにサッカー映像を各フレームが時間軸方向に重なるように連結する三次元データとして扱い、三次元のレベルセット法を用いて選手追跡を行う。

以降、4.1 では、3. で推定される色成分を追跡可能なレベルセット法の速度関数を定義し、4.2 で、レベ

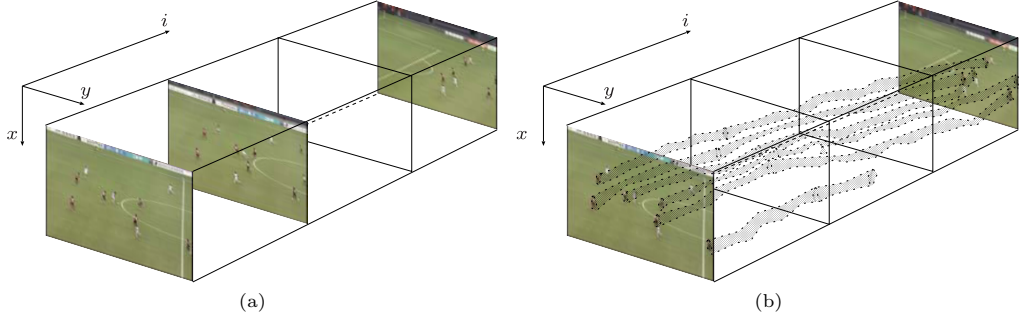


図 1 サッカー映像へのレベルセット法の適用：(a) 三次元データとして扱うサッカー映像の例，(b) 選手追跡の結果の例

Fig.1 Application of the level-set method to a soccer video: (a) an example of the three dimension data, (b) an example of the player tracking.

ルセット法を用いた選手追跡を提案する。

4.1 速度関数 F の定義

提案手法では，ユニフォームの色成分をもつ画素に境界面を近づけるための評価関数 F_D ，及び境界面の滑らかさを評価するための関数 F_G を用い，速度関数 F を次式のように定義する。

$$F = F_D + F_G \quad (3)$$

これにより，滑らかさを保ちながら，境界面を選手領域に近づけることが可能となる。 F_D 及び F_G それぞれについては，以下で詳述する。

評価関数 F_D の定義

提案手法では，ユニフォームの色成分をもつ画素に境界面を近づけるため，色成分間の距離を用いて F_D を定義する。

サッカーは，屋外で行われる場合が多く，天候や試合開始の時間などによって会場の照度が異なる．そこで，提案手法では，撮像時の会場の照度による影響を受けずに，レベルセット法により精度良く領域が抽出できるよう，明度による影響を軽減可能な $L^*a^*b^*$ 表色系を用いる．提案手法では，二つの色成分間における L^* 軸， a^* 軸， b^* 軸それぞれの差 ΔL^* ， Δa^* ， Δb^* を用いて 2 色間の距離 E を以下の式で定義する。

$$E = \frac{\sqrt{\alpha \Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}}{\sqrt{2 + \alpha}} \quad (4)$$

ここで， α は 0 から 1 の値をもつ係数であり，光や影などに影響されやすい明度指数 L^* の重みとして用いる．また， L^* ， a^* ， b^* の値は，0 から 1 までの値に正規化したものであり，分母 $\sqrt{2 + \alpha}$ は色差 E を 0 から 1 までの値に正規化するために用いられる。

提案手法では，2 色間の距離 E を用いて，境界面を特定の色成分の領域に近づけるための新たな評価関数 F_D を以下のように定義する。

$$F_D = \begin{cases} 1.0 & \text{if } E_{(i,x,y)} = 1 \\ -1.0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ただし， $E_{(i,x,y)}$ は，処理対象のサッカー映像における i フレーム目の座標 (x, y) の画素値が，**3.** で推定された複数の色成分の中で，色差がしきい値以下となる色成分が一つ以上存在する場合に 1 とする。

評価関数 F_G の定義

F_G は，レベルセット法における境界面の滑らかさを保つための評価関数であり，境界面の曲率 K と係数 ϵ を用いて次式で定義される。

$$\begin{aligned} F_G &= \epsilon K_T \\ &= \epsilon \nabla \cdot \frac{\nabla \Gamma}{|\nabla \Gamma|} \\ &= \epsilon (\Gamma_i^2 + \Psi_x^2 + \Gamma_y^2)^{-\frac{3}{2}} \{ \Gamma_i^2 (\Gamma_{xx} + \Gamma_{yy}) \\ &\quad + \Gamma_x^2 (\Gamma_{yy} + \Gamma_{ii}) + \Gamma_y^2 (\Gamma_{ii} + \Gamma_{xx}) \\ &\quad - 2(\Gamma_i \Gamma_x \Gamma_{ix} + \Gamma_x \Gamma_y \Gamma_{xy} + \Gamma_y \Gamma_i \Gamma_{yi}) \} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし， Γ はレベルセット関数 Ψ の時刻 T における境界面である．本章の冒頭に記載したように，提案手法では図 1 (a) に示す三次元データを処理することから， x, y, i による偏微分をそれぞれ $\Gamma_x, \Gamma_y, \Gamma_i$ で表す．更に， $\Gamma_{xx}, \Gamma_{yy}, \Gamma_{ii}, \Gamma_{ix}, \Gamma_{xy}, \Gamma_{yi}$ も同様に， x, y, i による 2 階微分を表す．係数 ϵ は，検出する選手領域の位置や形状の変化に対する境界面の滑らかさを制御するパラメータである。

4.2 選手の追跡

本節では，レベルセット法による選手追跡を行う。

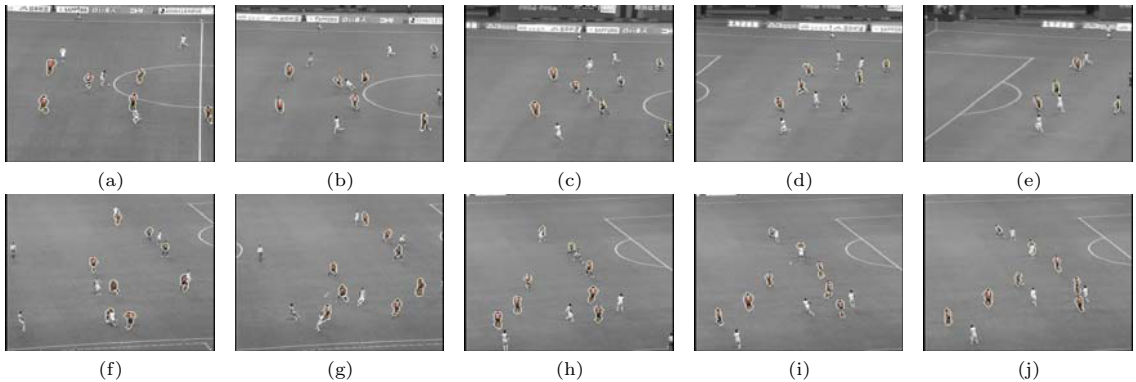


図 2 各フレームにおける選手の追跡結果
Fig. 2 The player tracking result in each frame.

提案手法では、サッカー映像を三次元データとして扱うため、あるフレームにおける追跡対象の選手の領域と次のフレームにおける領域とが、近傍に配置される。提案手法では、このデータに対して三次元のレベルセット法を適用することで、図 1 (b) に例示するように選手を追跡する。このとき、評価関数 F_D が速度関数 F に導入され、3. で推定された色成分を追跡の対象とすることで、境界面を選手領域に近づけることが可能となる。また、評価関数 F_G は境界面の滑らかさを維持する。これによって、サッカー映像中にしばしば見られる、異なるチームの選手領域の重なりやノイズが存在する場合においても、高精度に追跡することが可能となる。以上により、提案手法では、初期設定として選手の位置の指定を必要とせず、かつ、各フレームでの処理結果の影響を受けずに選手を精度良く追跡する。

5. 実 験

本章では、提案手法の有効性を確認するため、5.1 でレベルセット法を用いて選手を追跡する実験を行う。更に、5.2 では、選手のユニフォームの色成分推定が選手追跡に与える影響について確認するための実験を行う。実験には、テレビで放送されたサッカー中継においてサッカーフィールドが広範囲に撮影された場面から 10 fps で取得した 26,591 フレーム (320×240 画素, 24 bit カラー画像) を用いる。なお、提案手法では、映像を三次元データとして扱うため、ショット^(注1)の切り換えによって選手追跡の性能低下が考えられる。したがって、本実験では、あらかじめ手動でショットごとに分割を行った映像^(注2)を用いた。ここで、ショッ

トの境界は、文献 [1] や [2] など、従来より提案されている手法によって検出することが可能である。これらの手法によりあらかじめショットの境界が検出された映像を用いることで、ショットの切り換えによる選手追跡の性能低下を発生させない処理が可能になると考えられる。

5.1 レベルセット法を用いた選手追跡

本節では、三次元データからレベルセット法を用いて選手を追跡する実験を行い、その結果について考察を行う。提案手法によって抽出された三次元領域の断面を、フレームごとに表示した結果の例を図 2 に示す。このとき、提案手法における評価関数 F_G の係数 ϵ は、実験的に設定し、0.5 とした。図 2 では、赤色と黒色で構成されるユニフォームのチームの選手を追跡している。図 2 より、選手の追跡が実現されていることが確認できる。特に、図 2 (f) 及び (j) では、異なるチームの選手同士のオクルージョンが発生しており、ユニフォームの色に注目した選手追跡を行う提案手法の効果が確認できる。

次に、三次元のレベルセット法を用いて選手追跡を行うことの有効性を確認するため、比較として、サッカー映像のフレームごとに、二次元のレベルセット法を適用する実験を行った。その結果の例を図 3 (a)–(c) に示す。図 3 (a)–(c) は、連続したフレームである。図 3 (a) では、選手追跡が正しく行われているが、図 3 (b), (c) では、左上部の選手が未検出となっていることが分かる。これは、フレームを個別に処理する

(注1)：映像中で、1 台のカメラによって連続的に撮影された区間のこと。

(注2)：本実験で用いたショット数は 208、各ショットの平均フレーム数は 128 であった。

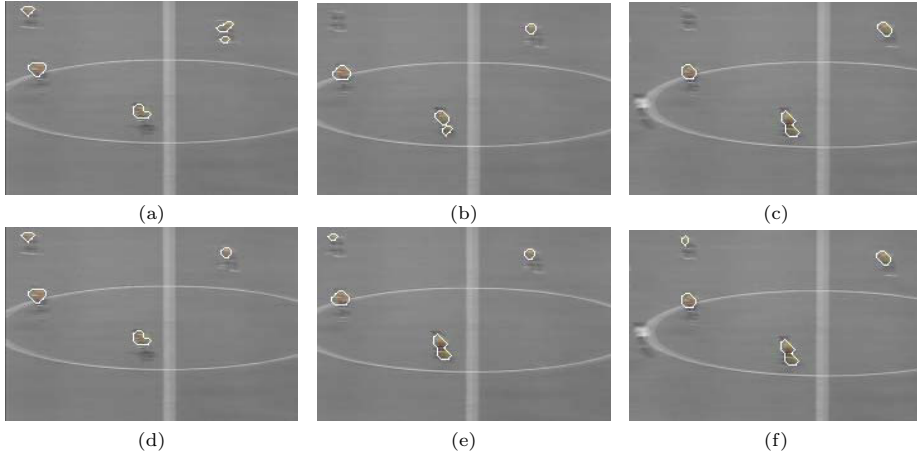


図 3 比較手法では追跡が困難なフレームへの処理結果の例：(a) 比較手法で正しく追跡したフレーム，(b) 比較手法で選手領域の抽出を誤った例，(c) (b) の次のフレームへ従来手法を適用した結果，(d) (a) と同一のフレームへ提案手法を適用した結果，(e) (b) と同一のフレームへ提案手法を適用した結果，(f) (c) と同一のフレームへ提案手法を適用した結果

Fig.3 The player extraction results from difficult frames in the comparative method : (a) correct frame by the comparative method, (b) example of a miss detection frame 1 by the comparative method, (c) example of a miss detection frame 2 by the comparative method, (d) correct result of the proposed method for (a), (e) correct result of the proposed method for (b), (f) correct result of the proposed method for (c).

ことによる精度劣化と考えられる．図 3(a)–(c) と同一のフレームに対する提案手法の結果を図 3(d)–(f) に示す．図 3(d)–(f) より，提案手法では，正しく選手を追跡可能であることが確認できる．以上より，フレームを個別に処理する手法に比べ，提案手法が有効であるといえる．

更に，提案手法を定量的に評価するため，レベルセット法によって抽出された三次元領域の断面を用いて，以下の式で再現率と適合率を算出した．

$$\text{再現率} = \frac{\text{正しく抽出された選手の数}}{\text{全フレームに現れる選手の数}} \quad (7)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{正しく抽出された選手の数}}{\text{抽出された領域の数}} \quad (8)$$

なお，本実験の定量評価では，各選手を内包する方形を正解データとして目視により事前に付与した．また，正解の判定は，事前に設定した方形と提案手法によって追跡された選手領域が重なる場合に正解とした．算出された再現率及び適合率はそれぞれ，0.972 及び 0.837 であった．

ところで，提案手法は，4.2 で説明したように，サッカー映像中にしばしば見られる，異なるチームの選手領域が重なる場合に追跡が可能となるよう実現されて

いる．しかしながら，映像中には，同一チームの選手領域が重なる場合があり，提案手法では，それらの領域が一つに統合され，精度に劣化が生じた．この問題は，文献[12]で提案されているように，選手同士の重なりを検知し，統合される直前までの選手の移動方向や速度から選手を区別する方法との併用により，解決する必要がある．

なお，提案手法と同様に，各フレームにおける同一の対象物を連続した一つの領域として抽出し，高精度に追跡を可能とする手法が文献[22]～[25]で提案されている．これらの手法では，各フレームにおける動物体の検出と追跡がそれぞれ別の処理として行われている．一方，提案手法では，レベルセット法により三次元の領域抽出を行うことで，各フレームにおける動物体の検出と追跡を同時に実現する．このため，提案手法では，これらの文献と比べて，各フレームでの検出性能が追跡精度に与える影響が少ない手法であると考えられる．

以下では，文献[24]及び[25]で用いられている標準的な評価用映像データから，PETS2009, CAVIAR, 及び ETH Mobile Scene のデータセットを選択し，これらに含まれる映像を用いて提案手法の有効性を検証

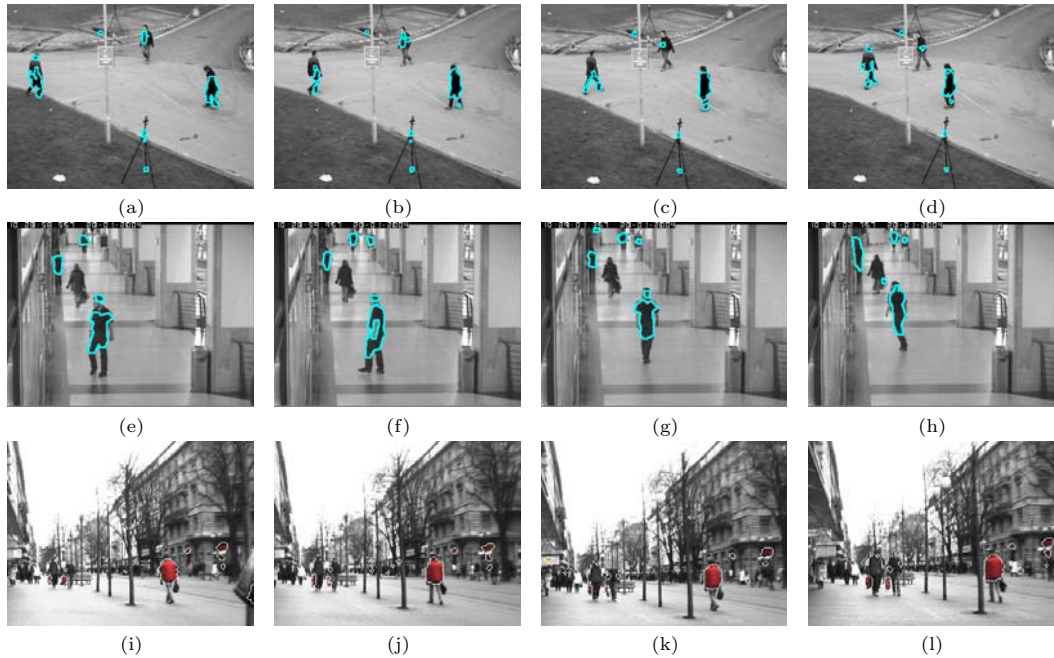


図4 提案手法による一般の動物体の追跡結果：(a)–(d) PETS2009, (e)–(h) CAVIAR, (i)–(l) ETH Mobile Scene

Fig. 4 The result of moving object tracking by the proposed method: (a)–(d) PETS2009, (e)–(h) CAVIAR, (i)–(l) ETH Mobile Scene.

表1 評価用映像データの解像度及びフレームレート
Table 1 The details of videos used for moving object tracking.

データセット	解像度	フレームレート	フレーム数
PETS2009	768 × 576	7 fps	100
CAVIAR	385 × 288	25 fps	100
ETH Mobile Scene	640 × 480	15 fps	100

する。なお、複数のカメラで様々な角度から撮影された映像については一つのカメラで撮影された映像のみを用いた。実験に用いた映像の解像度、フレームレート、及びフレーム数は、表1に示すとおりである。また、本実験で用いる評価用映像データはサッカー映像ではないため、追跡対象の色は手動で与えた。提案手法を適用した結果の例と追跡精度を、それぞれ図4及び表2に示す。再現率と適合率は、それぞれ式(7)、及び式(8)に基づいて映像中の動物体の数から算出した。図4及び表2より、提案手法によって動物体が精度良く追跡されることが確認できる。特にPETS2009のデータセットでは、文献[25]に報告されている精度と比較して、提案手法が高精度な追跡精度を実現している。一方、提案手法による追跡結果では、背景領域

表2 一般の動物体の追跡精度
Table 2 The accuracy of moving object tracking.

データセット	再現率	適合率
PETS2009	0.93	0.76
CAVIAR	0.91	0.82
ETH Mobile Scene	0.82	0.57

に追跡対象の物体と類似する色成分をもつ物体が存在する場合に、適合率の低下が確認された。これは、提案手法が色成分間の距離に注目したレベルセット法によって動物体を追跡するためであると考えられる。しかしながら、サッカー映像では、サッカーフィールドが背景となるため、選手の追跡を行う場合には、このような精度劣化が生じない。

5.2 ユニフォームの色成分の推定が選手追跡に与える影響

本節では、実際のサッカー映像からユニフォームの色成分を推定する実験を行い、ユニフォームの色成分の推定精度が選手追跡の精度に与える影響について考察する。実験の結果の例を図5に示す。図5(a)は、処理対象の映像に含まれる第8963フレーム（試合開始後、約16分）の画像であり、図5(b)は、フィールド



図 5 ユニフォームを構成する色成分の推定結果：(a) 処理対象の画像，(b) ユニフォームの色成分をもつ画素，(c) チーム A の色成分の検出結果，(d) チーム B の色成分の検出結果

Fig. 5 The result of uniforms' color estimation: (a) the target image, (b) the pixels of the uniform, (c) the detection result of color components for team A, (d) the detection result of color components for team B.

表 3 ユニフォームを構成する色成分の推定精度
Table 3 The accuracy of the uniforms' color estimation.

ユニフォームの色	図 5 の推定精度	平均の推定精度	最も低い推定精度
赤・黒	0.84	0.81	0.79
白	0.76	0.76	0.74

ドライン及びフィールドの領域を除去した画像である。図 5 (c) 及び (d) では、ユニフォームの色成分推定精度を視覚的に確認するため、ユニフォームの色成分推定結果をチーム別に可視化した。図 5 (c) 及び (d) より、ユニフォームの画素が正しく取得されていることが確認できる。特に、図 5 (c) に示した結果では、赤色と黒色の 2 色によって構成されるユニフォームが、提案手法によって正しく推定されており、色コリログラムを用いたことの有効性が確認できる。また、推定結果を定量的に評価するため、図 5 (c) 及び (d) に示す画素に対して、ユニフォームの画素が含まれる割合を推定精度として次式で算出し、表 3 に示した。

$$\text{推定精度} = \frac{\text{正解した画素の数}}{\text{実験によって取得された画素の数}} \quad (9)$$

更に、ユニフォームの色成分推定精度が選手追跡に与える影響を調べるため、図 5 のフレームを含む 5 分のサッカー映像から等間隔に取得した 100 フレームにおける推定精度の平均値及び最低値を表 3 にあわせて示す。表 3 より、提案手法を用いることで、ユニフォームを構成する色成分が精度良く推定されることが確認できる。また、我々は以下で、図 5 以外のユニフォームの組合せについても同様の精度が得られることを確認する。表 3 と同様に、図 5 とは異なるユニフォームの色成分をもつサッカー映像から等間隔に 100 フレームを取得し、ユニフォームの色成分を推定する。推定精度の平均値及び最低値を表 4 に示す。表 4 より、図 5 以外のユニフォームの組合せについ

表 4 様々なユニフォームからの色成分推定精度
Table 4 The accuracy of the various uniforms' color estimation.

ユニフォームの色	平均の推定精度	最も低い推定精度
赤・黒 vs 青	0.81	0.75
赤・黒 vs 青・白	0.84	0.79
赤・黒 vs 黄・黒	0.86	0.81

表 5 色成分推定精度の違いによる選手追跡精度の変化
Table 5 The accuracy of the player tracking by using the results of color estimation.

処理対象フレーム	再現率	適合率
図 5 のフレーム	0.972	0.837
最も推定精度が低いフレーム	0.934	0.844

ても、精度良くユニフォームの色成分を推定可能であることが確認できる。

次に、図 5 のフレームと表 3 において正解率が最も低い場合の結果を用いて選手追跡を行った際の再現率と適合率を表 5 に示す。表 5 より、ユニフォームの色成分の推定結果の違いによって、選手追跡の精度に大きな変化がないことが確認できる。

ところで、表 5 の結果には、過検出と未検出が存在する。以下では、それらについて分析する。

過検出：

ユニフォームが、赤色など肌と類似する色成分である場合、ユニフォームの色成分の推定精度が低下し、選手の顔や足を過剰に検出する。この問題は、最終的な追跡結果から顔や足の領域を除去する処理を導入することで解決が期待できる。

未検出:

サッカーフィールドが広範囲に撮影される映像では、遠方に撮像される選手の画素数が少なく、色コリログラムの正確な算出が困難となるため、選手の未検出が発生する。この問題は、選手の移動方向や速度から未検出となった結果を補間する処理の導入によって解決が可能である。なお、より高精細な映像が取得された場合、この問題は発生しない。

以上の改良は、今後の検討課題である。

6. む す び

本論文では、レベルセット法を用いて、サッカー映像に撮像された選手を追跡する手法を提案した。提案手法ではまず、選手追跡を自動で行うための前処理として、選手ユニフォームの色成分をサッカー映像から推定した。次に、提案手法では、サッカー映像に対して三次元のレベルセット法を適用し、各フレームにおける同一の選手を連続した一つの領域として抽出することで、選手追跡を実現した。本文の最後では、実験により、提案手法を用いることで選手追跡が高精度に実現されることを確認した。提案手法を用いることで、初期設定として選手の位置の指定を必要とせず、かつ、各フレームでの処理結果の影響を受けずに選手を高精度に追跡可能となるため、選手の走行経路に基づいた戦術解析や類似場面の検出など、更なる発展が期待される。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(B) (課題番号: 21300030)、及び、日本学術振興会科学研究費補助金特別研究員奨励費 (課題番号: 11J01938) により行われた。また、本研究の実験では、株式会社北海道フットボールクラブからご提供頂いた映像を使用した。心より謝意を表する。

文 献

- [1] 長坂晃朗, 田中 謙, “カラービデオ映像における自動索引付け法と物体探索法,” 情処学論, vol.33, no.4, pp.543–550, April 1992.
- [2] 河合吉彦, 住吉英樹, 八木伸之, “逐次的な特徴算出によるディゾルブ, フェードを含むショット境界の高速検出手法,” 信学論 (D), vol.J91-D, no.10, pp.2529–2539, Oct. 2008.
- [3] 井手一郎, 山本見司, 浜田玲子, 田中英彦, “ショット分類に基づく映像への自動的索引付け手法,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.10, pp.1543–1551, Oct. 1999.
- [4] A. Ekin, A.M. Tekalp, and R. Mehrotra, “Automatic soccer video analysis and summarization,” IEEE Trans. Image Process., vol.12, no.7, pp.796–807, July 2003.
- [5] B. Li, H. Pan, and I. Sezan, “A general framework for sports video analysis and summarization with its application to soccer,” IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, vol.3, pp.169–172, 2003.
- [6] R. Leonardi, P. Migliorati, and Prandini, “Semantic indexing of soccer audio-visual sequences: A multimodal approach based on controlled markov chains,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.14, no.5, pp.634–643, May 2004.
- [7] 望月貴裕, 藤井真人, 篠田浩一, 酒井善則, “シンボル列化したシーンの学習と2種のプレイ種相関度による野球放送映像プレイ種識別,” 信学論 (D), vol.J93-D, no.6, pp.1009–1023, June 2010.
- [8] Y. Ohno, J. Miura, and Y. Shirai, “Tracking players and a ball in soccer games,” IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp.147–152, Aug. 1999.
- [9] M. Xu, J. Orwell, and G. Jones, “Tracking football players with multiple cameras,” IEEE International Conference on Image Processing, vol.5, pp.2909–2912, Oct. 2004.
- [10] T. Taki, J. Hasegawa, and T. Fukumura, “Development of motion analysis system for quantitative evaluation of teamwork in soccer games,” IEEE International Conference on Image Processing, vol.3, pp.815–818, Sept. 1996.
- [11] O. Utsumi, K. Miura, I. Ide, S. Sakai, and H. Tanaka, “An object detection method for describing soccer games from video,” IEEE International Conference on Multimedia and Expo, vol.1, pp.45–48, Aug. 2002.
- [12] 片岡裕雄, 青木義満, “サッカー映像解析のための遮蔽にロバストな複数選手追跡手法,” 電学論 C, vol.130, no.11, pp.2058–2064, Nov. 2010.
- [13] N. Paragios and R. Deriche, “Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.22, no.3, pp.266–280, March 2000.
- [14] X. Yu, W.H. Leong, C. Xu, and Q. Tian, “Trajectory-based ball detection and tracking in broadcast soccer video,” IEEE Trans. Multimed., vol.8, no.6, pp.1164–1178, Dec. 2006.
- [15] 瀧 剛志, 長谷川純一, “チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用,” 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.8, pp.1802–1811, Aug. 1998.
- [16] 藤村 光, 杉原厚吉, “優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価,” 信学論 (D-II), vol.J87-D-II, no.3, pp.818–828, March 2004.
- [17] H. Kon and M. Haseyama, “Players clustering based on graph theory for tactics analysis purpose in soccer videos,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E90-A, no.8, pp.1528–1533, Aug. 2007.
- [18] T. D’Orazio, M. Leo, P. Spagnolo, P.L. Mazzeo, N. Mosca, M. Nitti, and A. Distanto, “An investigation

into the feasibility of real-time soccer offside detection from a multiple camera system,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.19, no.12, pp.1804–1818, Dec. 2009.

- [19] V. Ngo and J. Cai, “Converting 2D soccer video to 3D cartoon,” IEEE International Conference on Control Automation Robotics and Vision, pp.103–107, Dec. 2008.
- [20] M. Isard and A. Blake, “Condensation - Conditional density propagation for visual tracking,” Int. J. Comput. Vis., vol.29, no.1, pp.5–28, 1998.
- [21] R. Malladi, J.A. Sethian, and B.C. Vemuri, “Shape modeling with front propagation: A level set approach,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.17, no.2, pp.158–175, Feb. 1995.
- [22] F. Flueret, J. Berclaz, R. Lengagne, and P. Fua, “Multi-camera people tracking with a probabilistic occupancy map,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.30, no.2, pp.267–282, Feb. 2008.
- [23] A. Perea, C. Srinivas, A. Hoogs, G. Brooksby, and H. Wen-sheng, “Multi object tracking through simultaneous long occlusions and split-merge conditions,” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.666–673, June 2006.
- [24] L. Zhang, Y. Li, and R. Nevatia, “Global data association for multi-object tracking using network flows,” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1–8, June 2008.
- [25] J. Berclaz, F. Fleuret, E. Turetken, and P. Fua, “Multiple object tracking using K-shortest pathes optimization,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.33, pp.1806–1819, Sept. 2011.
- [26] J. Huang, S.R. Kumar, and R. Zabih, “Image indexing using color correlograms,” IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.762–768, June 1997.
- [27] T. Watanabe, M. Haseyama, and H. Kitajima, “A soccer field tracking method with wire frame model from tv images,” IEEE International Conference on Image Processing, vol.3, pp.1633–1636, Oct. 2004.
- [28] Federation Internationale de Football Association (FIFA), “Laws of the Game 2011/2012,” FIFA, <http://www.fifa.com/mm/document/affederation/generic/81/42/36/lawsofthegame.2011.12.en.pdf>, Aug. 2011.

(平成 24 年 6 月 3 日受付, 9 月 27 日再受付)



高橋 翔 (学生員)

2008 北大・工・情報工学卒. 2010 同大学院情報科学研究科修士課程了. 現在, 同大学院情報科学研究科博士後期課程在学中. 日本学術振興会特別研究員. 映像意味理解に関する研究に従事.



林 原局

2007 北大・工・情報工学卒. 2009 同大学院情報科学研究科修士課程了.



長谷山美紀 (正員)

1986 北大・工・電子工学卒. 1988 同大学院工学研究科修士課程了. 1989 同大学電子科学研究科助手. 1994 同大学工学研究科助教授. 2006 同大学情報科学研究科教授. 現在に至る. デジタル信号処理及び画像処理の研究に従事.