

LI-009

画像オブジェクト追跡に基づくサッカーオフサイドラインの可視化 Visualization of Offside Lines Based on Video Object Tracking

三須 俊彦[†] 小田原 邦治[†] 高橋 正樹[†] 合志 清一[†] 宮越 肇[†] 藤田 欣裕[†]

Toshihiko Misu Kuniharu Odawara Masaki Takahashi Seiichi Gohshi Hajime Miyakoshi Yoshihiro Fujita

1. まえがき

バーチャルスタジオ技術をはじめ、実写映像に連動したCGを用いて、わかりやすい放送番組コンテンツを作成する試みが広く行われている。特に近年は、水泳の世界記録線表示やアメリカンフットボールのファーストダウンライン表示など、スポーツ番組における応用例も少なくない。但し、その殆どは静的な図形（広告など）や、事前に既知の情報（世界記録など）、或いは現場で手動入力可能な程度の動的情報（ファーストダウンライン位置など）の可視化に留まっている。一方、画像情報に基づくスポーツ選手の追跡 [1][2] やシーン解析 [3] の研究も盛んである。しかし、時々刻々変化する動的情報をオブジェクト抽出技術を利用して実時間検出し、実写映像に合成する技術は、その演出方法も含め未だ研究段階にある。本稿では、映像からのサッカー選手抽出に基づいた実時間オフサイドライン表示システムについて報告する。

1.1 オフサイドライン

サッカー競技におけるオフサイドラインとは、守備側の後方から2人目の選手位置を通りゴールラインに平行な仮想ラインである（厳密にはボールが2人目の位置よりもゴール寄りである場合はボール位置がオフサイドライン位置となるが、かみ今回はこの場合を無視する）。

そこで、本手法では上手及び下手の各ペナルティエリア付近を2台の固定センサカメラ（HDTVカメラ出力をSDTVにダウンコンバートして使用）により撮影し、画像中から選手を抽出・分類することで守備側後方2人目の選手位置を検出することとした。

2. システム全体構成

図1に本システムの全体構成を示す。図2は、その実物画像である。本システムでは、イーサネット経由で接続された3台の計算機（図2(a)）を使用し、うち2台（検出PC）によってセンサカメラ（図2(b)）の映像からオフサイドライン検出を、残り1台（作画PC）によって検出結果に基づく作画を行う。作画PCへは、図2(c)に示す放送用カメラを搭載したエンコーダ付き雲台からのデータ（パン・チルト角）及びレンズエンコーダからのデータ（ズーム・フォーカスリング回転角）が入力される。この雲台・ズームデータに基づきオフサイドライン座標情報を投影変換して作画することにより、放送カメラの操作に連動したスーパー表示を生成することができる。

なお、検出PCにおいては所要処理時間を考慮して、映像のコマ落としにより約10Hzで実時間処理を行うこととする。一方、作画PCは、検出結果を適応的な時間内外挿処理により約60Hzにアップサンプリングし、フィールドレートでの作画を行う。検出及び作画処理により発生する約0.37秒の時間遅延は、放送用カメラ映像をフレームディレイに通すことで補償する。

3. オフサイドライン検出

図1に示すように、検出PCでは、オブジェクト抽出、オブジェクト追跡、及びディフェンダ検出の各処理を行う。図3は検出PC上で実行されるソフトウェアのGUIで、各処理の制御や検出結果の確認のために使用される。

3.1 オブジェクト抽出部

オブジェクト抽出部は、クロマキー法もしくは背景差分法により、芝生領域から選手領域のシルエットを抽出する。図4（左）にオブジェクト抽出部の構成を示す。

(1) クロマキー法によるシルエット抽出

まず、センサカメラからの映像は、図3のブロック9のフレームメモリに取り込まれ、図3（上）の画像ビューワ上に表示される。ここで、背景領域をマウスドラッグにより指定すると、その色情報がルックアップテーブル（ブロック14）に記憶される。ブロック15のクロマキー処理により、シルエット画像が求められる。本システムでは、シルエットの抽出状況をビューワで確認しつつ、背景色の設定をマウス操作によりいつでも変更することができる。

(2) 背景差分法によるシルエット抽出

一方、背景差分法による場合には、選手の映っていない背景画像が必要である。本手法では、ブロック11のメモリに記憶された最大11時点の過去の画像群から、背景画像を生成することとした。すなわち、各画素位置に対しブロック11を時間方向に走査して画素

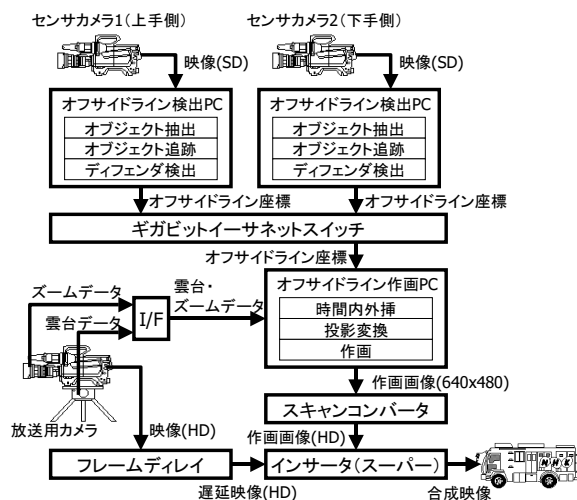


図1: システム全体構成

[†]日本放送協会, NHK



(a) 計算機及び映像合成機器



(b) センサカメラ



(c) 放送用カメラ

図 2: 本システムの構成機器

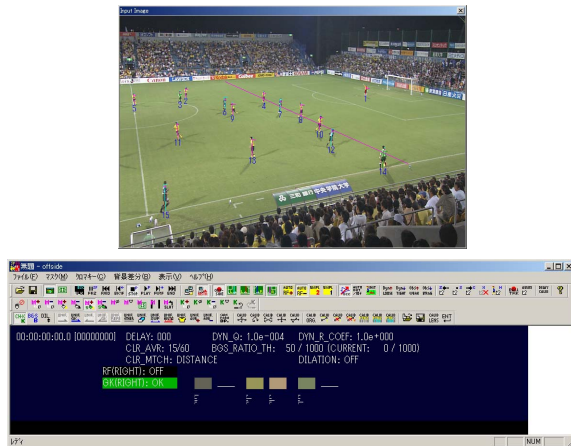


図 3: オフサイドライン検出 GUI

毎のメディア処理を行うことで背景画像を生成する。ブロック 16 において、入力映像と背景画像の差分・閾値処理を行うことで、シルエット画像が生成される。

なお、ブロック 11 への画像登録は、定期的に自動実行されるほか、GUI 経由で手動実行することも可能である。また、ブロック 23 で評価されるシルエットの抽出状況に応じて背景更新を適宜自動実行するため、照明変動にも追従することができる。

3.2 オブジェクト追跡部

オブジェクト追跡部は、オブジェクト抽出部で生成されたシルエット画像から個々の選手を抽出し、時間方向に追跡しつつ、そのワールド座標を算出する。追跡処理及び画像座標からワールド座標への変換には、拡張カルマンフィルタを用いることとした。

まず、後述の拡張カルマンフィルタで予測された各選手の位置（ブロック 25 で画像座標に変換）に基づき、シルエットの各連結領域に対しラベリングを施す（ブロック 24, 31）（領域が新規に出現した場合は新たな ID を付与する）ことで、前フレームにおける ID と現フレームにおける各領域との対応付けを行う。各 ID の領域の重心画像座標は、後述の拡張カルマンフィルタの観測更新部（ブロック 33）へ入力される。

各選手の位置は、サッカー場に固定されたワールド

座標系で追跡する。ワールド座標は、 X 軸をタッチラインと平行（上手方向）に、 Y 軸をハーフウェイラインと平行（奥方向）にとり、画像座標は水平右向きに ξ 軸、垂直下向きに η 軸をとった。カメラパラメータ c （パン、チルト、ロール、焦点距離、トラック、ドリ、ブームの 7 パラメータ）による透視変換を $h(c; \bullet)$ とおき、観測（透視変換）及び状態遷移（等速度運動）を次のとおりモデル化する。

$$y(t) = h(c; x(t)) + (\text{観測雑音})$$

$$x(t+1) = \begin{bmatrix} I_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \\ O_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \end{bmatrix} x(t) + (\text{プロセス雑音})$$

$$x(t) = [X(t) \ Y(t) \ \dot{X}(t) \ \dot{Y}(t)]^T$$

$$y(t) = [\xi(t) \ \eta(t)]^T$$

本モデルに基づく離散時間・非線形観測の拡張カルマンフィルタの時間更新及び観測更新の各処理は、図 4 のブロック 29 及び 33 がそれぞれ実行する。オクルージョンの有無によって観測更新のゲインを変化させることで、選手が重なった場合に追跡結果が不安定になることを防いでいる。この拡張カルマンフィルタは、透視投影の逆変換として動作し、各サッカー選手のワールド座標が出力される（ブロック 33 の出力 B）。

3.3 ディフェンダ検出部

ディフェンダ検出部は、オブジェクト追跡部で追跡されている各選手をユニフォームの色によってチーム分類し、注目するチームの守備側後方 2 人目の選手を同定する。当該選手のワールド座標（ X 座標）をオフサイドライン位置とみなし、イーサネット経由で作画 PC へ伝送する。

(1) ユニフォーム色登録

本システムでは、選手のユニフォーム色（平均色ベクトル及び色共分散行列）を GUI によって予め登録する必要がある。登録可能なユニフォームの種類は、(1) 上手側チーム選手、(2) 上手側チーム GK（ゴールキーパー）、(3) 下手側チーム選手、(4) 下手側チーム GK、(5) 審判、及び (6) その他の 6 種類である。登録操作は、図 3（上）のビュー画面でのマウスドラッグにより、各種ユニフォームの選手を各 1 人以上囲み込めばよい（指定方形領域内かつシルエット上にある画素

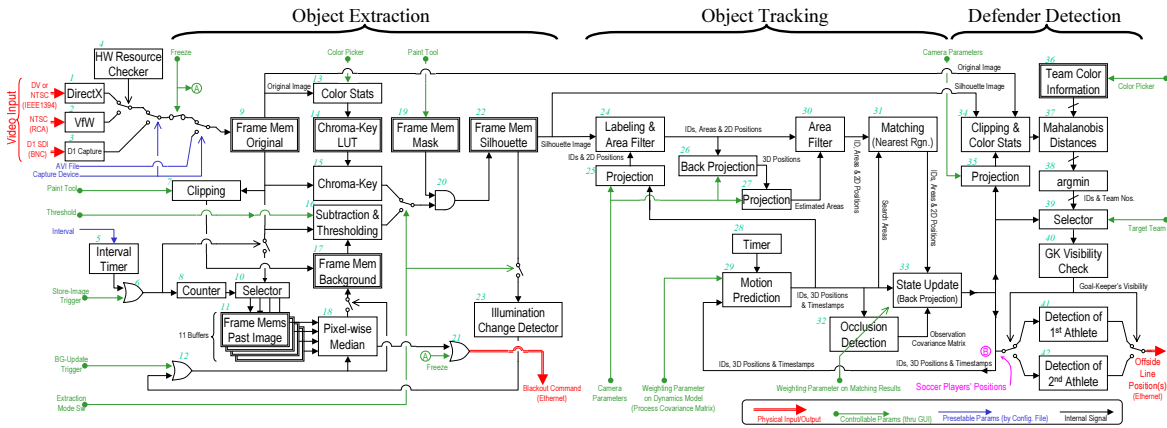


図 4: オブジェクト抽出部・オブジェクト追跡部・ディフェンダ検出部の構成

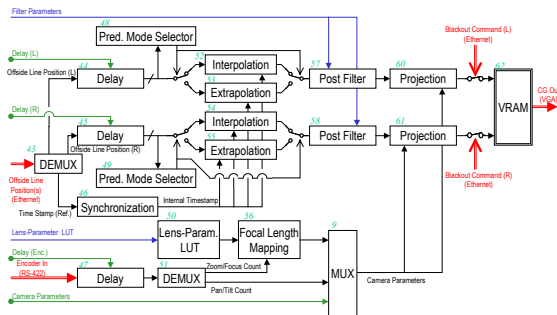


図 5: オフサイドライン作画部の構成



図 6: 時間内外挿の概念図

群の平均色ベクトル及び色共分散行列が算出され、図 4 のブロック 36 に登録される)。なお、センサカメラに映る可能性のないユニフォーム色は登録する必要がない。

(2) 選手のチーム分類

オブジェクト追跡部で求められた各選手の位置とシルエット画像とに基づき、ブロック 34 で当該選手領域内の平均色ベクトルが算出される。ブロック 36 に予め登録された各種ユニフォームの色統計量との距離の比較を行なうことで、各選手の着ているユニフォームの種類をそれぞれ求める(ブロック 37, 38)。なお、ユニフォーム色のばらつきを統計的に考慮するため、距離測度にはマハラノビス距離を用いることとした。

(3) オフサイドライン位置の算出

続いて、注目するいずれか一方のチーム側に所属する選手だけを抜き出し(ブロック 39)、その選手らのワールド座標(X座標)を比較することにより、守備側後方2人目の位置を求める(ブロック 42)。なお、GKは、ゴールポストの影響などにより抽出の困難な場合があるため、GKの抽出悪化時には、検出された守備側最後尾の座標を出力することもある(ブロック 40, 41)。

4. オフサイドライン作画

作画 PC は、検出 PC で求められたオフサイドラインを、放送用カメラのパン、ズーム操作に応じてマッ

ピングし、スーパーインポーズ用の作画を行う。

4.1 時間内外挿部

本システムでは、各検出 PC 及び作画 PC は非同期で動作している。また、検出 PC は約 10Hz のコマ落としてオフサイドライン位置を算出するのに対し、作画 PC は約 60Hz で出力画像を書き換える。

時間的に滑らかな作画を行うため、検出 PC から受信したオフサイドライン座標(受信座標)を一定時間分だけディレイライン(図 5 のブロック 44, 45)に蓄え、受信座標のサンプル間に内挿、サンプル外に外挿を適用し、一定遅延時間で読み出すことによりアップサンプリングすることとした。すなわち、図 6 に示すような約 17msec 間隔で右にシフトする FIFO を作り、以下のとおり動作させる。

- 座標受信時には、受信座標を FIFO 左端に書き込むとともに、現受信座標と過去直近の受信座標との間を線形内挿により補間する。
- 座標非受信時には、カルマンフィルタ(等速度モデル)による予測値を外挿値として FIFO 左端に書き込む。

4.2 投影変換部

本システムでは、放送用カメラのパン、ズーム操作に連動した作画を行うため、図 6 に示すように株式会社昭特製作所様製エンコーダ内蔵雲台 TU-03VR 及びレンズエンコーダを使用して、パン、チルト、ズームリング、フォーカスリングの各回転角を実時間計測する。この計測結果と、予め測量しておいたカメラ設置位置の情報に基づき、オフサイドライン両端点のワールド座標を放送カメラの画像座標系へマッピングする。



(a) GK が映っていない場合 (詰めた画像)



(b) GK が映っていない場合 (引きの画像 A)



(c) GK が映っている場合



(d) GK が映っていない場合 (引きの画像 B)

図 7: 実験結果

4.3 作画部

投影変換によりマッピングされた画像座標を用いて、作画 PC 上に表示されるウィンドウ上にオフサイドラインを作画する。作画サイズは 640×480 画素とした。

5. 実験

本システムの実証のため、競技場横のイントレ (やぐら) に設置したセンサカメラ 2 台と放送用カメラ 1 台を用いてフィールドテストを行った。各センサカメラはそれぞれ各チームのゴールポストからペナルティエリア付近を撮影するように固定している。図 7 にオフサイドラインをスーパーインポーズした放送用カメラ映像の例を示す。いずれのフレームにおいても、後方から 2 人目のディフェンダーの足元に黄色いオフサイドラインが表示されている。また、カメラアングルの変化に連動してラインが作画されていることが確認できる。なお、同図 (a), (b), 及び (d) においては、GK が画像中に映っていないが、センサカメラの画角内には GK が捉えられているため、正しいオフサイドライン位置の検出が可能である。

6. まとめ

本稿では、映像オブジェクト抽出に基づく実時間オフサイドライン表示システムに関し、システム構成、動作、及び実験結果について報告した。本システムは、センサカメラ映像から抽出・追跡されたサッカー選手の座標情報に基づいてオフサイドライン位置を検出し、放送用カメラ映像上にマッピングしてスーパー表示する。実時間画像計測に基づく本システムは、サッカー選手にタグなどを一切装着する必要がないことが最大の特徴である。現在、Jリーグ等の中継に同行して、オンエアに向けた最終調整を行っている。また、個別の選手位置 [4][5][6] や名前 [7]、ボールの抽出結果 [8][9] と組み合わせた新たな映像効果を検討している。

参考文献

- [1] 坂木, 横田, 大野, 鈴木, 有澤: 多視点テレビ放送を用いた映像内のオブジェクト位置の認識と追跡, 信学論, vol. J87-D1, no. 2, pp. 175-187, 2004.
- [2] K. Okuma, J. J. Little, D. Lowe: Automatic Acquisition of Motion Trajectories: Tracking Hockey Players, Internet Imaging V, vol. 5304, no. 5304, pp. 202-213, 2004.
- [3] G. Lashkia, N. Ochimachi, E. Nishida, S. Hisamoto: A Team Play Analysis Support System for Soccer Games, Proc. of VI'2003, S2.3, 2003.
- [4] T. Misu, M. Naemura, W. Zheng, Y. Izumi, K. Fukui: Robust Tracking of Soccer Players Based on Data Fusion, ICPR 2002, vol. 1, pp. 556-561, 2002.
- [5] 三須, 苗村, 境田, 鄭, 金次: 複数情報の融合によるサッカー選手のロバストな追跡法, 信学技報 IE2001-47, pp. 23-30, 2001.
- [6] T. Misu, S. Gohshi, Y. Izumi, Y. Fujita, M. Naemura: Robust Tracking of Athletes Using Multiple Features of Multiple Views, Journal of WSCG, vol. 12, no. 2, pp. 285-292, 2004.
- [7] 三須, 苗村, 高橋, 和泉: オブジェクト追跡と背番号認識の連携による動画像用スポーツ選手同定手法, 情報技術レターズ (FIT2003), vol. 2, pp. 187-189, 2003.
- [8] 高橋, 三須, 合志: オブジェクト抽出技術のスポーツ番組への応用, 信学技報 IE2003-68, no. 383, pp. 1-6, 2003.
- [9] 高橋, 三須, 合志, 藤田: 高速移動オブジェクトの抽出・追跡法に関する一考察, 映情メ学冬大 8-3, p. 83, 2003.