

競泳プール映像における色情報分布を用いた泳者領域抽出

積田 貴幸* 北原 格† 高木 英樹§ 亀田 能成†

*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

†筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

§筑波大学 体育系 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: *s1620804@u.tsukuba.ac.jp, †‡ {kameda, kitahara}@iit.tsukuba.ac.jp, §takagi@taiiku.tsukuba.ac.jp

あらまし 本研究では競泳映像解析として、プールの水面上の色情報に着目した泳者の二段階領域抽出手法を提案する。まず泳者が作り出す水飛沫に注目し、色チャンネルの閾値処理を用いて泳者を含む小領域を生成する。この泳者を含む小領域で自動コントラスト補正を行うことによって、泳者領域の抽出を行う。実際の競技プール映像において、画素ごとに真偽を評価することによって、提案手法の泳者領域の抽出精度を検証する。

キーワード スポーツ映像解析, ホモグラフィ変換, 位置推定, 表色系, 画像処理

Extraction of Swimmer Region Using Color Distribution in Swimming Pool Video

Takayuki TSUMITA* Itaru KITAHARA† Hideki TAKAGI§ and Yoshinari KAMEDA†

*Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

†Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

§Faculty of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: *s1620804@u.tsukuba.ac.jp † {kameda, kitahara}@iit.tsukuba.ac.jp §takagi@taiiku.tsukuba.ac.jp

Abstract This paper proposes a two-stage swimmer region extraction method based on color distribution analysis of pool surface in swimming video. A region of interest that involves swimmer is extract by the color distribution of water splash made by swimmers as the first stage process. Then, by introducing automated contrast adjustment, swimmer region in the region is extracted. The proposed method is evaluated by applying it to real swimming video in which true/false property at each pixel is given manually.

Keywords Sports Video Analysis, Homography Transformation, Position Estimation, Color System, Computer Vision

1. はじめに

近年、スポーツ映像解析の一環として競泳を対象とした泳者解析の取り組みが進められている。競泳映像から得られる泳者情報は、泳者自身に対する今後の目標の設定やトレーニング計画の立案、また、他泳者の特徴把握に有用であるとされている。これらの情報を映像上から取得する研究が行われている[1][2][3]。これらの研究ではプール内外の定められた位置にカメラを複数設置し、その位置を通過する泳者を撮影した映像から泳者の泳速度やストローク等を解析している。こうしたアプローチでは大規模な撮影システムを構築する必要がある。

撮影システムの導入を容易にし、任意の位置に存在

する泳者を解析できるようにするため、プール全体を含むように撮影された映像から自動的に泳者の位置を推定する手法が望まれている。

様々なスポーツの映像解析において、画像処理を用いた試合中の選手領域を抽出する手法が提案されている[4][5][6]。泳者の姿勢を解析する上で、正確な泳者領域の抽出が重要である。このためには、泳者と泳者の周辺で発生する水飛沫等の領域をよく解析する必要がある。

本研究では競泳映像解析として、プールの水面上の色情報に着目した泳者の二段階領域抽出手法を提案する。まず泳者が作り出す水飛沫に注目し、色チャンネルの閾値処理を用いて泳者を含む小領域を生成する。

この泳者を含む小領域で自動コントラスト補正を行うことによって、泳者領域の抽出を行う。

本研究では、競泳プール全体を捉えた映像から各レーンの泳者領域を抽出する。競泳プール映像の撮影手法としては、観客席の最上段にカメラを設置し撮影することで、図1のようにプール領域全体が撮影範囲に含まれるようにする。同一の泳者位置推定法をすべてのレーンに適用できるようにするため、ホモグラフィ変換を用いて各レーン領域の見かけの大きさを等しくする。

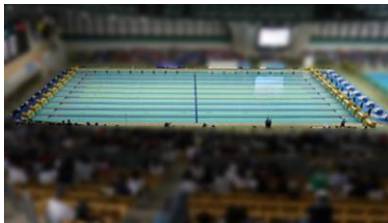


図1 プール映像（プールの周囲はぼかし加工）

2. 関連研究

プール領域を含む水面領域はその光学特性により、照明光源に大きく見た目の影響を受ける。特に、水飛沫の発生する物体を画像上で認識する場合ではこれらの光の影響を考慮する必要がある。水飛沫における多数の水滴が光を乱反射することで、水飛沫が光源に準ずる色合いの領域として抽出される。また、本研究では競泳プールを対象としており、プールの床面が水面越しに透過して観測される。そのため、プール床面に描かれている線の見えには、泳者が通過した際の水泡による遮蔽や波によって揺らぎが発生し、これが泳者誤検出の要因となる。以上に挙げた水面特有の要因を考慮した競泳映像解析が望まれる。

競泳に限らず、プール領域内の人物検出を目的とした映像解析が進められている[7][8]。How-Lung Engら[7]は溺者検出システムを提案している。溺者検出を行うため、プール外のカメラからリアルタイム映像解析を行っている。溺者検出の手法として、背景差分を用

いてプール上に存在する泳者を抽出している。背景画像はリアルタイムで取得されるフレームの前景領域を除去することで生成している。その一方で、正確な泳者領域の抽出や位置推定は目的とされていない。

競泳を含めた水面上のスポーツ映像解析において、泳者領域を抽出する研究が取り組まれている[9][10]。例えば Plestina ら[10]は水球選手の追跡手法として、Fuzzy-SVM クラスタリング手法を提案している。プール領域内における水面、水飛沫、泳者、キャップ領域について色情報に基づく SVM の学習を行う。各領域について Fuzzy クラスタリングを適用することによって、曖昧な領域についても対応することが可能である。しかし、泳者を単位とする抽出方法や位置推定方法については示されていない。

3. レーン上の泳者追跡

3.1. プール領域の変換

撮影した競泳映像に対して、それぞれのレーンに等しく処理を施すため、1レーンあたりの幅が等分できるようにプール領域を射影変換する。このとき、プール領域を変換する前段階の処理としてレンズの歪み補正を行う。

撮影された競泳映像におけるプール領域では樽状の歪みが発生している。歪みを補正する手法として Zheng のカメラキャリブレーション[11]を用いる。

観客席から撮影した映像では透視投影のため各レーンの見かけの大きさが等しくならない。そこで、ホモグラフィ変換を用いて競泳プール映像をプール俯瞰映像に射影変換する。ホモグラフィ変換は変換前の画像から4点、変換後の画像から4点を指定する必要がある。図2に示すようにプール領域の頂点となる4点を指定し、長方形のプール俯瞰画像を生成する。

各レーンを個別に解析するため、レーンカットを行う。レーンカットは、プール領域内のレーンセパレータに合わせて区分する。図3に区分したレーン画像を示す。

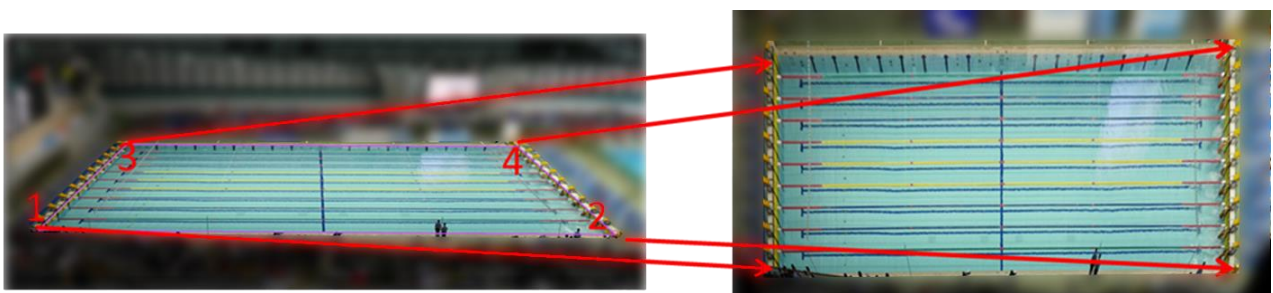


図2 プール領域のホモグラフィ変換(左：元映像，右：プール俯瞰映像)（プールの周囲はぼかし加工）



図 3 レーン画像



図 4 水飛沫領域(赤領域)と推定位置(青点)



図 5 レーン画像中の位置推定領域(左)の逆射影(中央)により取得した泳者を含む注目領域(右)

3.2. 泳者を含む注目領域の抽出

泳者の追跡位置を定めるため、本節では水飛沫の色情報を用いた位置推定手法を提案する。ここでは、後段の泳者領域抽出のために、泳者を含む小領域を抽出する。この小領域のことを以後、注目領域と呼ぶ。

色情報を用いる物体追跡を考える場合、その追跡対象は安定した色分布であることが望ましい。そこで、泳者の周囲で発生する水飛沫に着目する。水飛沫の見かけの色は、周囲から届く光の乱反射として観測されるため、実質上、光源色となる。競泳プールの環境では、光源はほぼ一定で概ね白色である。この水飛沫領域を水面等の領域と区別して抽出するため、適切な画素値で閾値処理を行う。

水飛沫領域の画素を検出するため、RGB 表色系のうち R チャンネル、HSV 表色系のうち S チャンネルを用いて閾値処理を行う。これらの色チャンネルの閾値は色分布ヒストグラム等から実験的に定める。閾値判定により得られる二値化画像から最大面積を持つ領域を抽出する。この領域を水飛沫領域とし、その重心位置を追跡のための推定位置とする。図 4 に抽出した水飛沫領域(赤領域)とその重心位置(青点)を示す。

正確な泳者領域の抽出を行うため、ホモグラフィ変換前の映像から泳者を含む注目領域を取得する。プール俯瞰映像において、水飛沫領域による推定位置を対角線の交点として、泳者を十分含むように矩形を形成する。この矩形の 4 頂点を逆ホモグラフィ変換し、変換前の元映像に投影する。投影した 4 点を包含する最小の矩形から泳者を含む注目領域を抽出する。図 5 に射影変換前の矩形と変換後の矩形を示す。

4. 色分布に基づく泳者領域の抽出

4.1. コントラスト補正による泳者領域の抽出

本節では、安定した泳者領域の抽出のため、まずコントラスト補正を用いて注目領域内の色分布を変化させる。これから、コントラスト補正のパラメータを、

色分布を基に自動で設定する手法について述べる。

図 5 における泳者を含む注目領域から、RGB のうち B チャンネルのみの画素値を取得した画像(グレースケール画像)を生成する。B チャンネルに着目したのは、水面領域、水飛沫領域との色情報に関する対比から B チャンネルがその分離に有効であると判断したからである。コントラスト補正範囲の画素値の最大値と最小値を設定することで、補正範囲を調整する。この最大閾値、最小閾値を $maxp, minp$ とすると、コントラスト補正は以下の式で表される。ただし、本稿ではいずれも色分は 256 階調である。

$$I_{con} = 255 (I_{prev} > maxp) \quad (1)$$

$$I_{con} = 255 \times (I_{prev} - minp) / (maxp - minp) \quad (2)$$

$$(minp \leq I_{prev} \leq maxp)$$

$$I_{con} = 0 (I_{prev} < minp) \quad (3)$$

ただし I_{prev} : 補正前の画素値, I_{con} : 補正後の画素値とする。

本研究では泳者を含む注目領域の色分布から最大閾値の推定を行う。閾値推定手法として EM アルゴリズム[12]を使用する。ここでは、画像中のヒストグラムを混合分布として最尤推定を行う。このヒストグラムは、画素値が高めになる水面や水飛沫の領域(水面飛沫領域)と、画素値が低めになる泳者領域の混合で構成される。EM アルゴリズムによって算出された各領域の平均、標準偏差を $\mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2$ とする。水面飛沫領域の分布における μ_1, σ_1 を用いて最大閾値 $maxp$ を

$$maxp = \mu_1 - \sigma_1 \quad (4)$$

として更新する。最小閾値については固定値を用いる。

泳者を含む注目領域についてコントラスト補正した B チャンネルを二値化することで、泳者領域の抽出とする。図 6 に泳者を含む注目領域とその画像中から泳者領域を抽出した結果の一例を示す。

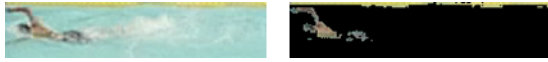


図 6 泳者領域の抽出

4.2. 泳者領域の限定的抽出

図 6 における泳者領域抽出では、泳者以外のレーンセパレータ等も泳者領域の一部として抽出されていることが確認される。プール中のレーンセパレータやプール底の線などは広範囲に誤抽出されうる。そこで、こうした既知の構造物を抽出しないようにするため、Image Inpainting[13]を導入する。

Image Inpainting によって除去するレーンセパレータやプール底の線の領域推定を行う。そのために泳者がいないプール画像を用意する。レーンセパレータも床線も、その周囲に対してステップ上の画素値変化が認められる。そこで、本研究では Canny のエッジ検出[14]を用いてこれらのエッジを検出し、その情報を基に除去領域を確定する。

これらの物体は目立ちやすいよう、色相や彩度が周りと大きく異なる。予備実験から、HSV 色空間での S チャンネル(彩度)でエッジ検出し、その輪郭情報をもとにエッジ領域の拡大を行う。このエッジ拡大領域を二値化により抽出し Inpainting 処理のためのマスクとして用いる。マスク情報を用いて注目領域に Inpainting 処理を施す。図 7 に本処理を施す前の注目領域(左上)、それに対応するマスク(右上)、Inpainting 処理を施された注目領域(左下)、及び最終的な泳者領域抽出結果(右下)を示す。

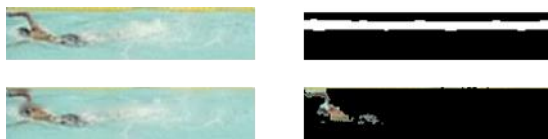


図 7 Image Inpainting の一連の処理過程(左上:泳者の注目領域, 右上:マスク画像, 左下:注目領域に Image Inpainting を施された注目領域, 右下:最終的な泳者領域抽出結果)

5. 評価実験

5.1. 評価手法

5.1.1. 実験に用いる映像の撮影手法

実験に用いる映像はある競泳会場で実施された全日本レベルの競泳大会で撮影を行った。競技場の観客席の最上段から、カメラを固定して撮影する。本研究ではカメラに Panasonic LUMIX DMC GH4 を用い、4K 解像度の映像を 29.97fps で撮影した。競泳試合の泳法として自由形と平泳ぎを実験に用いる。

5.1.2. 泳者領域抽出の検証法

評価実験として泳者領域の抽出精度を検証する。評価対象は、泳者を含む注目領域である。自由形と平泳ぎの 2 泳法について、複数のレーンでの様々な位置の泳者に対し、各泳法で 4 枚ずつ取得する。

検証を行うためそれぞれの注目領域において、目視で泳者領域を得る。具体的には、図 8 に示すように泳者と見なせる領域を赤で塗りつぶすことで、泳者領域の真値とする。



図 8 真の泳者領域

5.2. 領域抽出精度の評価実験

提案手法の有効性を確認するため、抽出された泳者領域を真値と比較する評価実験を行う。手動で取得した真値の泳者領域について、提案手法による領域抽出との画素単位における正誤の対応を求める。真値による泳者領域とそれ以外の領域をそれぞれ True,False とし、領域抽出手法によって抽出された領域とされなかった領域を Positive,Negative とする。両者の対応関係として、真値の泳者領域が抽出されている場合を True-Positive(以下 Tp), 泳者でない領域が抽出されている場合を False-Positive(以下 Fp), 真値の泳者領域が抽出されていない場合を False-Negative(以下 Fn), 泳者でない領域が正しく抽出されていない場合を True-Negative(以下 Tn)とする。自由形の 3 レーン中央付近に存在する泳者の注目領域(図 9 上段)について、4 つの対応関係の画像を図 9 下段に示す。図 9 から抽出精度について考察する。Tp 領域では多くの画素が抽出領域と真値に対応しており、コントラスト補正を用いた泳者領域の抽出が有効であることが示された。Tn 領域についても抽出されなかった領域に、レーンセパレータを含む広範囲の泳者を除く領域が含まれており、Image Inpainting 処理が有効であることが示された。誤抽出の領域である Fn,Fp 領域について考察すると、Fn 領域では泳者に多量の水飛沫が被っている部分が抽出されていないことが確認できる。Fp 領域では除去しきれなかったレーンセパレータ領域の一部が含まれていることが確認できる。

5.3. 抽出精度の比較評価実験

コントラスト補正における最大閾値設定の検証として、異なる泳法やレーン、位置で比較評価を行う。自由形、平泳ぎの各 4 枚ずつ取得した注目領域の泳者抽出精度を 4 つの対応関係を基に表 1 に示す。表 1 の列において、1 列目の数値は各注目領域の画素値の合



図 9 注目領域の抽出の正誤 (上:注目領域, 左下から順に Tp 領域, Fn 領域, Fp 領域, Tn 領域)

表 1 泳法・レーン・位置における比較評価

ROI	pixels	Tp			Fn			Fp			Tn			th
		Pix	Mean	Std	Pix	Mean	Std	Pix	Mean	Std	Pix	Mean	Std	
f-①	7560	5.6	124	28	1.9	174	11	4.0	135	25	88.6	197	19	195
f-②	8815	3.1	99	25	2.4	149	10	4.3	112	27	90.3	164	15	167
f-③	4920	4.8	122	17	4.2	160	18	1.0	142	14	90.1	169	11	159
f-④	5460	1.6	88	14	2.7	124	12	2.7	93	13	93.1	135	13	124
b-①	8686	5.4	99	37	2.5	172	16	3.3	118	25	88.8	187	31	190
b-②	9900	4.1	105	18	5.2	147	12	1.4	117	11	89.3	160	15	148
b-③	5504	5.2	95	27	5.9	166	20	0.3	118	14	88.5	182	15	172
b-④	6138	4.8	70	24	2.7	142	20	0.9	87	19	91.6	158	19	152

計であり, 2 列目以降の Tp,Fn,Fp,Tn の下の数値は左から順に, 当該画素数の注目領域に対する比率(%), 画素値の平均, 標準偏差を表している. 最後列はその注目領域における最大閾値の推定値である. 表 1 の行については, f は自由形, b は平泳ぎを示しており, 3 レーン中の中央付近を①, レーン端付近を②とし, 7 レーン中の中央付近を③, レーン端付近を④とする. 映像中では 3 レーンは手前側であり, 7 レーンは奥側である.

また, スレッドスコアを用いて各注目領域の評価を行う. スレッドスコアは(5)の式で表され, 表 2 に各注目領域の算出値を示す. 表 2 におけるスレッドスコアが最大となる注目領域と最小となる注目領域とその抽出画像を図 10,11 に示す.

$$Threat\ Score = P_{Tp} / (P_{Tp} + P_{Fn} + P_{Fp}) \quad (5)$$

ただし P は当該領域の画素数である.

図 10 では泳者の姿勢がよく分かるレベルで泳者領域が抽出されていることが確認できる. 図 11 においては, 泳者領域が一部は抽出されているが, 残りは抽出できていない. これは, 抽出できていない泳者の体に水飛沫が多くかかっている, その色分布が本手法で想定している範囲から逸脱したためではないかと考えられる.

表 2 各注目領域のスレッドスコア評価値

ROI	Tread Score(%)
f-①	49.0
f-②	31.3
f-③	48.2
f-④	23.0
b-①	48.0
b-②	38.0
b-③	45.6
b-④	56.8



図 10 スレッドスコア評価値の高い注目領域(1 段目:注目領域, 2-5 段目:Tp,Fn,Fp,Tn 領域)

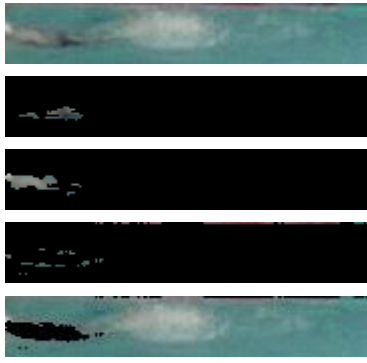


図 11 スレッドスコア評価値の低い注目領域(1 段目:注目領域, 2-5 段目:Tp,Fn,Fp,Tn 領域)

6. おわりに

本研究では競泳映像解析として、プールの水面上の色情報に着目して、泳者領域をプール全体を映した高解像度映像から抽出する方法について提案を行った。提案方法による処理は二段階に分かれており、まず泳者が作り出す水飛沫に注目し、色チャンネルの閾値処理を用いて泳者を含む注目領域を求める。続いて、この注目領域内で、B チャンネルにおける自動コントラスト強調から、泳者領域を抽出する。プール映像中にはレーンセパレータやプール床の線など、泳者領域の抽出の妨げとなるものが存在するので、それらの除去方法についても提案した。

真値を黙して与えた実験から、本提案手法の有効性を議論した。まだ提案手法中には、経験的に値を決める部分が含まれているので、こうした部分を自動的に定めていく方法について、今後研究していく必要がある。

本研究は、JSPS 科研費 15H01825 の助成を受けて実施された。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] 若吉 浩二, “競泳のレース分析～レース分析とその現場への応用～,” バイオメカニズム学会誌, Vol.16, No.2, pp.93-100, Feb. 1992.
- [2] 伊藤 慎一郎, “競泳自由形の水中フォーム解析,” 日本機械学会論文集 B 編 Vol.73, No.734, pp.86-89, Oct. 2007.
- [3] H. Leblanc, L. Seifert, L. Baudry, D. Chollet, “Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers,” International Journal of Sports Medicine, pp.787-797, Sept.2005.
- [4] 古山 孝好, 向川 康博, 亀田 能成, 大田 友一, “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,” 画像の認識・理解シンポジウム研究報告, pp.1412-1419, July 2005.
- [5] 高谷 優樹, ザカリーギャレット, 斎藤 英雄, “ス

ポーツフィールドの平面性を考慮したグラフカット法による選手領域のセグメンテーション,” 画像の認識・理解シンポジウム研究報告, pp.953-959, July 2009.

- [6] V. Reno, N. Mosca, M. Nitti, T. D'Orazio, D. Campagnoli, A. Prati, E. Stella, “Tennis player segmentation for semantic behavior analysis,” Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, pp.718-725, Dec.2015.
- [7] H. L. Eng, K. A. Toh, A. H. Kam, J. Wang, W. Y. Yau, “An automatic drowning detection surveillance system for challenging outdoor pool environments,” Proc. Ninth IEEE International Conference Computer Vision, Vol.1, pp.532-539, Oct.2003.
- [8] L. Fei, W. Xueli, C. Dongsheng, “Drowning detection based on background subtraction,” International Conference Embedded Software Systems, Vol.339, No.1, pp.341-343, May 2009.
- [9] Y. Minato, I. Kitahara, Y. Kameda, Y. Ohta, “Swimmer tracking by single high-definition camera,” 20th Congress of European College of Sport Science, June 2015.
- [10] V. Pleština, V. Papić, “Features analysis and Fuzzy-SVM classification for tracking players in water polo,” WSEAS transactions on computers, Vol.13, pp.528-537, 2014.
- [11] Z. Zhang, “A Flexible New Technique for Camera Calibration,” IEEE Transaction On pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 1996.
- [12] A. P. Dempster, N. M. Laird, D. B. Rubin, “Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm,” Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 39, No. 1, pp.1-38, 1977.
- [13] A. Telea, “An image inpainting technique based on the fast marching method,” Journal of graphics tools, Vol.9, No.1, pp.23-34, 2004.
- [14] J. Canny, “A computational approach to edge detection,” IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, pp.679-698, Nov.1986.