

競泳プール映像における泳者位置とストローク数の推定

積田 貴幸* 宍戸 英彦† 北原 格‡ 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

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

あらまし 競泳プール全体を映した競泳プール映像から、各レーンでの泳者位置とストローク数を推定する画像処理方法を提案する。水面特有のゆらぎや泳者が作り出す水飛沫が画像処理時に問題となる。2種類のマスクも利用した2段階画像処理によって、精度のよい位置推定を実現する。ストローク数の推定は、泳法に特有のテンプレートを用意し、その畳み込みによる相関値の変化を観察することで可能になる。実際の競泳プール映像で検証実験を行い、性能評価結果を示す。

キーワード スポーツ映像解析, 画像処理, 水泳, 泳法

Estimation of Swimmer Position and Stroke in a Swimming Pool Overview Video

Takayuki TSUMITA* Hidehiko SHISHIDO† Itaru KITAHARA‡ 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

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

Abstract We propose a computer vision method to estimate swimmer positions and strokes in a 4K video that covers a whole pool surface. Complex water surface and splash made by swimmers are the problems in this research. We realize fine pose estimation by two-stage computer vision process that uses two mask images. We realize stroke estimation by applying a template matching method where the template is chosen to have unique pose of swimming styles. We evaluated the performance of our proposed method on swimming video captured at a nationwide official game.

Keywords Sport video analysis, computer vision, swimming, swimming style

1. はじめに

競泳はスポーツの中でも科学的トレーニングが待ち望まれている種目である。泳者の状態を観測することがトレーニングの基礎となるが、観測のために何かしらの制約を課すことは競泳では難しい。そのため、我々はプール全体を映した競泳映像に着目した泳者解析を進めている。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。競泳プール内で撮影された映像から取得できる泳者情報として、プール上での泳者の位置、各泳法におけるストロークの回数やフォームなどが存在する。これらの情報をプール内外に設置されたカメラ映像から取得し、泳者の特性を泳法ごとに解析する研究はすでに幾つか行われている[1]-[3]。これらの手法で

は、泳者により近い位置から撮影することで、泳者の動作を詳細に分析することを可能にしている。ただ、公式試合では、プール内外に自由に撮影機材を置くことは認められていないことが多いため、これらのような手法は試合映像の解析に適していない。

様々なスポーツ映像において、画像処理を用いて試合中の選手位置を解析する手法が提案されている[4][5]。選手位置を推定する手法として、選手領域のみを抽出する背景差分法がある[6]。しかし、背景差分に限定した手法を競泳の水面や水飛沫等が存在する映像に適用する場合、誤った領域が抽出される問題がある。

本研究では、競泳プール映像から、各泳者の位置を推定する手法と、ストローク回数を推定する手法について提案する。泳者位置推定では、競泳プール映像における、水面特有の問題や競泳特有の水飛沫の問題に

対応できる，背景差分法と色情報に基づく手法を組み合わせた二段階推定手法を提案する．1段階目では，背景差分を用いて，おおよその泳者位置を推定する．2段階目では，我々がこれまでに提案した泳者抽出手法[7]に基づいて，正確な泳者位置を再推定する．

また，ストローク回数の推定手法として，テンプレートマッチングに基づく手法を提案する．マッチング関連値の変化を観測することでストロークの回数を推定できる．

2. 関連研究

競泳の試合や泳者をカメラで撮影し，その映像を画像処理によって解析する取り組みが行われている．Shaら[8]は携帯用カメラで泳者の移動に追従して，競泳プールを撮影している．その映像における，泳者の動作状態ごとの時間分割と，各レーンの泳者位置推定手法を提案している．この手法における泳者位置推定ではカルマンフィルタを採用し，カメラモーションと泳者の移動に対応した追跡を行っている．競泳プールを部分的に撮影することで，1フレームあたりの対象泳者を詳細に観察できる．しかし，機材等を用いてカメラを動かす必要があり，人的コストの大幅な削減は期待できない．

泳者のストローク回数を計測するため，各泳法の周期的動作を分析する必要がある．映像中から，様々な周期的動作を分析する手法が提案されている．Zecharaら[9]は水槽内に存在する泳者のデータセットから，各泳法のストローク数を検出する手法を提案している．泳法ごとのストロークにおいて，固有の姿勢状態を学習させている．ある姿勢状態が，各フレームでの最適な姿勢情報と一致しているかの判定グラフからストローク数を計測している．この手法では泳者を接近して撮影しているため，高精度な学習と認識が可能である．しかし，撮影位置に関しては水槽に存在する泳者の映像に限られるため，プール全体を撮影した映像に適用することは困難である．

3. 泳者領域抽出に基づく泳者位置推定

3.1. 競泳プール映像の変換

競泳プール全体を撮影した映像から，位置推定を適用するレーンのみの映像に変換する．本研究で対象と

する競泳プール映像の撮影状況を図1に示す．図1の映像は，カメラを競泳プールの横に位置する観客席の最上段に設置し，泳者の進行方向が水平となるように撮影する．以後の説明で，画像中の進行方向（横方向）を x 軸，直交する軸を y 軸とする．

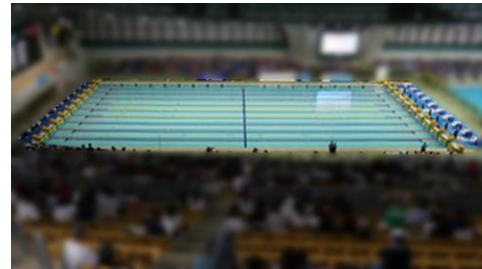


図1 競泳プール映像の例[7]
(※プールの周囲はぼかし加工)

プール内の映像解析を行うことを目的とするため，1人の泳者が存在するレーン領域を切り出す．実際の競泳プールでレーンを区分しているレーンセパレータが，レーン領域の横幅に収まるように切り出す．その切り出したレーン領域を含む画像をレーン画像とする．

本研究では競泳プール映像から，レーン領域を手動で指定する．図2に示すように，対象レーンを挟む2つのレーンセパレータにおいて，両端の座標を手動で選択する．指定した各レーンの4点の座標をレーン情報として保存する．

競泳プール映像からレーン領域を画像として取得する．そのため，レーン領域の横幅と画像上での横幅が一致するように，アフィン変換を行う．あるコースでアフィン変換を行った結果のレーン画像を図3に示す．

3.2. 泳者周辺領域の推定

1段階目の位置推定では，背景差分手法を用いて，泳者が含まれる周辺の領域を推定する．図3に示すようなレーン画像に対して統計的背景差分による前景モデルの抽出を行う．統計的背景差分は混合ガウス分布に基づく背景差分である[6]．フレーム間で変化のある前景領域を統計的に判別して抽出している．あるフレームのレーン画像に対して，統計的背景差分を適用して得た前景を含む画像を図4に示す．



図2 レーン領域の選択

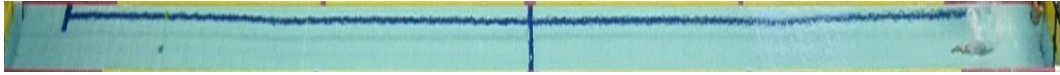


図3 レーン画像



図4 前景の抽出(レーン画像の端を赤線で表示)



図5 床線領域除去のためのマスク画像(レーン画像の端を赤線で表示)



図6 泳者位置に基づく動的マスク画像(レーン画像の端を赤線で表示)



図7 マスク処理を適用して得た前景領域 (レーン画像の端を赤線で表示)

図4では泳者が存在する領域は抽出されているが、その他の領域も抽出されている。これらの領域を除去するため、マスク画像を用いて抽出する範囲を限定する。本研究では2枚のマスク画像を生成する。1枚目はプールの床線領域を除去するためのマスク画像である。床線領域はCannyのエッジ検出[10]に基づいて抽出する。エッジの輪郭情報をもとに画素の膨張処理を適用することで、床線領域を十分含むマスク画像を生成する。2枚目は泳者の移動に従って変化する、動的マスク画像である。レーン画像で泳者の進行に合わせた横方向に沿って境界線を定め、範囲を制限するマスク画像を生成する。範囲の制限は、前フレームにおける泳者の推定位置から、一定の距離となるように設定する。2枚のマスク画像をそれぞれ、図5,6に示す。

図4の前景モデル画像に2枚のマスク画像を利用して、マスキングした画像を図7に示す。図7において抽出された領域に対して、最大の面積を持つ領域を求め、その重心位置に合わせて用意した一定サイズの矩形を図8に示す。図8に示すような泳者を含む画像を今後、注目領域と呼ぶ。



図8 泳者の注目領域

3.3. 泳者領域抽出による泳者位置推定

2段階目の位置推定では、注目領域に対して泳者領域を抽出し、高精度な位置推定を行う。泳者領域抽出

の手法はこれまでに我々が提案した手法[7]を用いる。コントラスト補正と画像補間処理に基づいて、注目領域から泳者領域を抽出した画像を図9に示す。



図9 泳者領域の抽出

抽出した泳者領域から、ここでは泳者の位置を高精度に推定することを目指す。抽出領域を2値化した画像をもとに、注目領域内の泳者位置を推定する。

畳み込み演算に基づくモデルマッチング法を適用して、注目領域内の正確な泳者位置を推定する。畳み込みを行うモデル関数 $g(x)$ は(1)式に示す、正規分布に従う関数を用いる。

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (1)$$

$$(0 \leq x < L)$$

このとき、畳み込みモデルの横幅を L 、注目領域の横幅を w としており、 $0 \leq x < w - L$ の範囲で畳み込み演算を適用する。また、(1)式の平均 μ_x を $L/2$ として、分散 σ_x^2 は泳者の身長に基づく固定値を用いる。

畳み込みの対象とする関数 $f(x)$ を、2値化した領域抽出画像 $I(x,y)$ に正規分布による重みを付けて定義する。 $I(x,y)$ の y 方向に重みを付けた画像 $I_w(x,y)$ は(2)式となる。

$$I_w(x, y) = \frac{I(x, y)}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2)$$

このとき、平均 μ_y は前フレームで推定した位置の y 座標とし、分散 σ_y^2 はレーンの縦幅に応じた固定値とする。この $I_w(x, y)$ と注目領域の縦幅である h とを用いて $f(x)$ を表すと、(3)式となる。

$$f(x) = \sum_{y=0}^{h-1} I_w(x, y) \quad (3)$$

$(0 \leq x < w)$

$f(x)$ に対して、 $g(x)$ を畳み込んだ関数 $C(x)$ は(4)式で表される。

$$C(x) = \sum_{x'} f(x')g(x - x') \quad (4)$$

$(0 \leq x < w - L)$

$C(x)$ が最大となる x 座標を求め、そこから泳者領域の中心位置 $E(e_x, e_y)$ を推定する。推定位置の x 座標 e_x は、 $C(x)$ を用いて(5)式のように算出する。

$$e_x = \operatorname{argmax}_{0 \leq x < w - L} C(x) + \mu_x \quad (5)$$

また、推定位置の y 座標 e_y は(6)式のように算出する。

$$e_y = \operatorname{argmax}_{0 \leq y < h} I_w(e_x, y) \quad (6)$$

4. テンプレートマッチングに基づく

ストローク回数の推定

本研究では、テンプレートマッチングを用いて、競泳プール映像から泳者のストローク回数を推定する。泳法ごとの特徴的な姿勢をテンプレート画像として保存し、その画像と類似した領域をテンプレートマッチングによって探索する。

ストローク回数の推定では、競泳プール全体を一部、拡大した映像を用いる。この映像を以後、スクロール画像と呼ぶ。スクロール画像は対象レーンの泳者を中心として、競泳プール映像の一部を横方向に移動させた画像である。また、1フレームあたりにスクロールする距離は、泳者がレーンの端から端まで移動するときのフレーム数から逆算して、線形的に求めている。

スクロール画像から泳者の一部を矩形で保存する。泳法ごとに泳者が固有の姿勢をとるフレームにおいて、図10に示すように泳者の一部を矩形で囲む。この矩形をテンプレート画像として、以降のフレームでテンプレートマッチングを適用する。このとき、フレームごとに最もマッチングする領域の相関値 R_{max} は(7)式で表される。

$$R_{max} = \max_{\substack{0 \leq x < W - w + 1 \\ 0 \leq y < H - h + 1}} R_{ZNCC}(x, y) \quad (7)$$

ただし、 $R_{ZNCC}(x, y)$ はテンプレート画像とスクロール

画像の正規化相互相関とする。また、テンプレート画像のサイズを $w \times h$ 、スクロール画像のサイズを $W \times H$ とする。

求めた相関値のフレームごとの変化をプロットしたグラフを、後述する真値のストロークを示したグラフと比較することで、ストローク数推定の評価実験を行う。

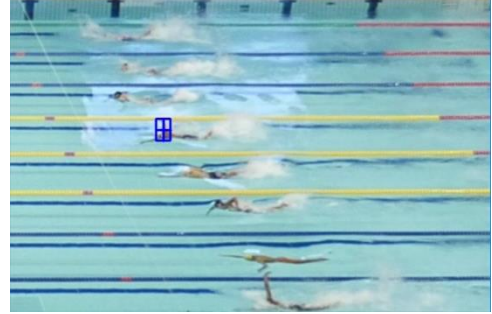


図10 特徴的な泳者姿勢の矩形選択

5. 評価実験

5.1. 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のものである。主催者の許可を得て競技場の観客席の最上段からカメラを固定して撮影した。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。位置推定の評価実験では、自由形、背泳ぎ、バタフライ、平泳ぎの4泳法の試合映像を用いる。位置推定から算出したピクセル座標から(8)式によってセンチメートル単位の x 座標 $P_x[cm]$ に変換する。本稿では第4レーンを実験対象とした。なお、競泳プール映像では手前が第1レーンである。

$$P_x = \frac{50 \times 100}{L(y)} \times e_x \quad (8)$$

ただし、 $L(y)$ は画像上の y 座標における画素単位のプール長である。また、ストローク数推定の評価実験では、自由形と平泳ぎの試合映像を用いる。それぞれの評価実験において、泳者の泳ぐ距離は、50m プールを1往復する100m である。

5.2. 真値データの取得

提案手法で得られるデータとは別に、手動で真値のデータを取得する。50フレーム刻みで、(8)式で変換したセンチメートル単位の x 座標を記録する。また、ストロークの真値データはスクロール画像を用いて、取得する。矩形で囲った泳者領域に基づいて、その姿勢状態となるフレーム番号を記録する。ストロークの真値データにおいて、記録されているフレーム番号の相関値を1、それ以外のフレーム番号の相関値を0とする。

5.3. 泳者位置推定の評価実験

ここでは提案手法による泳者位置推定結果の真値からの差を推定誤差と呼ぶ。各フレームにおける推定誤差のグラフを用いて、提案手法の評価を行う。

図 11 に自由形、背泳ぎ、図 12 にバタフライ、平泳ぎの推定誤差のグラフを示す。それぞれの泳法における推定誤差の平均と分散を表 1 に示す。表 1 からどの泳法においても、平均の推定誤差を 30cm 以内に収めていることが確認できる。

表 1 各泳法における推定誤差の平均と分散

	平均	分散
自由形	20.3	248.1
背泳ぎ	12.3	110.5
平泳ぎ	17.8	183.5
バタフライ	24.0	170.2

5.4. ストローク数推定の評価実験

ストローク数の推定は、真値のグラフとマッチング相関値の変化グラフを重ね合わせることで評価する。

図 13 に自由形、図 14 に平泳ぎについて、それぞれのグラフを重ね合わせたグラフを示す。

自由形では、撮影位置とは逆側にある手を振り上げたときの姿勢をテンプレートとしている。図 15 左に自由形のテンプレート画像を示す。平泳ぎでは、泳者が水面から頭を出す姿勢をテンプレートとしている。

図 15 右に平泳ぎのテンプレート画像を示す。図 13, 14 から両泳法ともに、真値が 1 となるフレームにおいて、相関値が上昇し、真値が 0 となるフレームでは相関値が上昇しないことが確認できる。従って、両泳法ともにストローク数を推定可能な周期的変化が観測できるといえる。

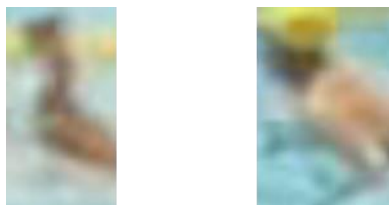


図 15 自由形(左)と平泳ぎ(右)のテンプレート画像

6. おわりに

本研究では競泳プール映像から、各レーンの泳者情

報として、位置情報とストロークの回数を推定する手法を提案した。競泳プール全体を撮影することで、全てのレーンの泳者を解析できるようにした。泳者の位置推定手法として、背景差分と色情報を利用した手法を組み合わせた二段階推定手法を提案し、正確な泳者位置の推定を実現した。また、テンプレートマッチングに基づいて泳者のストローク数の推定を実現した。

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

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, and 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] S. Iwase, and H. Saito, “Parallel tracking of all soccer players by integrating detected positions in multiple view images”, International Conference on Pattern Recognition, pp. 751-754 Aug. 2004.
- [5] J. Liu, X. Tong, W. Li, T. Wang, Y. Zhang, H. Wang, B. Yang, L. Sun, and S. Yang, “Automatic player detection, labeling and tracking in broadcast soccer video”, Pattern Recognition Letters, Vol. 30, No. 2, pp. 103-113, 2009.
- [6] P. KaewTraKulPong, and R. Bowden, “An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-Time Tracking with Shadow Detection”, European Workshop Advanced Video Based Surveillance Systems, pp. 135-144, 2001.
- [7] 積田貴幸, 北原格, 高木英樹, 亀田能成. “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.” 信学技報 MVE, Vol.116, No.496, pp.7-12, 2017.
- [8] L. Sha, P. Lucey, S. Morgan, D. Pease, and S. Sridharan, “Swimmer localization from a moving camera”, In 2013 The International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications, pp. 1-8, Nov. 2013.
- [9] D. Zecha, T. Greif, and R. Lienhart, “Swimmer detection and pose estimation for continuous stroke-rate determination”, The International Society for Optics and Photonics, Electronic Imaging, pp. 830410-830410, Feb. 2012.
- [10] J. Canny, “A computational approach to edge detection”, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, pp. 679-698, Nov. 1986.

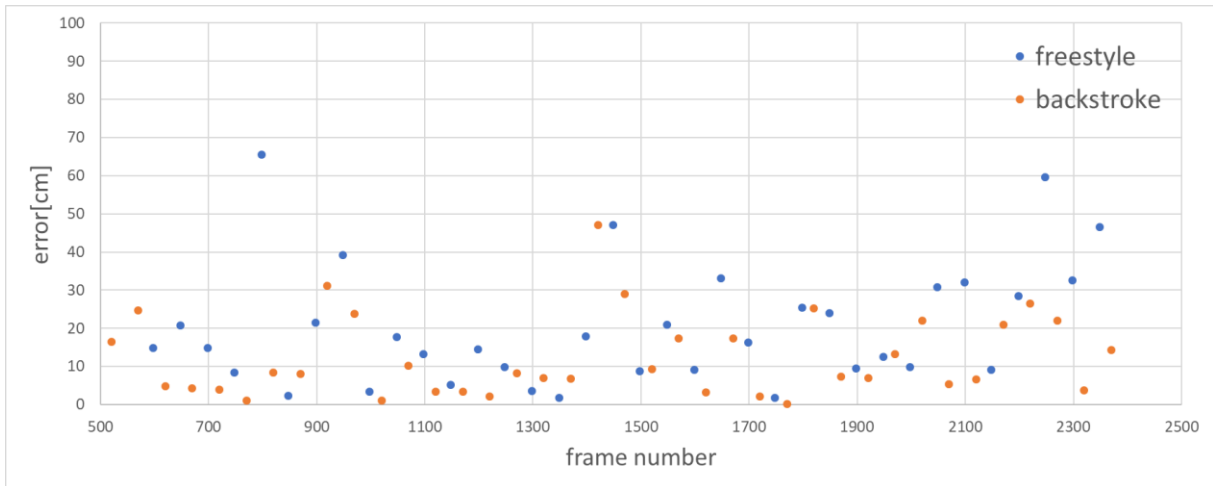


図 11 自由形と背泳ぎの推定誤差グラフ

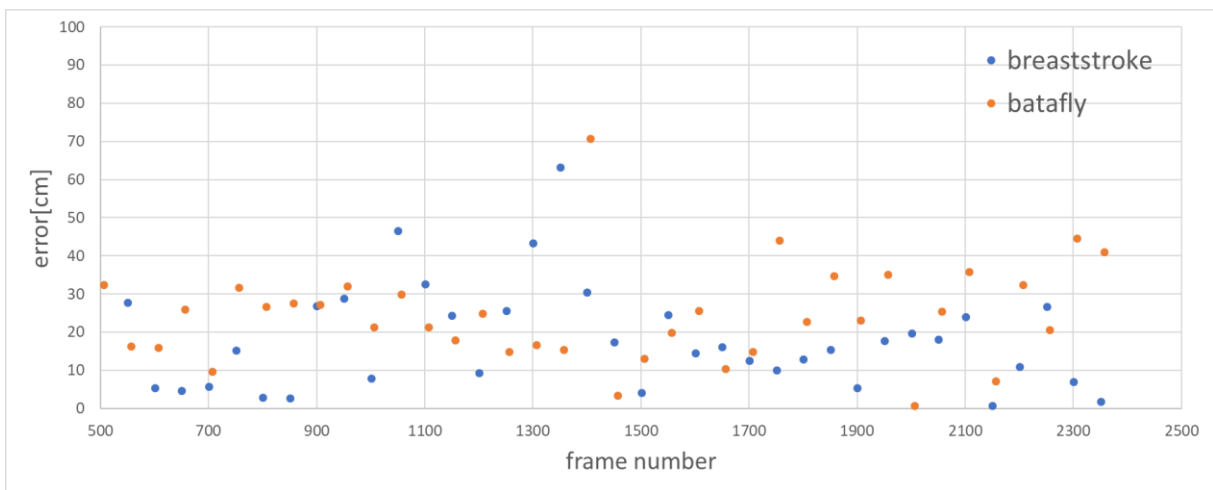


図 12 バタフライと平泳ぎの推定誤差グラフ

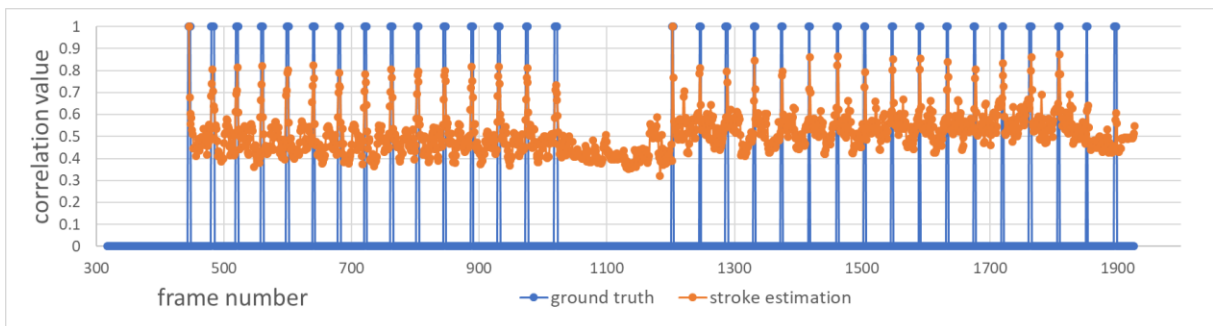


図 13 自由形ストロークの相関値変化と真値との比較

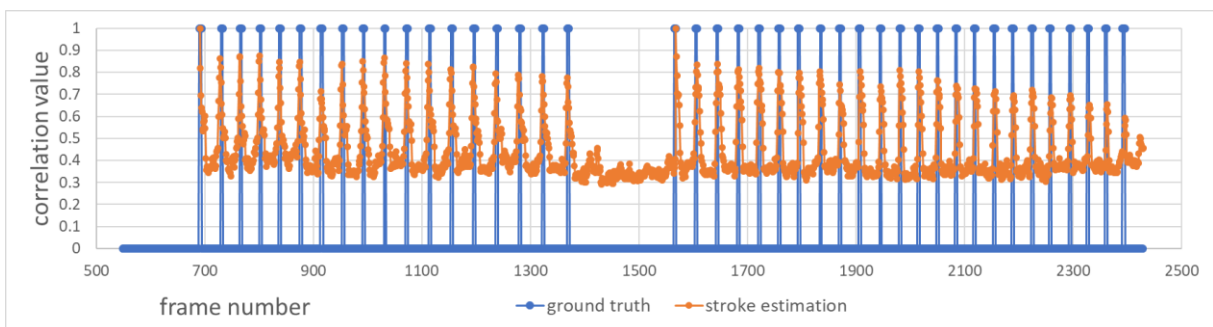


図 14 平泳ぎストロークの相関値変化と真値との比較