

令和元年5月14日現在

機関番号：52601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K13179

研究課題名（和文）ディープラーニングを活用した単一の慣性センサによる競泳パフォーマンス定量化手法

研究課題名（英文）A method to evaluate swimming performance based on deep learning and a single inertial sensor

研究代表者

大前 佑斗 (Yuto, Omae)

東京工業高等専門学校・電気工学科・助教

研究者番号：00781874

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、競技者の腰部に装着された単一の慣性センサとディープラーニングにより、競泳のパフォーマンスを定量化する手法の考案およびそれを組み込んだシステムを開発した。本システムは、競泳の慣性センサデータを入力すると、泳法を自動判別し、一回一回のストロークとターンが開始・終了されたタイミングを自動検出するアルゴリズムが組み込まれている。これは、ランダムフォレスト法とディープラーニングにより実現されている。結果として競技者は、1回1回のストロークやターンに要した時間を、高精度で認識することが可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの一般的なトレーニング現場では、1回1回のストローク（1回目は1.2sec, 2回目は1.3secなど）のパフォーマンスを競技終了後即座に知ることは困難であった。しかし、本研究で開発されたシステムにより、競技者はこれを競技終了後即座に知ることが可能となる。これにより、自らの動作のどこが悪かったのか、知る機会を得ることができるため、パフォーマンス向上に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose an algorithm to evaluate swimming performance and develop a system included it by using a single inertial sensor and deep learning. Algorithms to recognition of swimming style and detect starting and ending timing of each stroke and turn motion are embedded into the system. They are developed by the random forests and deep learning. As a result, swimmers can know each motion performance (each stroke and turn).

研究分野：知能情報学

キーワード：スポーツ工学 機械学習 深層学習

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

競泳は文科省から夏季オリンピックのターゲットA種目に指定されており、日本人が得意とするスポーツ競技の一つである。国際競技力を向上させるには、初級～中級者層の競技力を高め、少しでも多く上級者へと至らせることが重要である。

競泳の競技力を高めるには、自分の動作のどの点に改善箇所があるのか把握することが重要である。多数のビデオカメラやモーションキャプチャを用いて動作を確認するという方法もあるが、初級～中級者程度の競技者の場合には、日常的にこのような環境を用意することは難しい。

また、競技者に幅広く使用してもらうためには、手軽に動作の中から改善箇所を認識できるということが重要である。手軽さを満たすための身体動作の計測器具に、小型な慣性センサがある。センサを装着し競泳を遂行することで、自分自身の身体動作の情報を有する加速度・角速度（以下、センサデータ）を取得することができる。ただし、単にそれらを羅列的に表示するだけでは、有効な情報にはならない。このため、人間がわかりやすい形にセンサデータを要約した上で、競技者へとフィードバックすることが望ましい。

### 2. 研究の目的

そのため本研究では、軽量の慣性センサを1つ用いて、全自動で泳動作（個別のストローク・ターン）のパフォーマンスを個別に定量化する手法の考案を行い、当該手法が導入されたシステム開発を行う。本手法が完成することで、競技者は僅かな時間で自身の競泳に対するパフォーマンスを、個別の泳動作単位で把握することが可能となる。

### 3. 研究の方法

本システムを使用するために、競技者は腰部に慣性センサを装着し、任意の競技（クロール、背泳ぎ、バタフライ、平泳ぎ）を遂行する。これにより得られたセンサデータをシステムに入力すると、(A)泳いだ種目、(B)個別ストロークの開始・終了タイミング、(C)ターンの開始・終了タイミングが、機械学習モデルにより自動判別される。そして、競技者に対し、個別動作に何秒要したのか出力する。本手法の構築には、2015年10月に競泳部に所属する大学生19名から得られたセンサデータを使用した。

### 4. 研究成果

#### (1) 各処理を実現するアルゴリズム

##### ① 泳法判別器の構築

はじめに、入力されたセンサデータから泳法を自動判別する手法について言及する。まず、入力されたセンサデータを、時間領域特徴量（平均、分散、歪度、尖度、最大、最小）と周波数領域特徴量（周波数領域エントロピー）に変換する。この特徴量に対し、ランダムフォレスト法を利用して4泳法（クロール、背泳ぎ、バタフライ、平泳ぎ）を自動判定するアルゴリズムを構築した。学習に使用しなかったテストデータで精度評価（F値）を行なった結果、クロール100%、バタフライ96.5%、平泳ぎ95.7%、背泳ぎ100%、4泳法平均98.1%の精度が得られた。以上より、高精度で泳法を自動判別する手法を考案できた。

##### ② ターン開始・終了タイミングの検出方法

ターン動作は種目により異なる加速度・角速度波形を示す。したがって、4泳法分の検出手法を構築する必要がある。4-①で示した泳法判別器により泳法が自動的に特定されることから、4泳法分のターン開始・終了タイミングの検出手法を自動的に使い分けすることができる。ターン開始・終了タイミングの検出のために、センサデータの時間領域特徴量と周波数領域特徴量を算出した（泳法判別器で使用した特徴量に加え、中央値を追加した）。また、ランダムフォレスト法により当該アルゴリズムを構築した結果、ターン開始地点についてはクロール0.22秒、バタフライ0.32秒、平泳ぎ0.13秒、背泳ぎ0.24秒、終了地点についてはクロール0.42秒、バタフライ0.42秒、平泳ぎ0.30秒、背泳ぎ0.12秒の平均誤差でタイミングを検出できることがわかった。

##### ③ ストローク開始・終了タイミングの検出方法

最後に、ストローク開始・終了タイミングの検出について述べる。ここでは、3軸加速度・3軸角速度波形の時間・周波数領域を入力とするディープラーニングを使用した。その結果、クロール0.13秒、バタフライ0.17秒、平泳ぎ0.09秒、背泳ぎ0.27秒の平均誤差でこのタイミングを検出できることがわかった。ただし、バタフライと平泳ぎ以外はストローク開始タイミングを検出できない場合が多くあることがわかった。この点は、教師データを増加させる、学習を工夫するなどの対策が必要である。

#### (2) 構築したシステムのプロトタイプ

構築したシステムのプロトタイプを図1に示す。画面右下に、センサデータが格納されたCSVファイルの選択欄がある。ここでファイルを選択し、ボタンを押すと、上部に出力が表示される。左上の白色ボックスには、種目：バタフライ、ストローク1: 1.05秒、ストローク2: 0.97

秒, ターン: 1.98 秒, といった時間を個別動作単位に出力する. これにより競技者は, 自分の動作のどこに改善点があるのか, 競技終了後即座に把握することが可能となる. 右上には波形および個別動作の開始・終了タイミングが表示される. 赤線がストローク, 緑線がターン動作の開始・終了タイミングを意味する.

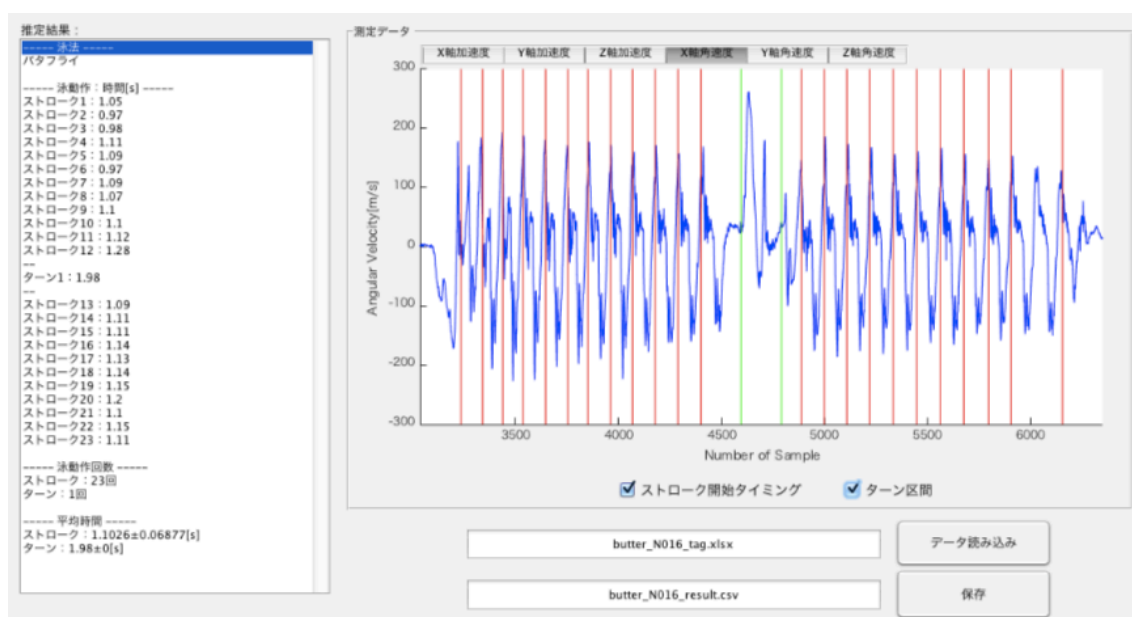


図1. プロトタイプの画面

### (3) システム評価

次に, システムの評価を行なった. このため, 競泳歴4年以上の大学生5名にアンケート調査を実施した. 被験者に対してシステムの概要, 使用映像, 誤差などを説明した上で, 以下のアンケートに回答させた. 回答欄は0:否定~5:肯定の6件法である.

#### 可視性

- (1) リストに表示した動作の推定所要時間は見やすかったですか?
- (2) グラフ上の情報は読み取りやすかったですか?

#### 有効性

- (1) ストロークの所要時間が1回ごとに分かることはトレーニングに有効だと思いますか?
- (2) ターンの所要時間が1回ごとに分かることはトレーニングに有効だと思いますか?

#### 信頼性

- (1) ストローク時間の現状の推定誤差は許容できますか?
- (2) ターン時間の現状の推定誤差は許容できますか?

評価項目は上に示すように, 可視性, 有効性, 信頼性の3項目である. 可視性の平均点は2.6と4.0, 有効性の平均点は4.2と4.2, 信頼性の平均点は2.0と2.4であった. 値の範囲が0から5であることから, 2.5未満であれば否定, 2.5より高ければ肯定となる. 可視性については, 肯定寄りの回答であったため, 見やすいシステムを開発できたと言える. 有効性についてはその平均値が4点以上であることから, 競泳を構成する動作のパフォーマンスを個別に定量化するという試みは, 競技力向上において有効だと考える人が多いことを示している. 一方, 信頼性は2.5未満であることから, より精度を高めていかなければならないという問題も示唆された.

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

① Masaya Mori, Yuto Omae, Takuma Akiduki, Hirotaka Takahashi, Consideration of Human Motion's Individual Differences-Based Feature Space Evaluation Function for Anomaly Detection, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol.15, no.2, pp.783-791, 2019. 査読有

② Yuto Omae, Masaya Mori, Takuma Akiduki, Hirotaka Takahashi, A Novel Deep Learning Optimization Algorithm for Human Motions Anomaly Detection, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol.15, no.1, pp.199-208, 2019. 査読有

③ 小林幹京, 大前佑斗, 酒井一樹, 秋月拓磨, 塩野谷明, 高橋弘毅, 単一慣性センサとアンサンブル学習を活用した競泳中のターン区間推定, 知能情報ファジィ学会論文誌: 知能と情報, vol.31 no.1, pp.597-602, 2019.

④ Masahiro Kobayashi, Yuto Omae, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji, Swimming Motion Classification for Coaching System by using a Sensor Device, ICIC Express Letters, Part B Applications, vol.9, no.3 pp.209-217, 2018. 査読有

⑤ Yuto Omae, Yoshihisa Kon, Masahiro Kobayashi, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji, Swimming Style Classification Based on Ensemble Learning and Adaptive Feature Value by Using Inertial Measurement Unit, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol.21, no.4, pp.616-631, 2017. 査読有

⑥ Yuto Omae, Hirotaka Takahashi, Feature Selection Algorithm Considering Trial and Individual Differences for Machine Learning of Human Activity Recognition, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol.21, no.5, pp.813-824, 2017. 査読有

[学会発表] (計 6 件)

① Masahiro Kobayashi, Yuto Omae, Kazuki Sakai, Takuma Akiduki, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Estimation Method of Turn Section by Ensemble Learning for Swimming Motion Coaching System, The 7th International GIGAKU Conference, 2018.10.08, Niigata (Japan).

② Yuto Omae, Masaya Mori, Takuma Akiduki, Hirotaka Takahashi, A Novel Deep Learning Optimization Algorithm for Human Motions Anomaly Detection, Proceedings of the 13th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2018), p.46, 2018.08.20, Lianyungang (China).

③ Masaya Mori, Yuto Omae, Takuma Akiduki, Hirotaka Takahashi, Consideration of Human Motion's Individual Differences-based Feature Space Evaluation Function for Anomaly Detection, Proceedings of the 13th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2018), p.66, 2018.08.20, Lianyungang, China.

④ 小林幹京, 大前佑斗, 酒井一樹, 秋月拓磨, 塩野谷明, 高橋弘毅, 単一慣性センサとアンサンブル学習を活用したターン区間の推定, 第34回ファジィシステムシンポジウム, 2018.09.03, 名古屋大学 (愛知県).

⑤ 森雅也, 秋月拓磨, 高橋弘毅, 大前佑斗, 身体動作の異常値検知問題における CHI-FS 評価関数の信頼性の検証, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018.03.13, 早稲田大学 (東京都).

⑥ Masahiro Kobayashi, Yuto Omae, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji, Swimming motion classification for swimming motion coaching system by using a sensor device, The 6th International GIGAKU Conference in Nagaoka, 2017.10.07, Niigata (Japan).

[図書] (計 1 件)

① Yuto Omae, Hirotaka Takahashi, The Science of Swimming and Aquatic Activities: Chapter 17. Human Activity Analysis on Swimming Based on Machine Learning, Signal Processing and Inertial Measurement Unit, Nova Science Publishers, 2018.08, ISBN:978-1-53614-028-6.

## 6. 研究組織

### (1) 研究協力者

高橋弘毅 (TAKAHASHI, Hirotaka), 小林幹京 (KOBAYASHI, Masahiro), 酒井一樹 (SAKAI, Kazuki)