

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22878

研究課題名（和文）健康状態の行動生理学的理解に向けた多種の連続的生体データの統合的解析手法の創成

研究課題名（英文）Development of methods for integrated analysis of multiple types of continuous data for behavioural-physiological understanding of health states

研究代表者

小林 洋（Kobayashi, Yo）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50424817

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：概ね健康な普段の状態は、行動生理学の観点では、各種の生体情報のバランスが取れている状態であり、質的に異なる時系列の生体情報を統合的に解析することが必須である。本研究では、原理的に、質的に異なる複数の情報を入力することができ、多種の情報を出力として得ることが可能である情報処理手法を開発し、その生体信号処理へ利用を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した情報処理の実証においては、例として、活動量から心拍数が推定することができる可能性が示唆された。これらの成果は、今後の質的に異なる時系列の生体情報を統合的に解析する手法の構築に活かされていく。さらには、生体計測データを用いたリアルタイムの自動健康診断などでの健康促進や予防検診等において、普段の状態に体調を維持するための健康支援技術に繋がっていく。

研究成果の概要（英文）：A generally healthy normal state is, in terms of behavioural physiology, a state in which the various types of biosignal are balanced. Therefore, it is essential to analyse qualitatively different time series data of information in an integrated manner. In this study, an information processing method was developed that, in principle, can input multiple qualitatively different types of biosignal and obtain multiple types of information as output. Its use in biosignal processing was also verified.

研究分野：医用システム

キーワード：生体情報処理

### 1. 研究開始当初の背景

高齢化に伴い、医療介護費などの削減が求められている。これらは Society 5.0 の基本計画でもあり、その解決策として生体計測データを用いたリアルタイムの自動健康診断などでの健康促進や予防検診をすることが掲げられている。現在、生体計測データを用いた critical な病気や疾患（癌や心疾患）の予防を目指した研究開発は多く実施されており、それらに直結する単一の生体データを解析することが多い。体調が優れない状態で労働や活動を行うこと（Presenteeism）の経済的損失が高いことが知られている一方、概ね健康な普段の状態に体調を維持することに関する研究は少ない。

健康支援に活用するためには、生体データの変化の過程を捉える必要があるため、連続的な生体データの活用が望ましい。そこで、多種の連続的な生体データを統合的に解析し、定量化する解析技術を構築することを目的として研究を実施した。

### 2. 研究の目的

概ね健康な普段の状態は、行動生理学の観点では、各種の生体情報のバランスが取れている状態であり、質的に異なる時系列の生体情報を統合的に解析することが必須である。また各生体情報は非線形性が強く、相互に影響を与えるため、数式を明示的に設定した信号処理で十分な予測精度を得ることは難しい。そこで、本研究では、多種の時系列生体情報の予測手法として、リザバコンピューティング(図1)による生体信号処理の研究を実施した。リザバコンピューティングは、非線形力学系を中間層とする機械学習の手法であり、出力層のみ学習するため学習コストが低く、時系列データのオンライン学習・情報予測と相性がよい。原理的に、質的に異なる複数の情報を入力することができ、多種の情報を出力として得ることが可能である。本研究においては、生体信号処理に後述する MSS モデルを中間層とするリザバコンピューティングを利用し、その妥当性を検証した。最終的には、多種多様な生体信号を解析することを目的としているが、本研究においては、その前段階として、1入力1出力でのコースケースで、本手法を検証した。

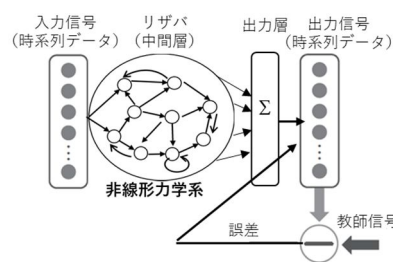


図1 リザバコンピューティングの概念図

### 3. 研究の方法

リザバコンピューティングの中間層の力学系には、Hauser らの研究(引用文献[1])を参考に、ソフトマテリアルの変形を、数値計算として、MSS (Mass-Spring-System) モデルを利用して実装した(図2)。MSS は、変形を複数の質量とそれをつなぐバネとダンパで表したものであり、バネとダンパ部分に任意の特性を設定することが可能である。入力情報は、スケーリングした後に、ノードへの外力として設定した(このように入力を設定するため、原理的に、入力を複数かつ多種にすることが可能である)。リザバの状態として、ノード間の距離群を利用した。リザバ状態(ノード間の距離群)に重みをかけて足し合わせることで、出力情報を取得した。学習では、この重み係数のみ変更し、最小二乗誤差が最も小さくなるように学習した。このような手法のもと、ノードとケーブルのトポロジー、各ケーブル部分のバネとダンパ係数、入力ノードをランダムに設定した。ランダムに設定された様々なパラメータのモデルを利用して推定を行い、その中で最も推定精度が高いモデルを採用した。

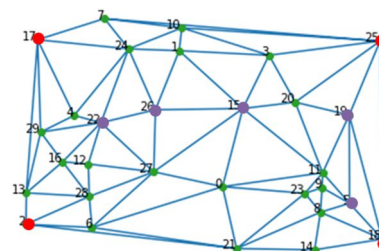


図2 MSS の概念図

本手法の妥当性を、(1)筋電位信号からの関節角度推定、(2)活動量からの心拍数推定という2つのコースケースで検証した。(1)は機械学習の先行研究があるものとして実施し、(2)は本研究目的により合致したものとして検証した。

#### (1) 筋電位信号からの関節角度推定

上述のリザバコンピューティングを使い、筋電位信号から関節角度を推定する検証を実施した。研究協力者の上腕二頭筋付近に筋電位センサを、肘関節にゴニオメータを装着させ、肘の屈曲伸張動作を実施した。その際の、筋電位信号ならびに関節角度を測定した。リザバへの入力を筋電信号とし、MSS モデルを駆動させた時の、すべてのノード間の距離群をリザバ状態とした。実測した関節角度を教師信号とし、学習用データを使い、リザバ状態から出力を計算するための

重み係数を学習した。学習した重み係数を利用して検証用データを算出した。得られた検証用の関節角度と実測値を比較し、その二乗平均平方根誤差(RMSE)を精度として算出した。これらを計18 試行実施した。

#### (2) 活動量からの心拍数推定

上述のリザバコンピューティングを使い、活動量から心拍数を推定する検証を実施した。研究協力者には、心拍数を測れるフィットネストラッカーとアクティグラフを手首に装着させ、日常生活を行っている際の心拍数と活動量を測定した。リザバへの入力を活動量とし、MSS モデルを駆動させ、すべてのノード間の距離群をリザバ状態とした。実測した心拍数を教師信号とし、学習用データを使い、リザバ状態から出力を計算するための重み係数を学習した。学習した重み係数を利用して、検証用データを算出した。得られた検証用の心拍数と実測値を比較し、その二乗平均平方根誤差(RMSE)を精度として算出した。これらを計22 試行実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 筋電位信号からの関節角度推定

筋電位信号から関節角度を推定した結果のグラフを図3に示す。図3では、縦線より左が学習用データ、右が検証用データである。検証用データ部分の関節角度の推定精度は約8degであった。これは、最適化されたニューラルネットワークの推定精度(参考文献[2])の同程度の性能であり、本研究手法の有効性が示された。また、一般的なりザバコンピューティングのフレームワークであるエコーステートネットワークの推定精度である約13deg(参考文献[2])よりも高い結果が得られた。

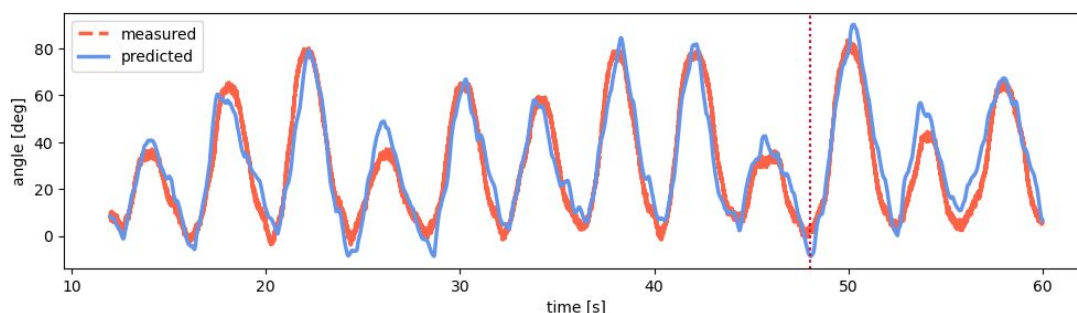


図3 筋電位信号からの関節角度推定の結果

#### (2) 活動量からの心拍数推定

筋電位信号から関節角度を推定した結果のグラフを図4に示す。図4では、縦線より左が学習用データ、右が検証用データである。検証用データ部分の心拍数の推定精度は約10bpmであった。

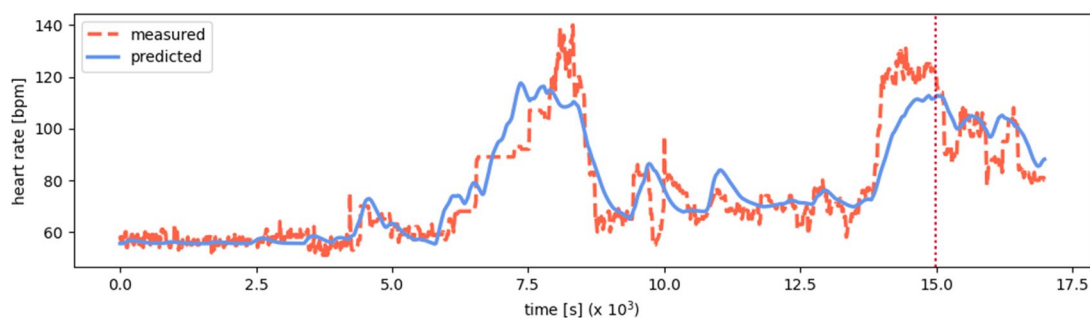


図4 活動量からの心拍数推定の結果

#### < 引用文献 >

- [1] Helmut Hauser, A.J. Ijspeert, Rudolf M. Fuchslin, Rolf Pfeifer, "Towards a theoretical foundation for morphological computation with compliant bodies", Biological Cybernetics 105(5-6), 2011
- [2] Charles R. Day, Edward K. Chadwick, Dimitra Blana, "A comparative evaluation of time-delay, deep learning and echo state neural networks when used as simulated transhumeral prosthesis controllers", 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yo Kobayashi, Yuya Matsumoto, Motoji Kawasaki, Akira Kato, Takeshi Ando, Masanori Nagaoka, Masakatsu G. Fujie	4. 巻 3(3)
2. 論文標題 Development of a Soft Exosuit for Suppressing Essential Tremor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 783-790
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sachine Yoshida, Yoshihiro Kawahara, Takuya Sasatani, Ken Kiyono, Yo Kobayashi, Hiromasa Funato	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Infants show physiological responses specific to parental hugs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.isci.2020.100996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂之上大輝, 小林洋, 田中正夫
2. 発表標題 肘関節角の予測における複数の時系列モデルの比較評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sachine Yoshida, Yoshihiro Kawahara, Takuya Sasatani, Ken Kiyono, Yo Kobayashi, Hiromasa Funato
2. 発表標題 Physiological responses in human infants during hugs by their parents
3. 学会等名 第43回日本神経科学大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sachine Yoshida, Yoshihiro Kawahara, Takuya Sasatani, Ken Kiyono, Yo Kobayashi, Hiromasa Funato
2. 発表標題 Measurement of heart rate variability during hugs in parents and infants
3. 学会等名 VICIS 2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉田 さちね  (Yoshida Sachine)  (90513458)	東邦大学・医学部・講師    (32661)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------