

令和元年6月25日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06156

研究課題名(和文) 運動時系列からの個人特徴の抽出と技能教育支援への応用

研究課題名(英文) Extraction of individual features from human motion data and its applications to skill education support

研究代表者

秋月 拓磨 (Akiduki, Takuma)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40632922

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人の身体動作に内在するクセや習熟度の違いといった個人の特徴(個人性)を身体動作の時系列データから抽出し分析する手法の開発と、その技能教育支援への応用検証を最終目標とする。具体的には、身体動作データの分析方法として(1)相空間上の軌道アトラクタを用いた動作特徴の抽出手法と(2)個人識別に寄与する変数(センサ)の自動選択手法の大きく2点を検討した。これらの結果に基づき、多変量の計測データから、被験者内・間でどの部位にどのような動きの違いが生じたかを明らかにする動作特徴の分析プロセスを示し、歩行動作、および自動車運転における左折動作の分析を行い、提案手法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した身体動作データの分析方法は、モデル構築のための大量の学習データや反復計算が不要なことから、少数の実験データからも効率よく、時間伸縮に対しても安定して時系列データ間の類似度を評価できる。このことから、例えば、事故誘発動作など発生が希な動作や、癖や経験の違いにより個人差の大きな動作に対しても、被験者内/間での動作の違いを比較しその差が生じた要因の推定ができる。その結果、学習者に対して動作改善のための着眼点を与えたり、個人に合わせた教習法を検討するなど、技能教育の効果と効率の向上に寄与できると考える。

研究成果の概要(英文)：In this research, we toward to develop a method to extract and analyze individual characteristics (individuality) such as habit and difference in skill levels, in human body movement from motion data, and apply it to skill education. To construct the extraction method of individual features, we discussed the following two major points: (1) a feature extraction technique using a trajectory attractor on a phase space, and (2) an automatic selection technique of variables constituting the phase space.

As a result, we have shown an analysis process for clarifying what kind of movement difference occurred in which position in and between subjects from multivariate measurement data. In addition, we have confirmed the effectiveness of the proposed method by analyzing the individuality of the walking motion and the left turn motion in the car driving.

研究分野：計測工学

キーワード：アトラクタ 動作特徴 個人性 センサ寄与度 特異値分解 技能教育支援 身体動作データ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

自動車事故において運転操作の誤りは、死亡事故要因の約1割を占め、漫然運転、わき見運転に次いで多い事故要因となっている。しかし、若年者（24歳以下）や高齢者（75歳以上）では運転操作の誤りによる事故割合が増加し、不適切なハンドル操作やペダル操作による事故が多く発生している。これらの事故は、運転技量の不足や加齢にともなう身体機能の低下が原因の一つであると考えられている。そのため、運転者が自身の運転操作の過程を見なおし、自分の運転技量、あるいは身体機能の変化を客観的に把握することが事故予防に有効である。

一方、センサデバイスの小型・軽量化に伴い、装着型のモーションセンサを用いて、運転中の四肢の動き、すなわち「運転動作」を計測・分析する手法が近年注目されている。この方法は、車両側へのセンサ追加が不要なことから、小型・軽量で安価なセンサシステムを構築できる。また、計測したデータを統計解析することで、不安定な姿勢でのハンドル操作や不自然な手の動きといった、初心運転者特有の潜在的事故誘発動作^(多田, 2008)を検出できることが報告されている。しかしながら、ペダルやハンドル操作の方法にも冗長性があることから、運転のスタイルや技量、身体機能の違いにより事故誘発動作にも幾つかのパターンが存在していると予想できる。データからこれらのパターンを見出せれば、運転者の身体制御の特徴を捉えることができ、事故誘発動作改善のための着眼点や教習法の検討など、効果的な安全教育の実現につながる。

この問題に関連して、スキルサイエンスやスポーツ科学の分野では、日常動作やスポーツにおける滑らかな運動において、関節点での時間のズレが重要な意味を持つことが指摘されている。このことから、運転動作に内在する運転者の個人性を評価するには、従来手法における身体動作の空間的な変動（振幅の変化）のみならず、時間的な変動（位相差）も考慮する必要があると考えられる。そこで、申請者らは身体各部の協調動作の様子をデータの位相差と振幅変化のパターンとして表現し、それを力学系理論におけるアトラクタの一種とみなしてモデル化した。さらに、モデルの係数を特徴量とした「記号空間」を定義し、この空間内で動作の類似性を議論できることを明らかにした^{(Akiyuki, 2014) (秋月, 2014)}。一方で、実際の運動データに対して提案する記号化手法を適用するには、相空間、および記号空間の次元数選択や相空間上に展開する時系列データの自動抽出など、いくつかの課題が残されていた。

2. 研究の目的

前述の背景と経緯のもと、本研究課題では、提案手法を実際の身体動作データに適用し、起こりうる問題を洗い出すとともにその解決に向けた基礎検証を行うこと、また、その成果を基に技能教育への応用検証を行うことを本研究課題として設定した。具体的には、身体動作データの分析方法として、1) 相空間上の軌道アトラクタを用いた動作特徴の抽出手法、および 2) 多変量の身体動作データから個人識別に重要なセンサ（変数）を自動選択する手法の大きく 2 点を検討する。またこれらの結果に基づき、3) 計測された身体動作データから、被験者内・間でどの部位にどのような動きの違いが生じたかを明らかにする動作特徴の分析プロセスを示し、自動車運転における左折動作の分析を行い、提案手法の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

以下に本研究で実施した動作分析の方法を説明する。

(1) 相空間上のアトラクタを用いた動作特徴の抽出

実際の身体動作データに対して、アトラクタを用いた運動時系列の記号化手法を適用し、係数間距離が定義された空間（記号空間）内に対して種々のクラスタリング手法を適用することでデータから個人性の抽出を試みる。また、記号空間内のパターン分布の位置と拡がり进行评估することで歩行動作の個人識別を行う。この検証では図 1 に示す事前研究^(Akiyuki, 2016)にて収集した歩行動作データを用いる。歩行動作は、日常生活の中でもっとも基本的な動作で、かつ人それぞれに固有の動き方やクセがある。そこで、従来の統計的な特徴量と提案手法により得られた特徴量とをクラス分離度の観点で比較し、提案手法の有効性を確認する。

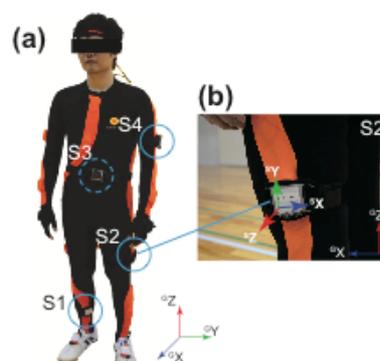


図 1: 装着型センサによる歩行動作計測。

(2) 身体動作データにおける変数選択

身体動作データは、一般に身体各部の動きを多数のセンサを用いて記録するため、多変量の時系列データとなる。その結果、相空間の次元数（運動の記述に必要な状態変数の数）の増加が問題となる。そこで、身体動作における関節間の相関関係に基づき、特異値分解手法を用いた身体動作データの次元削減法の適用を検討する。この検証には、前述の歩行動作データを用いる。また、クラス分離度の観点から、個人識別に寄与するセンサ（変数）を選択する方法を検討する。

(3) 運転動作データの収集とその個人性分析

運転動作のスタイルを一意に定義することは難しいが、安全運転を心がける人であれば、経験を重ねるごとに危険な動作や無駄な動作を排除するよう動作の改善がすすむと考えられる。そこで、各被験者にはドライビングシミュレータ (DS) 上のコースを複数回運転してもらい、習熟の過程をビデオ、および加速度・ジャイロセンサで記録する。またそのための運転動作計測システムを構築する。収集したデータから、経験に対する運転動作の変化を提案手法によって捉えられることを検証する。運転動作において解析区間の開始と終了を明確にするために、特定の動作 (左折動作) に焦点をあてて解析を行う。

4. 研究成果

以下に前章の研究方法を基に得られた研究成果を説明する。

(1) 歩行動作の動作特徴抽出

歩行動作の計測には、装着型の加速度・角速度センサを用い、これを被験者 13 名の四肢や腰部の計 4 カ所に取り付けた。このうち、左大腿部に取り付けたセンサ (図 1 中の S2) を対象に、センサの取り付け位置による影響を受けないよう加速度・角速度データを姿勢角情報に変換する方法を適用・検証した。また、図 2(a) に示すよう変換した姿勢角データの 3 変数を用いて、図 2(b) の相空間、ならびに図 3 の記号空間を構成したところ、個人の判別に加えて、歩行速度などの運動状態の違いを記号空間上で判別できることを確認した。加えて、軌道アトラクタを用いた方法は、従来の統計的特徴量を用いた場合と比べて、クラス分離度の観点から被験者間の動作識別、および運動状態の変化検出に優れていることを示した。

(2) 変数選択手法

歩行動作を対象とし、多変量の身体動作データから個人識別に重要なセンサ (変数) を順位付けする方法を検討した。具体的には、ある特定の動作、たとえば歩行動作に対して、個人間で共通する類似成分と個人に固有な差異成分を特異値分解を用いて抽出する方法 (三嶋, 2011) が知られている。当該手法に基づき、図 4 (a) に示すよう、センサの組合せを様々に変えながら特異値分解により低次元化した空間内でのクラス分離度を求めることで、個人識別に寄与するセンサの組合せを求める方法を提案した。本手法を前述の歩行動作データに適用して、図 1 中の S1 から S4 の 4 個のセンサとその各組合せに対し、クラス分離度を求めることで各センサの歩行識別への寄与を評価し、図 4 (b) に示す結果を得た。本手法を用いることで、身体動作の差異がどの部位 (センサ) に現れるか、またどの部位 (センサ) に着目すべきかを示唆できる可能性を示した。

(3) 運転動作における個人性の抽出

ドライビングシミュレータを用いた被験者実験を行い、図 5 に示すよう「左折動作」を対象に習熟度の変化を捉えることを試みた。しかし、当初予想した結果とは異なり、計測したデータは習熟による動きの変化以上に、運転姿勢やハンドルの持ち替え動作など運転スタイルの違いによる個人差の影響を大きく受けていることがわかった。そこで、実験参加者 8 名分の左折動作の身体動作

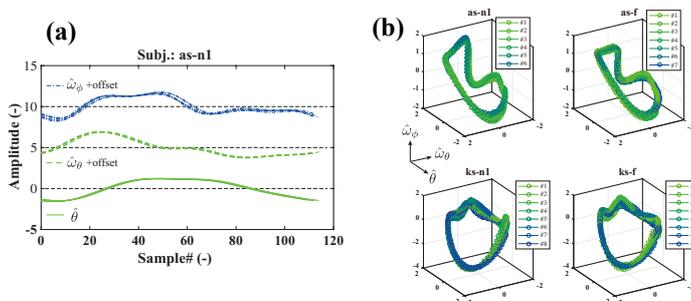


図 2: (a) 左大腿部の姿勢角・角速度データの例。被験者 as-n1 の 6 歩行周期分をプロット。(b) 2 被験者 (as, ks) の 2 歩行状態 (n1: 通常, f: 早足) 分の姿勢情報から構成した構成した相空間の例。

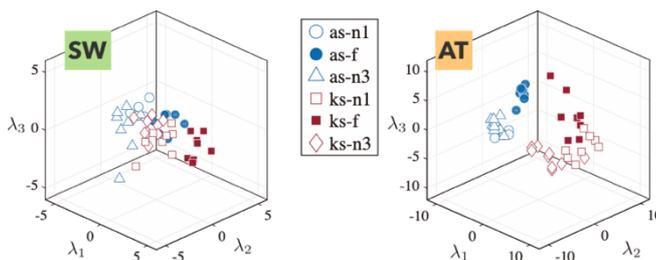


図 3: 図 2(b) の歩行動作データに対応する記号空間。図中の SW はスライディングウィンドウ法により、AT は軌道アトラクタを用いた方法によりそれぞれ得られた記号空間を表す。クラス分離度は SW が 3.68 に対し、AT は 6.97 を示した。

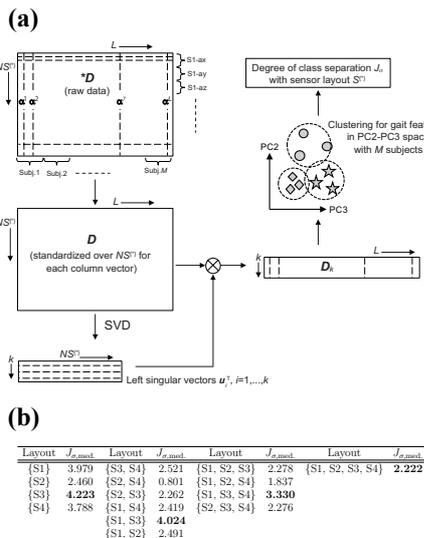


図 4: (a) センサ寄与度算出の流れ。(b) 各センサの組合せに対するクラス分離度の算出結果。

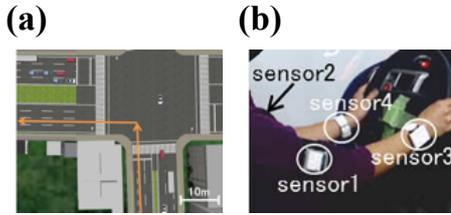


図5：運転動作の計測。(a)左折動作の解析区間。(b)センサレイアウト。

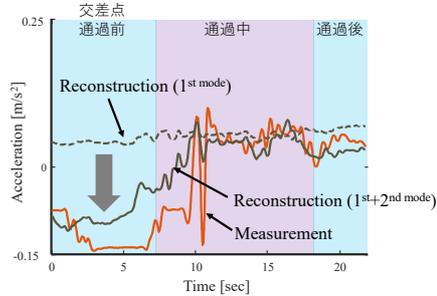


図6：計測データと再構成データの比較による再構成誤差の算出例。

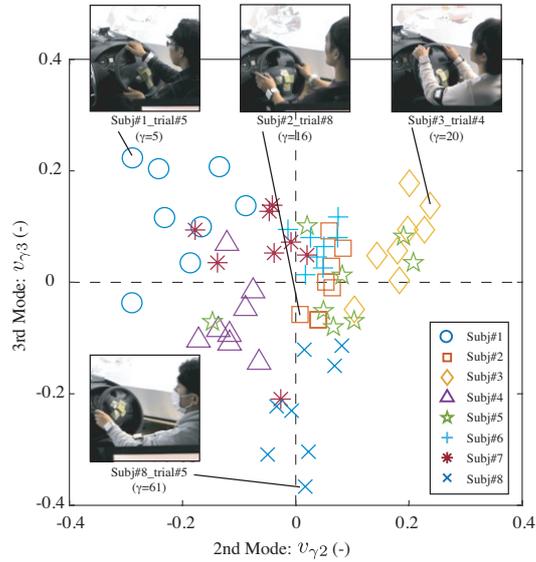


図7：運転動作の差異と分類。8被験者各8試行分の結果を図示。横軸(2nd Mode)は左手の、縦軸(3rd Mode)は右手の保持位置(上下・水平方向)の傾向の違いをそれぞれ反映している。

データに対して、前述(2)の特異値分解を適用することで、全試行で共通する動作と試行ごとに異なる動作の成分を抽出した。加えて、図6に示すよう計測データと再構成データとの比較から、抽出した成分がどのような動作を意味するかを考察した。その結果、図7に示すように、ステアリングの保持位置や持替えのタイミングなど、抽出した特徴成分の意味を実際の動作と対応づけて説明できることを明らかにした。これらの成果は、特定の動作に対して被験者内・間でのどの部位にどのような動きの違いが生じたかを提案手法を用いて評価できることを示しており、効果的で効率的な技能教育の実現のための要素技術の一つになり得ると考える。

(4) 得られた研究成果の学術的・社会的意義

本研究で開発した運動時系列の分析方法は、モデル構築のための大量の学習データや反復計算が不要なことから、少数の実験データからも効率よく、時間伸縮に対しても安定して時系列データ間の類似度を評価できる。このことから、例えば、事故誘発動作など発生が希な動作や癖や経験の違いにより個人差の大きな動作に対しても、被験者内/間での動作の違いを比較しその差が生じた要因の推定ができる。その結果、学習者に対して動作改善のための着眼点を与えたり、個人に合わせた教習法を検討するなど、技能教育の効果と効率の向上に寄与できると考える。

<参考文献>

- 秋月他, 軌道アトラクタを用いた運動時系列の記号化, 第57回自動制御連合講演会, pp.1642-1647, 2014年11月.
- 多田他, 無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法, 信学論, Vol. J91-D, No. 4, pp.1115-1129, 2008年4月.
- 三嶋他, 特異値分解を用いた動作における個人間の類似と差異の抽出, 信学論, Vol. J94-A, No. 4, pp.293-302, 2011年4月.
- T. Akiduki et al., Toward Symbolization of Human Motion Data -Time-Series Clustering in Symbol Space-, ICIC Express Lett., B, Vol. 5, No. 2, pp.387-392, Apr., 2014.
- T. Akiduki et al., Extraction of Human Gait Feature from Acceleration Data, ICIC Express Lett., B, Vol. 7, No. 3, pp.649-656, Mar., 2016.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、及び研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Takuma Akiduki, Zhong Zhang and Hiroataka Takahashi, Feature Extraction for Gait Identification by Using Trajectory Attractors, ICIC Express Letters, vol.13, no.6, pp.529-538, Jun., 2019 (査読有).
DOI: <https://doi.org/10.24507/icicel.13.06.529>
- ② Masaya Mori, Yuto Omae, Takuma Akiduki and Hiroataka 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, Apr., 2019 (査読有).
DOI: <https://doi.org/10.24507/ijicic.15.02.783>

- ③ Yuto Omae, Masaya Mori, Takuma Akiduki and Hiroataka 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, Feb., 2019 (査読有) .

DOI: <https://doi.org/10.24507/ijicic.15.01.199>

- ④ 高橋弘毅, 神尾郁好, 秋月拓磨, 章忠, 特異値分解による個人特徴抽出とその物理的意味検討のためのセンサ寄与の把握, 知能と情報, Vol. 31, No. 1, pp.603–607, Feb., 2019 (査読有) .

DOI: https://doi.org/10.3156/jssoft.31.1_603

- ⑤ Takuma Akiduki, Kento Kawamura, Zhong Zhang and Hiroataka Takahashi, Extraction and Classification of Human Gait Features from Acceleration Data, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol. 14, no. 4, pp.1361–1370, Aug., 2018 (査読有) .

DOI: <https://doi.org/10.24507/ijicic.14.04.1361>

- ⑥ Ikumi Kamio, Hiroataka Takahashi, Takuma Akiduki, Zhong Zhang, Study of Individual Characteristics in Human Motion by Using Acceleration Data, ICIC Express Letters Part B Applications, Vol.7 No.10, pp. 2225–2232, Oct., 2016 (査読有) .

DOI: <https://doi.org/10.24507/icicelb.07.10.2225>

[学会発表] (計 27 件)

- ① 小林一夢, 秋月拓磨, 高橋弘毅, 章忠, 身体動作に着目した交差点左折時における個人特徴抽出に関する検討, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 (2018年11月, 富山国際会議場).
- ② 小林一夢, 秋月拓磨, 高橋弘毅, 章忠, 加速度センサを用いた交差点左折時における運転操作の個人特徴に関する研究, 第61回自動制御連合講演会 (2018年11月, 南山大学).
- ③ 高橋弘毅, 神尾郁好, 秋月拓磨, 章忠, 特異値分解による歩行動作データからの個人特徴抽出とその物理的意味の検討, 第34回ファジィシステムシンポジウム (2018年9月, 名古屋大学).
- ④ 神尾郁好, 高橋弘毅, 秋月拓磨, 章忠, 特異値分解を用いた身体動作における個人特徴の抽出と考察, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 (2017年11月, 静岡大学浜松キャンパス).
- ⑤ 森雅也, 秋月拓磨, 高橋弘毅, 大前佑斗, 身体動作の個人差に対してロバストな特徴量空間評価関数の提案, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (2017年9月, 東京大学).
- ⑥ 小林一夢, 秋月拓磨, 章忠, 身体動作に着目したドライバの個人性評価法の検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2017年5月, ビックパレット福島).
- ⑦ 秋月拓磨, 章忠, 高橋弘毅, 軌道アトラクタを用いた歩行動作における個人特徴の抽出と分類, 第59回自動制御連合講演会 (2016年11月, 北九州市)
- ⑧ 川村健人, 秋月拓磨, 章忠, 高橋弘毅, 神尾郁好, 身体動作における個人特徴の抽出とその分類に関する検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2016年6月, パシフィコ横浜)

[その他]

ホームページ等

・研究代表者 (秋月拓磨) のWEBページ, <http://is.me.tut.ac.jp/akiduki/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 高橋 弘毅

ローマ字氏名: Takahashi Hiroataka

所属研究機関名: 長岡技術科学大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 40419693

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 章 忠

ローマ字氏名: Zhang Zhong

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。