

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月12日現在

機関番号：82401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12995

研究課題名(和文) 対人競技の巧みさの評価方法の開発：制御理論と力学系理論を相補的に用いて

研究課題名(英文) Evaluation method of interpersonal competition skill by complementarily using control theory and dynamical system theory

研究代表者

藤井 慶輔 (Fujii, Keisuke)

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・研究員

研究者番号：70747401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、スポーツ等で相手に勝つ過程に見られる機能的な認知・運動が「対人競技の巧みさ」であると捉え、これを評価することを大きな目的とした。そこで、本研究課題では以下2つの運動制御に関する研究を行った。(1)状況の変化に柔軟に対応して動く運動制御のメカニズムの理解を目的に、移動中のあらゆる時刻において方向転換を行う運動制御モデルを構築して検証した。(2)実際に多くの関節において行われるヒトの運動データから、運動の名称(歩く、走るなど)を考慮して力学情報を抽出する方法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

柔軟に状況に対応するヒトの運動制御は、多くの関節の相互作用により実現されるが、その制御原理については未だに明らかになっていない。そのため、シミュレーションなどによって実現することで理解するという方法や、実際の計測されたデータから理解する方法が効果的である。本研究成果の(1)と(2)はそれぞれ前者と後者に対応し、ヒトの運動制御に関する原理などについて新たな知見を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we considered that the functional cognition and movement observed in the process of competition in sports was "the skill of interpersonal competition", and aimed at evaluating this skill. Actually, the following two studies about motor control were conducted. (1) In order to understand the mechanism of motor control that responds flexibly to changes in situation, we constructed and verified a motion control model that changes direction at any time during movement. (2) We developed a method to extract dynamical information taking into account the label of motions (such as walking and running) from human motion data actually executed by many joints.

研究分野：スポーツ科学、知能情報学

キーワード：運動制御 バイオメカニクス 自律分散システム 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

巧みさとはあらゆる状況で解決策を素早く導き運動を実行することである (Bernstein, 1991)。これまでヒトの動きの科学では、入出力関係が線形、つまりどう動くべきかを知る制御理論に基づき、認知科学・運動生理・メカニクス等で発展してきた (Fujii et al. 2013; 2014; 2015a) が、解決策が時々刻々と変化する対人競技の巧みさの分析は難しい。近年では、この適応的な動きに関して、概念的要素の相互作用の振る舞いからどう動いているかを理解する力学系理論が援用されてきた (Fujii et al. 2015b; 2015c)。

特に、研究代表者らは球技の 1 対 1 をモデル化し、攻撃者が勝つその瞬間が、従来の力学系理論を援用した非線形振動子では表現できないことを示した (Fujii et al. 2015c)。このことは、生理・物理学的な法則に従う要素から構成された身体が、時々刻々と変化する解決策を導き実行する様相 (巧みさ) を理解するために、制御理論と力学系理論を相補的に援用すること、つまり要素の設計と複数の解決策を包摂する枠組みの必要性を示唆している。しかし、従来のモデル (Fujii et al. 2015c) では「選手は意図したように必ず動く」ように設計されており、解決策を導く頭の巧みさとその意図に沿って動ける身体の巧みさは区別できない。そこで対人競技の巧みさを評価するためには、実測データと生理・動力学的に妥当なモデルを組み合わせることで選手の意図を推定し、認知・運動機能を評価する新たな方法論が必要であった。

2. 研究の目的

本研究課題では、スポーツ等で相手に勝つ過程に見られる機能的な認知・運動が「対人競技の巧みさ」であると捉え、これを評価することを最終的な目的に、以下具体的に 2 つの研究目的を定めた。

(1) 従来の運動制御モデルにおける適応性は、様々な計算手法によって再現されてきたが、予測不可能な方向転換のような二足歩行の適応性においては、動的に不安定なマルチリンクシステムであるがゆえに未解明であった。そこで、状況の変化に柔軟に対応して動く運動制御の理解を目的とした研究を行った。

(2) 上記の研究では柔軟な移動運動が可能な切替自律分散型モデルを提案したが、性能を主張する都合上、少自由度での実装にとどまっており、これを実際のスポーツなどの全身多自由度系に応用する際に、想定する次元が膨大になってしまうという問題点が生じた。そのため今年度は、まずは実際の多自由度系の運動データから、ダイナミクスに基づく次元削減手法を開発することを目的とした研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 自律型アクチュエータが中央制御なしに相互作用し、推進、バランス、および脚振りの役割を切り替える、スイッチング適応モデルを提案 (図 1) し、このモデルの実装を行い、検証した。

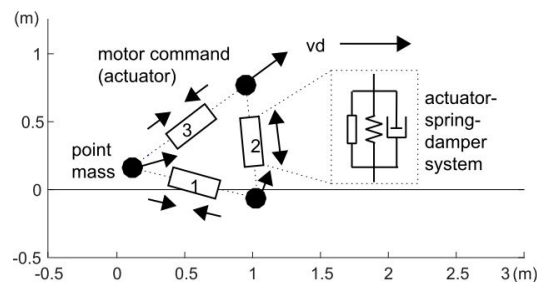


図 1. 研究 (1) の 3 質点移動モデル。詳しくは論文 を参照。

(2) 明示的な事前知識を必要とせずに、データから非線形動的システムの大域的なモード記述を得る方法として、動的モード分解と呼ばれる手法に着目した。ヒトの多関節運動には歩く・走るなどの名前 (ラベル) が付いている場合が多いため、動的モード分解にラベル情報を組み込む定式化を、複数タスク学習の枠組みで行う (Sparse-group Lasso と呼ばれる正則化を行った最適化問題を解く) ことで、ラベル情報を反映した動的モードを抽出する手法を開発し、合成データと身体運動データを用いて検証した。

4. 研究成果

(1) 提案モデルは移動中のあらゆる時刻において方向転換を行う適応的な課題を達成した (図 2)。同時に本研究により、適応的な二脚移動を行う必要条件となる、方向転換能力の評価手法も新たに開発した。本研究は、より普遍的な運動制御を理解するための前提条件として重要であると考えられる。論文は国際学術雑誌において出版された ()。

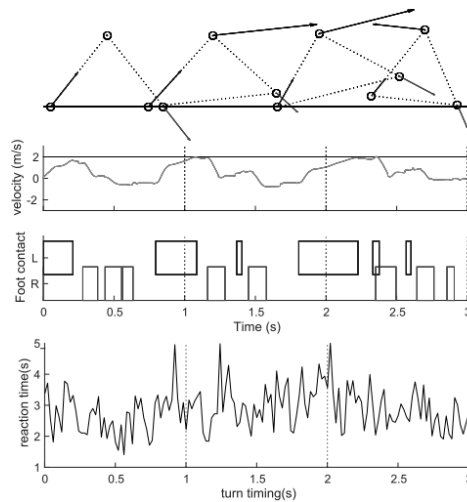


図 2. 直線移動時の体幹速度と左右足の接地、及び方向転換させた時の 2 m 到達時間。
詳しくは論文 を参照。

(2) ラベル特有またはラベルに共通の周波数を持つ多変量時系列(合成)データに提案法を適用した結果、ノイズが大きくても正しい周波数に基づく空間的にコヒーレントな成分を抽出することができた(図 3)。歩行と走行の関節角度データに提案法を適用した結果、歩行と走行にそれぞれ特有の周波数における複数の関節にコヒーレントな成分を抽出することができた(図 4)。論文は国際学術雑誌において出版された()。

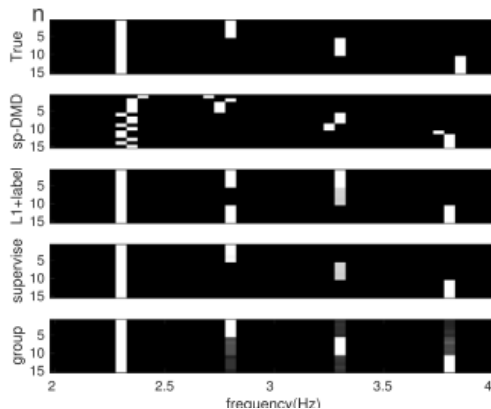


図 3. ラベルに特有または共通の振動子を持つ非線形振動子(最上段)を用いた提案手法(下段 3 つ)の検証。横軸は周波数で縦軸は系列の数(3 種類のラベルが各 5 系列にある)。既存手法(上から 2 段目)に比べて、4 段目の提案手法(教師あり DMD)では正しい周波数を抽出した。詳しくは論文 を参照。

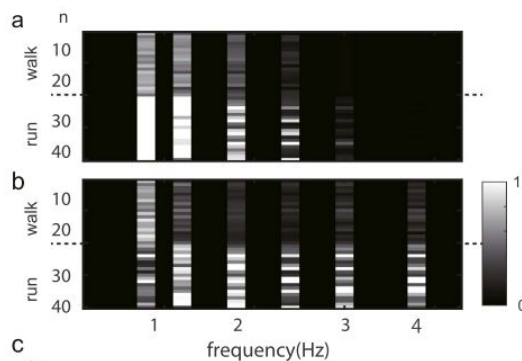


図 4. CMU Mocap データセット内のラベル(歩行および走行)を持つ各系列(垂直軸)における(a)教師あり DMD および(b)グループ DMD の結果。(a)走行では、歩行よりも多様な強い周波数モードが観察された。(b)歩行や走行では、ラベル固有の強い周波数モードが観察された。詳しくは論文 を参照。

柔軟に状況に対応するヒトの運動制御は、多くの関節の相互作用により実現されるが、その制御原理については未だに明らかになっていない。そのため、シミュレーションなどによって実現することで理解するという方法や、実際の計測されたデータから理解する方法が効果的である。本研究成果の(1)と(2)はそれぞれ前者と後者に対応し、ヒトの運動制御に関する原理などにつ

いて新たな知見を与えるものである。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Keisuke Fujii, Yoshinobu Kawahara, Supervised Dynamic Mode Decomposition via Multitask Learning, Pattern Recognition Letters, 122(1) 7-13 2019 査読有

Hiroko Tanabe, Keisuke Fujii, Motoki Kouzaki, Intermittent muscle activity in the feedback loop of postural control system during natural quiet standing, Scientific Reports 7(10631) 2017 査読有

Keisuke Fujii, Yuki Yoshihara, Hiroko Tanabe, Yuji Yamamoto, Switching adaptability in human-inspired sidesteps: A minimal model, Frontiers in Human Neuroscience 11(298) 2017 査読有

Daichi Yamashita, Keisuke Fujii, Shinsuke Yoshioka, Tadao Isaka, Motoki Kouzaki, Asymmetric interlimb role-sharing in mechanical power during human sideways locomotion, Journal of Biomechanics 57 79-86 2017 査読有

〔学会発表〕(計2件)

藤井 慶輔・吉原 佑器・田辺 弘子・山本 裕二 動きやすさ制御を用いた方向転換する二脚移動モデル 第29回目自律分散システム・シンポジウム 2017

Keisuke Fujii, Yuki Yoshihara, Yuji Yamamoto. An attack-and-defend competition as a redundant cognitive-motor system. 46th annual meeting of Society for Neuroscience, 2016.

〔図書〕(計1件)

藤井慶輔・山下大地, 対人競技における学習された動きの評価, 特集 トレーニングを運動学習として捉える, トレーニング科学, 日本トレーニング科学会, 31(1) 23-29, 2019

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/keisuke198619jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 吉原 佑器

ローマ字氏名: Yuki Yoshihara

所属研究機関名: 名古屋大学

部局名: 未来社会創造機構

職名: 特任助教

研究者番号(8桁): 60537025

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 山本 裕二

ローマ字氏名: Yuji Yamamoto

研究協力者氏名: 田辺 弘子

ローマ字氏名: Hiroko Tanabe

研究協力者氏名: 萩生 翔大

ローマ字氏名: Shota Hagio

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。