

氏 名 八木 崇行

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2040 号

学位授与の日付 平成 30 年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 三次元データと機械学習を用いたヒト静止立位における
バランス戦略・戦術の判別法に関する研究

論文審査委員 主 査 准教授 CHEUNG Gene
准教授 稲邑 哲也
教授 杉本 晃宏
教授 古山 宣洋
早稲田大学 人間科学学術院
客員教授 富田 昌夫
藤田保健衛生大学

(様式3)

博士論文の要旨

氏名 八木 崇行

論文題目 三次元ビデオデータを用いたヒト静止立位におけるバランス戦略の機械学習による判別法に関する研究

本研究は、機器の使用により客観的な指標を用いてヒトの静止立位におけるバランス戦略を判別可能にすることを目的とした。機器とは Kinect を指し、三次元ビデオデータが計測可能である。また、バランス戦略は Counter Weight を活性化する(CW)戦略と Counter Activity(CA)戦略の二つに大別される。まず、Klein-Vogelbach(KV)の運動学、さらにバランス戦略の発達の観点からバランス戦略について曖昧さは残っているが、概念的に定義づけた。まず、KV による CW と CA の概念的定義は次の通りである。CW は、受動的に重りの釣り合いによってバランスをとる平衡反応である。また、身体分節は大きく、慣性も大きい。その一方で、CA は能動的な拮抗筋活動による調整でバランスをとる立ち直り反応である。また、身体分節は小さく、慣性も小さい。ここに、全体の方向性を示す戦略という概念を加え、本研究で用いる CW 戦略と CA 戦略を次のように概念的に定義した。CW 戦略は、質量分布範囲を相対的に広くすることで慣性を大きくして、少ない筋活動で身体動揺を小さくし、静的な安定性を優先するバランス戦略とした。一方で CA 戦略は、Dynamic Stabilization を実現し、質量分布範囲を相対的に狭くすることで、慣性を小さくし、微細な調整を筋活動で行い、目的達成を優先する戦略とした。これらに関して、発達の観点からみると、転倒転落をせずに安定できる CW 戦略が先に獲得され、その後、それを利用して動くことで CA 戦略が獲得される。このため、CA 戦略を選択できる場合、CW 戦略も選択可能であるが、CW 戦略が選択できても、CA 戦略も選択可能とは限らない。以上のように、バランス戦略について概念的に定義した上で、バランスに関する先行研究を姿勢、身体動揺の大きさとその変動性、協調性という3つの観点から概観し、バランス戦略判別に有効と考えられる特徴量を抽出した。このような定義、およびそこから抽出される特徴量をもとに、ヒトの静止立位時の三次元ビデオデータを計測し、バランス戦略の判別を行った。第4章では、まず、機械学習における教師データを作成するために、理学療法士による視診でのバランス戦略評価を行い、5群、3群、2群に分類した。5群では、CA 戦略群と CW 戦略の下位分類である股関節伸展群、股関節屈曲安定群、股関節屈曲不安定群、失調症状群に分類した。3群では、CA 戦略群と股関節屈曲不安定群(CW 戦略不安定群)、それ以外の CW 戦略(股関節伸展群、股関節屈曲安定群、失調症状群)に分類し、2群では、CA 戦略群と Not CA 戦略群(股関節屈曲不安定群、股関節伸展群、股関節屈曲安定群、失調症状群)に分類した。第5章で予備的な検討として、Kinect のデータを機械学習に用いるために適切なフィルタリング方法を検討した。その結果、Kalman with Graph filtering(Graph)という手法が適切という結果が得られた。これ以降では、この手法でフィルタリングを行ったデータを使用した。まず、第6章では、フォースプレートと加速度計から得られる特徴量と Kinect から得られる特徴量での機械学習による正解率を

比較した。その結果、Kinect から得られる特徴量のみでの機械学習で最高 85.6%の正解率で判別できた。しかし、本研究で採用している特徴量は、先行研究を参考に姿勢、変動性、協調性の観点から抽出されているため、バランス戦略の判別に際し、これらのうち、どの特徴量が有効であるかを検討する必要がある。そこで、Kinect 内で適切な特徴量の検討を行った(第 7 章)。その結果、本研究で用いた特徴量を全て用いた場合が最も正解率が高くなった。このことは、姿勢という静的な側面を反映する特徴量だけでなく、変動性や協調性といった動的な側面を反映する特徴量を加えることで正解率が高まることを示す。さらに、本研究の目的である機器を用いたバランス戦略の判別の精度について、第 4 章で分類した 2 分類、3 分類、5 分類で比較した(第 8 章)。2 分類では再現率 97.9%、3 分類では 90.4%の正解率となった。5 分類はすでに述べたように 85.6%であった。これらのことから、本研究の目的であった、機器の使用により客観的な指標を用いてヒトの静止立位におけるバランス戦略の判別が可能になったと考える。最後に、患者の継時的変化を評価し、本研究の臨床応用への可能性を探った(第 9 章)。その結果、CW 戦略内での変化を視診評価と一致して捉えることができた。本研究では、臨床場面で行われている視診でのバランス戦略評価を、機器による評価へと応用した。従来、視診によるバランス戦略の評価は理論的には説明をされてきたが、これまで十分には実験的に研究されていなかった。本研究では、機器を使用し、客観的な指標を用いてバランス戦略を 5 分類、あるいは 3 分類、そして 2 分類に判別可能であることを示した。この結果は、経験が不十分な者(初級者)であっても、適切な治療方法を簡易的な評価で選択できるようになるという点において、非常に意義がある。今後の研究により、無自覚に選択しているバランス戦略が CW 戦略になっている場合、運動機能的には CA 戦略も選択できる可能性があるのに使わない、あるいは使えないのか、運動機能的にも CA 戦略を選択できないのか判別できればそれに応じた最適な治療を行える可能性が高くなる。これは、指示の与え方や環境設定などを検討することで判別が可能になると考えている。また、初級者への教育という観点でも、バランス戦略の判別に用いた特徴量から、視診評価で見べき点を提示するなどの発展が見込まれる。次に情報学的な観点から述べる。ヒトの静止立位におけるバランス戦略の判別という未解決な問題を解決するには、教師データの作成や特徴量の抽出には専門家の技術が必要不可欠である。そして、機械学習に専門家の知識、技術を加えることで、情報学的にも未解決となっている問題への足がかりをつくるということを本研究の特徴とした。その結果、先行研究と比較して、同程度の正解率、再現率が得られた。このことから、専門家の知識を特徴量の抽出に導入することで、過去に未解決のままとなっていた問題の解決に役立つことが示唆された。しかし、本研究では、専門家は教師データの作成にも関わっている。この点については、判断に迷い、エキスパートの助言をもらったものを除いた場合、除かなかった場合よりも有意に正解率は低くなったことから、専門家は迷いながらも一定の方向性をもって正しく判別できていたと考えられる。しかし、専門家でなくても、判断ができるか否かについては検討できていない。このため、今後の課題として、初級者が判断したものと比較することで、本当に専門家の知識が教師データの作成という点でも有用であるかを検討すべきである。もう一点、情報学的な貢献として、フィルタリング手法に関連した点を挙げる。本研究で用いた Graph では、身体各部位の相関関係も考慮しており、姿勢保持や動作に関連したフィルタリングではこの点が重要と考えられた。

Results of the doctoral thesis screening

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 八木 崇行

Title
論文題目 「三次元データと機械学習を用いたヒト静止立位におけるバランス戦略・戦術の判別法に関する研究」

“A Study on Classifier Method of Balance Strategy and Balance tactics in Human Quiet Standing Using Three Dimensional Data and Machine Learning”

The PhD candidate Takayuki Yagi presented his PhD defense presentation on July 10th (for Visiting Prof. Tomita and Prof. Cheung) and July 13th (for Prof. Furuyama, Inamura, Sugimoto, Cheung) for 45 minutes each, followed by an extended period of questions and answers. The presentation was structured along the outline of his PhD thesis. Chapter 1 and 2 discuss the importance, history and definitions of balance strategies and tactics for human stand pose. Chapter 3 describes data collection at a stroke rehabilitation clinic using force plate, motion sensors and a Kinect camera that captures 3D depth images. Chapter 4 describes visual evaluation of stand poses by medical experts. Chapter 5 discusses the proposed Kinect-based stand-pose evaluation system, composed of Kalman and graph-based filtering to exploit temporal and spatial correlation for denoising, and a linear support vector machine (SVM) to classify a short frame sequence of stand pose into different categorizations. Chapter 6 through 9 evaluate the effectiveness of different denoising filters, static and dynamic visual features, and accuracy of different pose categorizations.

The main technical questions raised during the examination are as follows. The importance of the differentiation between balance strategies and tactics for human stand pose evaluation (from a rehabilitation viewpoint) should be stressed, and their definitions be more clearly defined upfront. The meaning and the effects of removing boundary cases (where experts may disagree based on subjective visual evaluation) should be discussed more in-depth. The meaning of the three categorizations (into 2, 3 and 5 classes) should be discussed clearly. Given features are hand-picked, the potential benefit of an SVM-based approach over a deep-learning-based approach—e.g., with classification results that can be meaningfully and semantically interpreted—should be highlighted. Given the argued usefulness of fine-grained categorization (e.g., 5 classes), the thesis should focus on tactics as well as strategies of human stand pose. The following new title of the thesis was suggested

“A Study on Classifier Method of Balance Strategy and Balance tactics in Human Quiet Standing Using Three Dimensional Data and Machine Learning”

This means that the problem should be posed formally in terms of tactics in Chapter 1 and 2 in the thesis. The definition of “balance” should be defined formally early in the presentation and thesis. Contributions to the field of informatics should be stated clearly in Chapter 1 and 2 of the thesis. Suggestions were made also for chapter headings. The student will make appropriate changes to the written thesis according to the comments provided

by the committee before submission.

During committee discussion, the panel felt the candidate has demonstrated competency in the chosen field of study (machine-assisted evaluation of human stand pose) and has designed and constructed a system based on a Kinect camera sensor that has demonstrable statistical accuracy. The committee has also felt that the candidate has satisfactorily addressed all the raised issues during the earlier examination. The candidate has a published first-authored paper in a recognized journal, Japanese Journal of Physiological Anthropology, in the chosen field of study. Based on the technical merits demonstrated by the candidate, the evaluation committee has unanimously concluded that the candidate has passed the thesis examination.

(備考)

1. 用紙の大きさは、日本工業規格（JIS）A 4 縦型とする。
2. 1 行あたり 40 文字（英文の場合は 80 文字）、1 ページ当たり 40 行で作成する。
3. 上マージン、下マージン、右マージンは 2 cm、左マージンは 2.5 cm とする。
4. タイトルと本文の間は、1 行空ける。
5. ページ番号は入れない。
6. 出願者（申請者）が論文審査に合格し、博士号が授与された場合は、本紙を総合研究大学院大学リポジトリにおいて、インターネット公開する。

Note:

1. The sheets must be Japanese Industrial Standard (JIS) A4 vertical.
2. Each line shall have approximately 40 characters in Japanese or 80 characters in English, and each page shall have 40 lines.
3. The top, bottom, and right margins must be 2 cm and the left one must be 2.5 cm.
4. Single spacing is required between the title and the text.
5. There must be no page numbers.
6. If the applicant is conferred a doctoral degree, this paper will be published on the SOKENDAI Repository.