

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：14101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560112

研究課題名(和文)力/位置連成動作を教示する力学的インタフェースと連成動作学習戦略

研究課題名(英文)A multi-step instructional strategy for hybrid-movement/force trajectories

研究代表者

野村 由司彦(Nomura, Yoshihiko)

三重大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00228371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：身体が動作すべき位置の軌跡とその時に発揮すべき力の軌跡を学習者に提示する方法について研究した。位置については、例えば、ロボットが人の腕の位置を強制的に動かすことにより知覚させられる。しかし、その時、人は力を出す必要がないので、力は知覚できない。力は外界に対して、能動的に自己の身体を動かしてこそ、自身の慣性力も含め、外界から反動として知覚できるものだからである。本研究は、この規範力と規範位置は同時に提示できないという現実に着目した。すなわち、力/位置連成動作に対する新たな学習戦略として、力/位置両者を個別に切り離して学習者に教示を与え、それに基づいて学習者が個別に体得する戦略について検討した。

研究成果の概要(英文)：This project aims at an instructional strategy for presenting dynamic motion constituted from both body movements and muscle-exerting forces. The movements can be instructed by forcibly moving learner's body parts such as his/her hand. Whereas, the learner cannot perceive the forces necessary to be exerted for accomplishing the movements since he/she need not exert his/her muscle force needed for the movements. The forces are able to be perceived by the form of reactive forces from the outside world only when the learner passively moves his/her body parts. Taking notice of this fact, this project has studied a multi-step motion learning strategy composed from the movement trajectory, force trajectory, and hybrid movement/force trajectory instruction.

研究分野：機械工学

 キーワード：ヒューマン・インタフェース 力学的インタフェース ユーザインタフェース 教育工学 認知科学
 動作教示 動作学習

1. 研究開始当初の背景

例えば、競泳競技としての平泳ぎにおける両手の水掻き動作を考えよう。このとき、各自の身体能力との兼ね合いはあるが、平均的には、腕の位置の動かし方(位置軌跡とよぶ)と腕の力の入力方(力軌跡とよぶ)には、規範となるべき特定の動作パターンが想定される。泳ぎに熟達するには、持久力とか筋力のような要因はもちろんであるが、技術的にはその位置軌跡と力軌跡を再現できるようになる必要がある。そのためには位置軌跡と力軌跡を学習者に提示する必要がある。

2. 研究の目的

位置軌跡と力軌跡を学習者に提示することは可能だろうか？位置については、ロボットが人の腕の位置を強制的に動かすことにより知覚させられる。さらに、認知可能な範囲でゆっくりと動かしてやれば、腕の規範位置の軌跡も知覚できるだろう。しかし、その時、人は力を出す必要がないので、力は知覚できない。力は本人が能動的に、外界、水泳の場合は「水」に対して、何らかの速さで腕を動かしてこそ、自身の慣性力も含め、外界から反動として知覚できるものだからである。したがって、位置軌跡に囚われていたのでは、力軌跡は呈示できない。本研究は、この規範力と規範位置を同時に提示できないという現実を踏まえ、「力/位置連成動作」に対する新たな学習戦略の可能性を探るものである。具体的には、「力/位置両者を個別に切り離して学習者に教示を与え、それに基づいて学習者が個別に体得するという、力/位置連成動作学習戦略を開発し、その有効性を確認することを目的としている。

3. 研究の方法

ボールを押し潰す課題の場合、ボールを押し込む力は、押し込む量(位置)に対して一意に決まる。結果として、力の軌跡は、押し込む量(位置)の軌跡に対する一価関数となる。このことは、位置と力は、互いに独立に(それぞれを勝手な値に)制御できないことを意味する。そのような理由で、工学の分野で確立されている「力/位置ハイブリッド制御」では、例えば、「押し込み動作については力制御を適用する一方で、押し込み方向と異なる方向への食い動作について位置制御を適用する」というように、両者を分離した形で同時に制御している。

これに対して、本提案の戦略は、学習に際して同時性が必須ではない点に着目して、システムが、同時提示の困難な位置軌跡と力軌跡を“逐次的に”教示する点で、新しい位置力呈示のパラダイムを示している。さらに、動作の学習については、位置軌跡と力軌跡は最初から同時学習することは困難である。これに対して本提案の戦略は、位置軌跡と力を軌跡逐次学習した後、統合的な同時学習へと進めるものであり、力/位置連成動作という

困難課題に対する突破口となることが期待される。

また、動作には、位置と力が錬成された動作だけでなく、単に“運動”を教示対象とする運動学動作や、“力”を教示対象とする動力学動作もある。

これらの点を考慮すれば、位置軌跡の学習、および力軌跡の学習、それぞれを個別に研究すること第一歩となると考えられ、これについて研究するものである。

4. 研究成果

はじめに、準備として「規範力学習のための力学的インタフェース」として PHANToM-Omni を導入し、これをベースとして、位置と力のいずれを提示するか、あるいは計測するかを選択できるソフトウェアを開発した。具体的には、PHANToM-Omni の手先の位置軌跡が計測できるプログラムを制作し、熟練者や学習者の位置軌跡を測定できるようにした。6軸力センサーを組み込んだ力出力毛筆を PHANToM-Omni の手先に取り付けた電子毛筆を製作した。これからの出力から手先力が計測でき、もって力軌跡も計測できるプログラムを制作した。

次に、このシステムを用いて、位置/力連成教示方法の一例として、以下の二つの基本的な機能を実装し、その動作確認を行った。

位置軌跡教示モード：時刻と対応させない形で、熟練者の位置軌跡に沿うように、PHANToM で学習者の手先を牽引する。力軌跡教示モード：やはり、時刻とは関係せず学習者の現在位置との対応で、あるいは時刻と対応させて熟練者が発揮した力を反力として学習者に提示する。

第三に、上述の基本機能を用いて、二つの教示法、すなわち 3 軸牽引運筆教示と水平/鉛直分割運筆教示法により、書道の運筆の教示を行い、教示性能を比較検討した。3 軸牽引運筆教示では水平も垂直も位置ベースで教示を行う。一方、水平/鉛直分割運筆教示では、水平は位置ベースで教示を行い、垂直は鉛直方向の押し込み量に対応させて力ベースの教示を行うものである。なお、水平方向位置、鉛直方向位置、および、鉛直方向押し込み力について、熟練者との間で求めた類似度(相関係数)で評価した。

(1) いずれの評価対象においても、得られた相関係数は二つの教示方式の間で有意差は見られなかった。その理由として以下が考えられる。水平面内の位置に関しては、いずれの教示方式においても、引力を用いていることから、有意差が現れない。力ベースの教示を行った場合でも、押し込み力の相関は低かった。押し込み力の知覚へと学習者の意識を十分に向けさせられなかったこと、今回の 0 ~ 1.5N の提示力では知覚できなかったことなどが考えられる。

(2) 水平/鉛直分割運筆教示では、押し込み力が十分に教示できなかったにもかかわら

ず、押し込み量は、3軸牽引運筆教示と同等に熟練者との間で高い相関が得られた。このことは、押し込み力が分からなくとも押し込み量が決定できることを示唆している。つまり、入り、止め、払い、跳ねなど、書道の基本技法において、水平面内の各線画が知覚できれば、押し込みもある程度推測できることを示唆している。このことから、逆に、力覚の提示の効果をもたらすためには、規範動作として、書道の基本技法とは異なる動作を交える必要があることがわかった。

(3)時間を説明変数にとった相関係数は、経路長を説明変数にとった相関係数に比べ、相関が低いという結果となった。このことから、「学習者は、文字の形と線の太さの変化を重視する一方で、動きの遅速を熟練者に合わせようとはしない」という傾向のあることが示唆される。

最後に、上記はいずれも力覚や運動覚など、いわゆるハプティックな感覚を扱ったものであるが、それ以外の感覚として重要な視覚も加えて、ペンに相当するものを把持している手先の位置や力の知覚特性を調べた。すなわち、基本的な動作としてステップ的に速度が変化する参照点の動作を取り上げ、その速度変化知覚の有無に関する丁度可知差異(Just Noticeable Difference, JND)を調べた。具体的には、視覚だけ(V)、視覚+能動運動覚(V+A)、受動運動覚(Pa)、準能動運動覚(Qa)、視覚+受動運動覚(V+Pa)、視覚+準能動運動覚(V+Qa)というように、視覚と運動覚との間で知覚特性を比較した。ここで、準能動運動覚とは、外的な機械的刺激を感じた時、それに合わせるように能動的に自分の手を動かす枠組みを言う。その結果、仮想ばねを介して伝える形式としたことが大きな要因と考えられるが、視覚が関与する提示方法では速度変化JNDは小さく、高い知覚性能を示した。また、運動覚のPaとQa間で知覚性能を比較すると、準能動的に動かすQaの性能が著しく悪いことが示された。また、「速度変化あり」と認知した際の知覚の情報源も調査した。その結果、視覚情報が与えられる場合には、付加的に触覚情報が与えられていても、視覚によって「速度変化あり」と認知する傾向が見られ、視覚優位が確認された。また、触覚により「速度変化あり」と認知したときには、肩の外旋に係る運動覚や指先の指腹部に働く圧覚が要因となっている傾向が見られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 10 件)

櫻野芳明, 野村由司彦, 速度変化知覚における視覚と触覚の影響, 査読無,

IIP2016 講演論文集, 東洋大学 (東京) 2016.3.14-15

Yoshihiko Nomura, Hirotugu Kato, Ryota Sakamoto, Hybrid Instruction Method of Brush Strokes with Haptic Device, 査読有, 13th AAATE (Advancing Assistive Technology and eAccessibility for People with disabilities the Aging Population, pp.755-758, Budapest (Hungary) September 9-12, 2015

Yoshiaki Kashino, Yoshihiko Nomura and Shin Kinoshita, A BASIC STUDY OF VISION/HAPTICS-BASED 2-D MOTION INSTRUCTION, 査読有, Proceedings of the 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechanics for Information and Precision Equipment MoP-30, Kobe International Conference Center (Kobe), June 14-17, 2015

Yoshihiko Nomura, Hirotugu Kato, Raised-dot slippage perception on fingerpad using active wheel device, 査読有, 201409, Proc. 10th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, pp.357~360, Gothenburg (Sweden) Sept. 2~4, 2014

加藤大嗣, 野村由司彦, 坂本良太, ハプティックデバイスを用いた運筆動作教示方法の研究, 査読無, 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, No.14-1 pp.J1610101(1)~(5), Sept. 7~10, 2014, 東京電機大学 (東京都)

Yoshihiko Nomura, Tatsuya Ito, "Wrist Flexion/Extension Angle Perceptual Characteristics, 査読有, The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2014). Barcelona (Spain), March 23~27, 2014

岩部和樹, 野村由司彦, Syed Muammar Najib SYED YUSOH, 坂本良太, 触運動覚による指先移動量の知覚, 査読無, 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門講演会 IIP2014. (20140318-20140319). 東洋大学, 東京

西村卓也, 野村由司彦, 坂本良太, 控えめな小トルクを用いた動作教示 (肘関節屈伸動作の知覚評価), 査読無, 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門講演会 IIP2014. (20140318-20140319). 東洋大学, 東京

大池慧, 野村由司彦, 木下真, アクティブホイールマウスにおける指先皮膚感覚による滑り知覚特性, 査読無, 日本機械学会東海支部第 64 期総会議講演論文集, 論文番号 224, pp.255-256, 中部大学(春日井市)2014 年 3 月 13-14 日

伊藤達哉, 野村由司彦, 坂本良太, 木下真, 前腕屈伸筋の筋力の知覚特性: 知覚可能な小トルクを用いた動作教示に向けて, 査読無, 日本機械学会東海支部

第 64 期総会講演会講演論文集, 論文番号 223 , pp.253-254, 中部大学(春日井市) 2014 年 3 月 13-14 日

〔図書〕(計 1 件)

Yoshihiko Nomura, and Kazuki Iwabu et al., Length Perceptual Characteristics on Raised-Dot Slippages, IGI Global, chapter 16 of a book of Human-Computer Interfaces and Interactivity: Emergent Research and Applications, (23) 348 (pp.286~308) 2014

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 由司彦 (Nomura, Yoshihiko)
三重大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：00228371

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

杉浦 徳宏 (Sugiura, Tokuhiko)
三重大学・総合情報処理センター・准教授
研究者番号：50335147

坂本 良太 (Sakamoto, Ryota)
三重大学・医学部附属病院・助教
研究者番号：10581879