

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870659

研究課題名(和文) ソフトインタフェースを活用した人間の内部状態推定手法に関する研究

研究課題名(英文) Estimation approach of human's internal state using soft interface

研究代表者

板井 志郎 (Itai, Shiroh)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：00398934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コントローラ操作とアバタ運動の関係(アバタ運動生成パターン)に多義性があるリズムコントローラを用いて、人間のアバタ運動生成パターンの変化から、間合いを保つ・壊すという人間の意図を先読みする間合い生成エージェントを開発し、人間が操作するアバタとの剣道対戦を実現した。そして、この対戦結果から、間合いを保つ・壊すという人間の意図が、アバタ操作ルールの変化に表現されている可能性があることを示した。以上より、リズムコントローラ(ソフトインタフェース)を活用することで、ユーザの内部状態(意図)の推定を実現する手がかりを得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on the feature of rhythm controller whose input lacks one-to-one correspondence with avatar motion, and developed Maai creating agent that predicts intention of a human as to whether he/she intends to maintain or collapse Maai from his/her pattern of creating avatar motion (relationship between controller input and avatar motion). We realized Kendo matches between Maai creating agent and a human through mutual avatar. From the result, we observed that the winning percentage of the agent reached 80 [%]. This result indicates that the intention of a human as to whether he/she intends to maintain or collapse Maai is reflected in his/her pattern of creating avatar motion. And, this finding provides important clues to realize the estimation of human's internal state using the rhythm controller (soft interface).

研究分野：共創システム

キーワード：身体性 インタフェース 意図

1. 研究開始当初の背景

著者らは、これまで、サッカーの連携プレイのような、無限定な状況における、即興的な間合いの生成を人間はいかにして実現しているのかという問題について、研究を進めてきた。そのためには、人間の行為を、身体を介して自身の外側に表出される運動として捉えるだけでは不十分であり、この行為を生み出す人間の心身の働きについても研究する必要がある。しかし、人間の内部で生じる心身の働きを、観察可能な形で外部に取り出すことは、一般に困難である。

そこで、著者らは、映像画面上のアバタを操作するインタフェースに人間の身体の働きを取り込むことでこの問題を研究できる可能性があるのではないかと考え、これを実現するリズムコントローラの研究開発を進めてきた。具体的には、このコントローラを用いたコミュニケーション実験システム(剣道対戦システム、図1)を開発し、円滑なコミュニケーションが進行している際に、互いの心身の働きを介して創られる間合いやエントレインメント(無意識的な互いの身体行為の引き込み(リズムの同期現象))の生成について調べてきた。

このような研究を進めていく中で、著者らは、ある特定のアバタ運動を実現するアバタの操作方法が多数存在するリズムコントローラを活用することで、人間が行為を創出する際の内部状態(感情や意図)を推定することができるのではないかと考えた。つまり、リズムコントローラを用いてアバタなどの対象物を操作させた場合、アバタ操作とアバタ運動の関係に多義性があるので、人間は、自身の心身の働きを介して、アバタの操作方法(アバタ操作とアバタ運動の関係)を自由に決めながら、アバタを運動させる(行為を創出させる)ことになる。以上より、リズムコントローラを介して行為(アバタ運動)の創出を行えば、アバタ操作とアバタ運動の関係に人間の心身の働き、つまり、人間の内部状態(感情や意図)が反映されるのではないかと考えた(図1(b))。なお、アバタ操作とアバタ運動の関係が一对一に定まっている通常のコントローラでは、アバタの操作方法は当然変化しないので、ここに、人間の内部状態が反映されることはない(図1(a))。

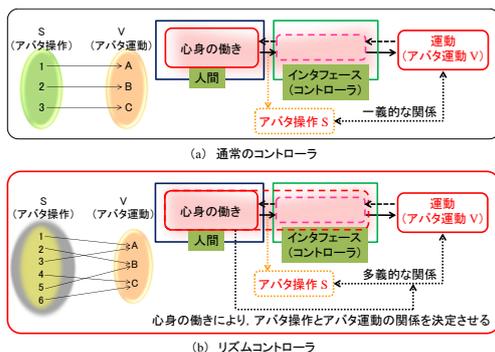


図1 アバタ操作に心身の働きを反映させる手法

2. 研究の目的

本研究では、リズムコントローラのようなアバタ操作とアバタ運動の関係に多義性があるソフトインタフェースを用いて、人間の内部状態(感情や意図)を推定することを目指すことにする。具体的には、リズムコントローラを用いてアバタを操作する実験を行い、被験者のアバタを操作する際のコンテキストや感情の違いが、アバタ操作とアバタ運動の関係に反映されるかどうか明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、「(ソフト)インタフェース」を用いて、人間の内部状態(感情や意図)を推定する技術を確立することを目指して、以下に示す3つの研究を実施する。まず、アバタ操作とアバタ運動の関係に多義性があるリズムコントローラ(ソフトインタフェース)を用いて、異なる状況で同じようなアバタ運動をさせる実験を行い、アバタを操作する際のコンテキストの違いが、アバタ操作とアバタ運動の関係に反映されるかどうか明らかにする。以下では、リズムコントローラにおけるアバタ操作とアバタ運動の関係をアバタ運動生成パターンと呼ぶ。次に、リズムコントローラを用いて操作するアバタを介して、2人の被験者が間合いを取り合う実験を行い、間合いを保つ、壊すという意図の違いがアバタ運動生成パターンに反映されているかどうか調べる。最後に、これらの研究結果を踏まえて、人間のアバタ運動生成パターンの変化から人間の意図を先読みして動く間合い生成エージェントを開発する。そして、このエージェントと人間の間で剣道対戦を行い、人間のアバタ運動生成パターンの変化から間合いの生成に関する人間の意図を推定することが可能であるかどうかについて調べる。

次に、リズムコントローラのアバタ運動パターンを解析する方法について説明する。リズムコントローラでは、図2に示すようにゼロクロス点を中心にコントローラを前後に振動させ、コントローラがゼロクロス点を通じた時に、現在から2つ前のゼロクロスが発生した時刻から現在までの間でコントローラ波形を積分し、その積分値 ΔS を次のゼロクロスが発生するまでの速度出力値としてアバタを動かす。この際、 ΔS (1周期分のコントローラ波形の面積)は、主としてコントローラ波形の周期差 ΔT と振幅差 ΔA により決定される。したがって、アバタ速度 V は、以下のように記述できる。

$$V = k \cdot \Delta S \approx f(\Delta T, \Delta A) \quad (1)$$

本研究では、関数 f (アバタ運動生成パターン)について調べるため、コントローラがゼロクロス点を通り過ぎるごとに、 $(\Delta T, \Delta A, V)$ を、3次元散布図にプロットした(図3)。そして、説明変数を周期差 ΔT 、振幅差 ΔA 、従属変数をアバタ速度 V とした、重回帰分析

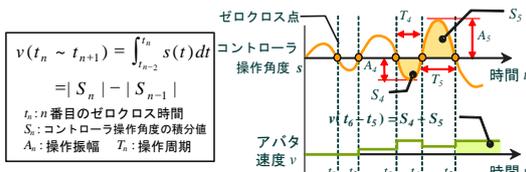


図2 リズムコントローラの変換規則

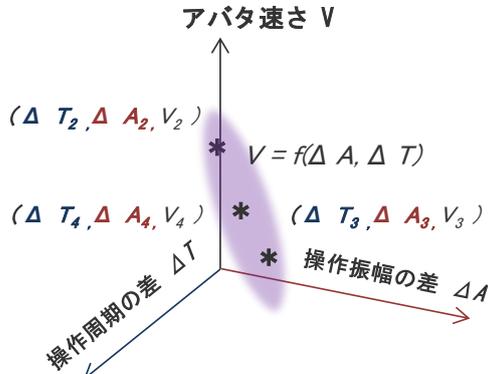


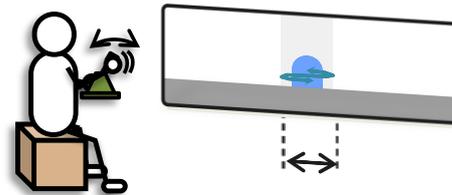
図3 アバタ運動生成パターンの推定手法

を行った。さらに、主成分分析により、 ΔT と ΔA を1つの主成分に縮約した上で、この主成分を従属変数、アバタ速度 V を目的変数とした回帰分析を行った。この解析で得られる3次元空間での回帰直線を定めるパラメータは、方位角 θ と仰角 ϕ である。ただし、これまでの研究により、仰角 ϕ が変化しないことが経験的に分かっている。そこで、本研究では、この回帰直線（アバタ運動生成パターン）の違いを、方位角 θ で評価する。

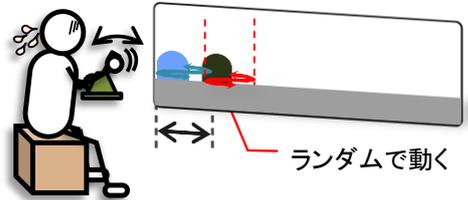
4. 研究成果

(1) リズムコントローラを用いたコンテキストの推定

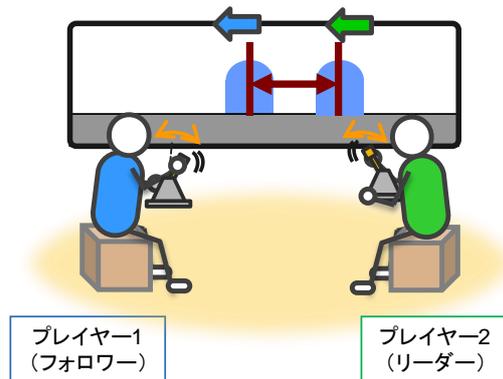
図4に示すように、①決められた移動範囲内で、自身のアバタを自由に前後に動かす実験（前後移動実験）と、②自動で動くアバタに壁際に追い詰められた状況でこのアバタを避けながら自身のアバタを動かす実験（追い詰め実験）、③二人がリーダーとフォロワーに分かれ、自由に動くリーダーの動きに合わせて、フォロワーが動くことで、互いの中で間合いを取りあう実験（リーダー・フォロワー実験）を実施する。追い詰め実験は、自動アバタの動きに対応するため、即興的に行為を創出することが必要になる。一方、前後移動実験では、そのような必要はない。また、リーダー・フォロワー実験は、即興的に行為を創り出していくという意味では、追い詰め



(a) 前後移動実験



(b) 追い詰め実験



(c) リーダー・フォロワー実験

図4 実験条件

実験と同じであるが、自身の隣に存在する相手（人間）とアバタを介した身体的インタラクションを通じて、行為を創り合うという特徴がある。

それぞれの実験において、アバタ速度 V とアバタ操作（周期差 ΔT 、振幅差 ΔA ）の関係について調べた結果の一例を表1に示す。同表より、いずれの条件においても重回帰分析の決定係数 R^2 が1に近いことから、アバタ速度 V を、周期差 ΔT と振幅差 ΔA を説明変数とする回帰平面で、近似できていことが分かる。ただし、被験者 Y に着目すると、同表より、即興的にアバタを運動させる必要がない前後移動実験の偏回帰係数（特に ΔT の係数）の値は、即興的にアバタを運動させる必要がある追い詰め実験やリーダー・フォロワー実験のそれと、大きく異なっていることが分かる。さらに、重回帰分析の説明変数、従属変数を各軸に表示した3次元散布図（図5）よ

表1 重回帰分析の結果

| | 偏回帰係数 | | 標準化偏回帰係数 | | 決定係数 R^2 | |
|--------------|-------------|----------|----------|----------|------------|------|
| | DT の係数 | DA の係数 | DT の係数 | DA の係数 | | |
| 前後移動実験(被験者Y) | 73 | 71 | 0.5 | 0.54 | 0.97 | |
| 追い詰め実験(被験者Y) | 18 | 71 | 0.24 | 0.72 | 0.85 | |
| LF実験 | リーダー(被験者K) | 28 | 95 | 0.27 | 0.71 | 0.86 |
| | フォロワー(被験者Y) | 28 | 83 | 0.14 | 0.87 | 0.94 |

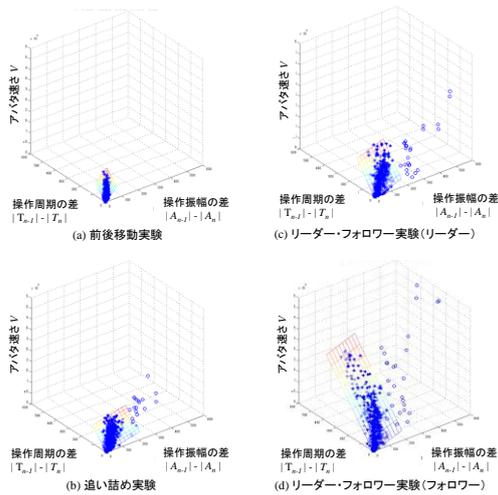


図5 実験条件によるアバタ運動生成パターンの違い

り、即興的に行為を創出するが必要ない前後移動実験では、即興的に行為を創出する必要があるそれ以外の2つの実験結果と異なり、プロットされたデータが平面ではなく、直線上に分布していることが分かる。以上の結果は、状況が異なると、アバタ運動生成パターンが変化する可能性があることを示すものである。

(2) 人間同士の間合い生成時のアバタ運動生成パターン

次に、2人の被験者が自身のアバタを介して相手と間合いを取り合った際に、どのようなアバタ運動生成パターンを用いているのか調べた結果について説明する。具体的には、(a) 二人が間合いを取り合いながら自由に前後移動する実験（協調移動実験、図6(a)）と、(b) 二人が剣道対戦を行う実験（剣道対戦実験、図6(b)）を行い、間合いの生成時のアバタ操作ルールについて調べた。協調移動実験では、一度創られた間合いを壊さないで、動き続けるように被験者に指示している。一方、剣道対戦実験では、相手に勝つために、相手と創り出した間合いを壊す必要がある。つまり、剣道対戦実験では、即興的な間合いの生成と崩壊が繰り返されるということが、協調移動実験とは異なる。その結果を図7に示す。同図(a)-(b)より、協調移動実験では、散布図にプロットされたデータは、2人の被験者ともに、1本の単回帰直線で近似できていることが分かる。なお、この際、双方の単回帰直線の方位角 θ が一致している。このことは、協調移動実験では、2人のアバタ運動生成パターンが同一であることを示している。一方、図7(c)-(d)に示すように、剣道対戦実験では、2人の被験者ともに、散布図にプロットされたデータは、複数の単回帰直線で近似できていることが分かった。さらに、間合いが維持されている時と間合いが壊れる時で、単回帰直線が異なることが分かった（同図(c)-(d)）。この際、間合いが維持されている際の単回帰直線は、互いの間で一致する傾向があることも

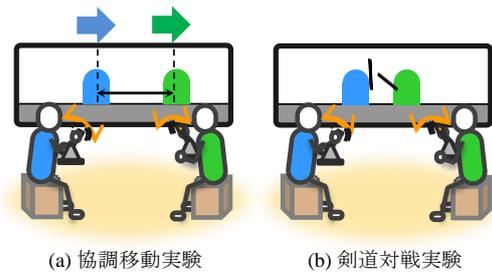


図6 実験条件

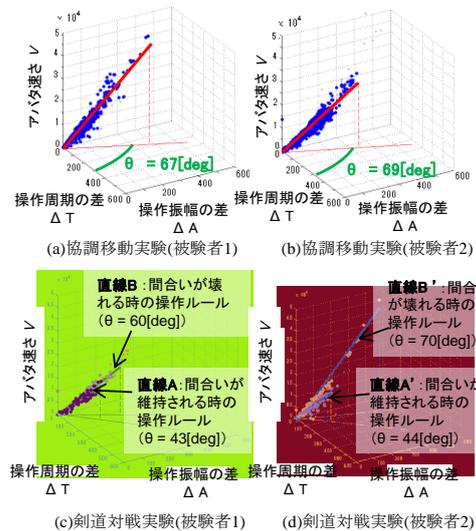


図7 実験条件によるアバタ運動生成パターンの違い

分かった（同図(c)-(d)）。ただし、間合いが壊れる時のアバタ運動生成パターンは互いの間で一致していない。したがって、以上の実験結果は、間合いが維持されている際には、互いのアバタ運動生成パターンが共有されるが、間合いが壊れる際には、それが共有されなくなることを示すものである。

(3) 間合い生成エージェント

上記(2)の結果は、間合いを保つ・壊すという人間の意図をアバタ操作ルールから先読みできる可能性を示している。そこで、本研究では、人間のアバタ運動生成パターンの変化から間合いの生成に関する人間の意図を推定することが可能であるかどうかについて調べるため、人間のアバタ運動生成パターンの変化から人間の意図を先読みして動く間合い生成エージェントを開発し、人間との剣道対戦を行った。

本研究で開発する間合い生成エージェントの設計要件は、以下の3つである。

1. 式(1)を用いてアバタを操作することで、人間が操作するアバタと間合いを取り合うこと。
2. 人間と同様に、コントローラ操作波形がゼロクロスした際に、音を呈示すること。
3. 人間のアバタ運動生成パターンをリアルタイムに推定し、その変化から、人間の意図を予測して、アバタ運動を創出すること。

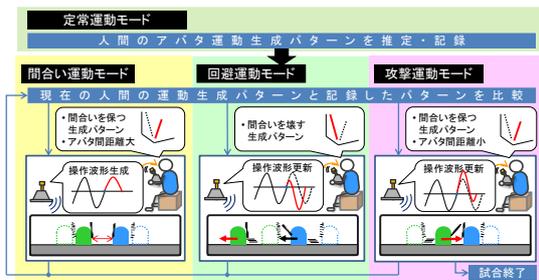


図8 間合い生成エージェント

以上の設計要件を満たすため、以下に示す4つの運動モードを有する間合い生成エージェント(図8)を開発した。

- A) 人間のアバタ運動生成パターンを記録する(定常運動モード)
- B) 人間と一定の間合いを取り合う(間合い運動モード)
- C) 人間が間合いを壊そうとする際に使用するアバタ運動生成パターンを使って接近した場合に後退する(回避運動モード)
- D) 人間が間合いを保とうとする際に使用するアバタ運動生成パターンを使って接近した場合に前進して剣を振る(攻撃運動モード)

なお、後述する剣道対戦実験では、定常運動モードを行った後に、それ以外の3つのモードで動くエージェントと対戦することになる。

そして、間合い生成エージェントを用いて人間と剣道対戦実験を20試合行った。なお、この実験の被験者は、リズムコントローラの操作、および、このコントローラを用いた剣道対戦に熟練している。また、この実験では、エージェントの全ての運動モードにおいて、エージェントのアバタ操作ルールの方角を、人間が定常運動モードで動作するエージェントと間合いを保とうとする際に使用する方角の被験者5名の平均値(48[deg])とした。その結果、人間は、間合いを壊そうとする意図をエージェントに先読みされて剣を当てることできないだけでなく、エージェントの剣の振りも全く避けることができないため、負け続けることが分かった。この際、間合い生成エージェントと対戦した人間は、「間合いを詰めようと思うのとほぼ同時に避けられた」、「うまく隙を突かれて負けた」とコメントしていた。以上の結果は、人間のアバタ運動パターンの変化から、間合いを保つ・壊すという人間の意図を先読みできる可能性があることを示すものである。

(3) まとめ

以上の一連の研究より、コントローラ操作とアバタ運動の関係に多義性があるリズムコントローラ(ソフトインタフェース)を活用し、通常は潜在化されているユーザの内部状態を、インタフェース操作として外部に表現させることで、ユーザの内部状態(意図)の推定を実現する手がかりを得た。今後は、

以上の研究の応用として、PC やスマートフォンなどで Web ページを閲覧する際の画面操作に、リズムコントローラで用いているアバタの操作規則を適用し、この画面操作から、Web ページを閲覧している人間の感情を推定することができるかどうか調べていきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

① Shiroh Itai, Yoshiyuki Miwa, Study about Creation of "Maiai" Involving Intention Using Rhythm Controller -Development of Maiai Creating Agent and Interaction Experiments between Human and Agent-, HIMI 2015, Part II, LNCS 9173, pp.599-609, 査読有, 2015

② Shiroh Itai, Taketo Yasui, Yoshiyuki Miwa: Soft Interface with the Ambiguity - Creation of the Action by Avatar Controller Inducing the Embodiment, HIMI 2014, Part II, LNCS 8522, pp. 413-422, 査読有, 2014

[学会発表](計7件)

① 板井志郎, 三輪敬之,リズムコントローラを用いた間合いの生成に関する研究 -アバタ運動パターンのダイナミクスについて-, 第4回日本認知科学会研究分科会「間合い-時空間インタラクション」, 2016年3月16日, 国立情報学研究所(東京都千代田区)

② 板井志郎, 福島一樹, 三輪敬之, リズムコントローラを用いた間合いの生成に関する研究-状況に応じて変化するアバタ運動パターンの共有について-, 第16回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2015, 2015年12月14-16日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋)

③ 福島一樹, 板井志郎, 三輪敬之, リズムコントローラを用いた間合いの生成に関する研究 -身体の動きに着目したアバタ操作ルールと間合いの生成について-, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015, 2015年9月1-4日, 公立はこだて未来大学(北海道函館市)

④ Shiroh Itai, Yoshiyuki Miwa, Study about Creation of "Maiai" Involving Intention Using Rhythm Controller -Development of Maiai Creating Agent and Interaction Experiments between Human and Agent-, Human-Computer Interaction International 2015 (HCII2015), 2-7 August 2015, The Westin Bonaventure Hotel & Suites(Los Angeles, USA)

⑤ 板井志郎, 三輪敬之,意図が関与した間合

いの生成 -リズムコントローラを用いたアバ
タ操作ルールのダイナミクスについて-, 第
119 回ヒューマンインタフェース学会研究会,
2015 年 5 月 19-20 日, 沖縄産業支援センタ
ー (沖縄県那覇市)

⑥ 板井志郎, 須藤和敬, 安井丈人, 三輪敬
之, リズムコントローラを用いた間合いの生
成ルールに関する研究, ヒューマンインタフ
ェースシンポジウム 2014, 2014 年 9 月 9-12
日, 京都工芸繊維大学 (京都府京都市)

⑦ Shiroh Itai, Taketo Yasui, Yoshiyuki
Miwa: Soft Interface with the Ambiguity -
Creation of the Action by Avatar Controller
Inducing the Embodiment, Human
Computer Interaction International 2014
(HCI2014), 22 -27 June 2014, Creta Maris
(Crete, Greece)

[図書] (計 1 件)

① Shuichi Fukuda, Carole Bouchard,
Jean-François Omhover, Jieun Kim,
Shiroh Itai, Yoshiyuki Miwa, Hao Zhang,
Shin'ichi Warisawa, Ichiro Yamada,
Kazutaka Ueda, Emotional Engineering
(Vol. 3), 2015, 116(73-92)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

板井 志郎 (ITAI,Shiroh)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号 : 00398934