

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500249

研究課題名(和文)「優美な」動作のモデル化とロボット「優美」動作生成法の確立

研究課題名(英文) Modeling of Graceful Human Motions and Generating of Graceful Robot Motions

研究代表者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：90379529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：人間特有の動作であり、具体的な定義がある「優美な」動作に着目し、ロボットに実装するためのモデル化を目指して、ホテルマンのサービング動作や古典舞踊動作を優美な動作の規範として使用し、過去にスポーツ運動学者や美学者らが定性的に定義してきた「優美さ特徴」を、これらの動作から定量化することに取り組んだ。

研究期間中に「S字状特徴抽出」と「流動性の定量化」のアルゴリズムを提案し、印象評価と定量化結果を比較することで、タスク限定ではあるが、優美さ特徴の定量化が実現出来た。

研究成果の概要(英文)：This study is focusing on "graceful" motions of humans and aims to quantify it to make robot motions more favorable. In the field of sports kinesiology and aesthetics, "Grace of motion" was defined qualitatively, but it was not defined quantitatively, yet. We have attempted to extract the grace features from the serving motions of waitperson and the classical dance motions, using these qualitative definition.

We proposed some algorithms about "S-shape features extraction" and "quantification of motion fluidity". Motion trajectories were mapped to 2 dimensional plane by conducting principal component analysis, and calculated "S-shaped feature parameters" by curve fitting. Moreover we divided motion trajectories using curvature factor and torsion factor and extracted the number of divided trajectories per 1m, as "fluidity of motion". By comparing quantification results with impression evaluation results, we confirmed successful of quantification of "Grace of motion" about some tasks.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ロボット動作生成 優美な動作 動作解析 モーションキャプチャ

1. 研究開始当初の背景

人間とロボットとの距離が短く、密な相互作用が必要となる福祉やサービス分野に応用されるロボットシステムでは、その動作が人間らしい方が、従来の効率を重視した機械的で直線的なものに比べて、安心感が大きく好ましい印象を生むことを、我々は経験から知っている。

ロボットに「人間らしい」あるいは「自然な」動作を与える研究は、様々なアプローチで進められている。しかし「人間らしい」動作とは、受け手にとって「見慣れた・違和感のない」動作であること以外には、明確な定義はなされていない。これまで様々な研究分野において「優美さ」が議論されてきた。スポーツ運動学者の Meinel は、「動きの優美さは感性的には快く、好ましい印象を生み、精神的には気品のある印象を生む」そして「動きの優美さには自然な優美さと、意識された優美さがある」と述べている。これは、優美な動きであれば人間に好印象を持たせることが可能で、さらに意識して(プログラムによって)生成する動作に優美さを与えることが可能と捉えることができる。また、哲学者の Schiller は、「優美は運動の美であり、美しくないもの、醜なるものをも優美にすることができる」と述べており、外観に影響されず優美さを付与できることを示唆している。

これらの議論より申請者は、ロボット上で「優美さ」を実現することで、人間らしさを表現し、さらに受け手である人間に対して好ましい印象を与えることができるのではないかと考えついた。これまで現象学的人間学の立場から運動学から構築した Buytendijk や画家で美学者の Hogarth らが「優美さ」を定義してきたが、定性的表現にとどまっており、実現のためには、これらの定量化が必要となっている。

2. 研究の目的

本研究は、人間特有の動きに関する美しさのカテゴリである「優美さ」に着目して、「人間らしさ」を「優美さ」を表現することで実現しようとするものである。

具体的な本研究の目的は、

- ・人間の動きの計測・解析に基づく、「優美な」動作特徴の定量化。
- ・定量化された動作特徴を、ロボット動作へと反映させる方法の提案。

である。ロボット研究は、元々工学・心理学領域等の様々な分野にまたがる研究分野であるが、本研究では、さらに芸術領域・美学分野にまたがることで、これまでにない手法の提案を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 優美な動作の規範

Hogarth は、「蛇状の線に優美が示される。例えば、手が S 字の軌跡を描く動作は優美である。」と述べている。また、Buytendijk

は、「優美な」動作を以下のようなものであると述べている。

- ・急速な、直線的な動きには角があって優美には見えない。優美はゆったりとした、丸みのある動きに示される。
- ・ぶつ切れの角のある動きも優美には見えない、優美な動きには持続性と流動性が示されなければならない。
- ・単調なリズムで繰り返される動きには優美は認められない、緊張と解緊がリズムカルに交替して現れるような動きにこそ優美は示される。

本研究では、この Buytendijk と Hogarth が挙げた特徴を持つ動作を優美な動作の規範として動作解析やモデル化を進めていく。研究期間中には特に、以下に示すように、ホテルマンのサービング動作と古典舞踊動作を動作データとして用いた解析から、優美さ特徴の定量化を試みた。

(2) ホテルマンのサービング動作からの優美さ特徴抽出と動作生成

優美な動作を行える動作者として、本実験ではホテルマンを選定した。ホテルマンは、常に立ち振る舞いに気を遣い、客に対し好ましい印象を与えることが求められている。さらに、ウェ이터としての訓練も受けているため、動作者に適していると考えた。

動作タスクとして、「グラスの受け渡し動作」、「グラスをテーブルに配置する動作」、「平皿をテーブルに配置する動作」の3種類を選定した。図1にグラスの受け渡し動作を示す。動作者は、ウェ이터として訓練された動作者4人と、訓練されていない動作者4人とし、それぞれの動作をモーションキャプチャーにより取得した。

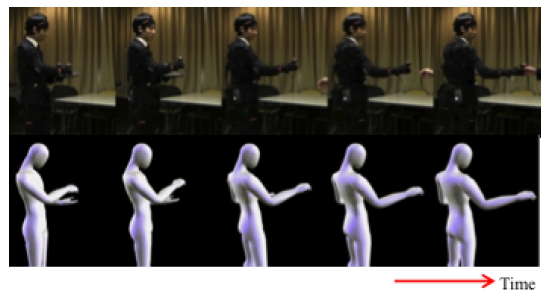


図1 ホテルマンのグラス受け渡し動作例

手先動作の軌道に着目し、軌道に優美さが含まれるかを調べる。軌道に含まれる S 字状特徴の観点から解析を行った。解析にあたって、得られた 3 次元の軌跡に対し主成分分析を行い、第 1 主成分を x' 軸、第 2 主成分を y' 軸とした平面を動作特徴平面として抽出した。またその際に、動作特徴平面の傾き θ をパラメータとして抽出した。動作特徴平面を図 2 に示す。そして、動作特徴平面に 3 次元軌道を投影することで 2 次元軌道を抽出し、

その軌道に対して最小二乗法を用い4次式による近似を行った．近似に用いた4次式を式(1)に示す．

$$y = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5x^4 \quad (1)$$

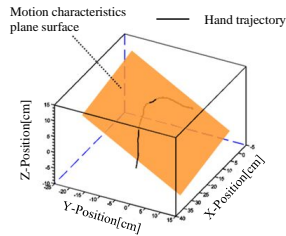


図2 動作特徴平面

この動作特徴平面の傾きと，手先軌道の近似曲線を用いて，優美な動作の特徴を抽出する．

(3) 古典舞踊動作からの優美さ特徴抽出

一般的に優美な動きが多用される，舞踊動作を規範として，優美な動作特徴の抽出も同時に進めた．期間中の動作解析に使用した古典舞踊は「タイ舞踊」「インド舞踊」「日本舞踊」「フラダンス」「ミャンマー舞踊」「インドネシア舞踊」の6種類である．各舞踊あたり2人(ミャンマー舞踊のみ1人)，合計11人のプロダンサーの舞踊動作データを光学式モーションキャプチャで取得した．古典舞踊動作データ例を図3に示す．



図3 各種古典舞踊動作例(喜び表現時)

舞踊動作は，手先や頭部，足等四肢の動作軌道は一般的に複雑な形状となるため，解析が困難であった．そこで，動作軌道の曲率，撓率に基づいて分割し，その分割した四肢の軌道を用いて，優美な動作の特徴を抽出することで研究を進める．

曲率，撓率を求める点を $P(n)$ とし，前後の点を $P(n-1)$ ， $P(n+1)$ とする．さらに

$P(n) - P(n-1)$ 間の距離を Δs とする．点 $P(n)$ における単位接線ベクトル $\vec{\alpha}$ ，単位従法線ベクトル \vec{N} を求め，(2)(3)式を用いて曲率 k ，撓率 τ を決定する．

$$k = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \alpha}{\Delta s} \right| = \left| \frac{d\alpha}{ds} \right| \quad (2)$$

$$\tau = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta N}{\Delta s} \right| = \left| \frac{dN}{ds} \right| \quad (3)$$

各サンプリング点における曲率と撓率を求めた後，一時刻前の曲率・撓率と比べて，変化の大きさが0.02以上，かつ符号が変化する(あるいは0から何か値を持つようになる)点を，分割の候補点とする．

このようにして求められた候補点同士は，非常に近い距離の間で多く検出されることがある．そのため，候補点間の距離に基づいて候補点をまとめる．このようにして分割候補点によって舞踊動作軌道を分割し，分割された軌道をもって，舞踊動作の優美さを定量化することを試みる．日本舞踊の「怒り」表現時の右肘動作軌道を分割した例を図4に示す．

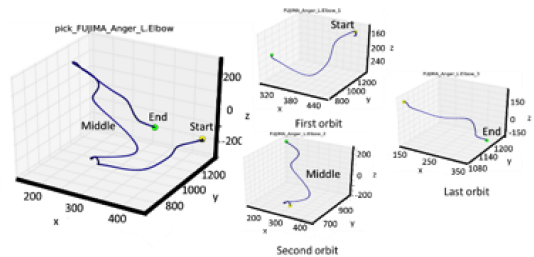
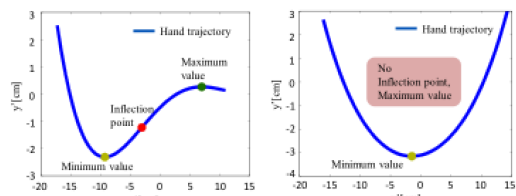


図4 動作軌道の分割例

4. 研究成果

(1) ホテルマンのサービング動作からの優美さ特徴抽出と動作

研究方法で示したように，ホーピング動作を動作特徴平面に投影して動作軌道を2次元化し，ホテルマンとしての訓練を受けた動作者と一般の動作者の動作を比較した．軌道に変曲点，極大値，極小値が全て存在するものを，S字の軌跡とみなして解析を行った．受け渡し動作の解析結果例を図5(a)，(b)に示す．



(a)訓練された動作者 (b)一般動作者

図5 動作軌道解析例(グラス受渡し)

訓練された動作者は、軌跡に変曲点(赤丸)、極大値(緑丸)、極小値(黄緑丸)を全て持った動作者が存在し、S字を描いている動作を行っていた。一方で、訓練されていない動作者には、軌跡に変曲点、極大値、極小値を全て持った動作者は存在せず、S字の軌跡を描いていなかった。この結果は、「グラスの配置動作」、「平皿の配置動作」においても同様に確認できた。

また、動作特徴平面と $x-y$ 平面のなす角度 θ をみると優美な動作者の動作特徴平面は、一般的な動作者の動作特徴平面よりも小さく、主に手先は左右方向に動いていることがわかった。

以上より、サービング動作における優美な動作の特徴は、「変曲点、極大値、極小値を持ち、S字の軌跡を描いている」、「動作平面の傾きが小さく、手先が主に左右方向に動いている」となっていることが、動作解析より確認出来た。

次に、解析により得られた特徴を基に、動作パラメータを試行錯誤的に変化させ、優美な動作のパラメータ同定を行い、擬似的に優美動作が可能かどうかを試みた。研究期間中では、まず動作特徴平面についてのパラメータ同定を行った。動作特徴平面の角度を、 0° から 90° まで 15° の間隔で変化させ、好ましい印象を与える時の角度 θ の値の範囲をCGも用いたシミュレーションから求めた。13個のCG動作(45° としたときの動作例を図6に示す)を10人の被験者に提示し、印象評価実験を行った。



図6 優美動作の生成例

印象評価の結果、 θ が 0° から 45° の範囲の動作が良い評価を得ており、角度が小さく左右方向に動く動作は好ましい印象を与えていることが確認できた。一方で、 60° から 90° の範囲の動作は評価が低く、角度が大きくなり上下方向に動く動作になると、評価が低くなった。同時に因子分析を行った結果、2つの因子が抽出でき、因子1は「感じの良い」、「上品な」、に関する因子であり、因子2は「柔らかい」、「美しい」に関する因子であった。いずれの因子においても θ が 0° から 45° の範囲の動作は高い因子得点を示しており、好ましくかつ優美な印象を与えることが確認できた。

(2) 古典舞踊動作からの優美さ特徴抽出

研究方法で示した通り、舞踊動作中の四肢軌道を分割し、「分割された軌道数」、「分割する軌道の軌道長」をそれぞれ計算しておく。研究期間中では、特に Buytendijk が示した

「動作の流動性」をこの軌道分割数から定量化を試みた。

流動性は「分割軌道数/分割前の軌道長」で表現している。これは、軌道の分割具合を示したものであり、軌道1mあたりの分割軌道数を表しており、この値が小さいほど、その舞踊は流動性が高い(分割数が少ない)といえる。一方で、各舞踊動作を被験者に見せ舞踊動作をその受ける印象によって、以下のように4つのグループに分けた。

- ・ 非常に良い印象
- ・ 良い印象
- ・ 悪い印象
- ・ 非常に悪い印象

この古典舞踊動作の被験者印象評価と、流動性の定量化数値の相関を調べたところ、正の相関が見られ、流動性による優美さの定量化は軌道分割数を用いることで実現出来ることを示すことができた。

今後は、頭と四肢の動作すべてに関して流動性とS字状特徴の抽出を試みて、モデル化へと進めていく予定である。

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1件)

Takahiro Tanaka, Takumi Tsuduki, Etsuko Ueda, Kentaro Takemura & Takayuki Nakamura, "Modeling of graceful motions: determining characteristics of graceful motions from handover motion", COMPUTATIONAL METHODS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS XVI, WIT Transactions on Modeling and Simulation, 査読有, Volume 55, 2013, pp.453-463

〔学会発表〕(計5件)

上田悦子, 後藤毅朗, 田中隆寛, 西諒一郎, 古典舞踊動作の優美さ特徴, 第14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(SI2013), 2J1-1, 2013年12月19日, 兵庫県・神戸国際会議場

田中隆寛, 都築匠, 上田悦子, 受け渡しサービス動作における優美さ特徴抽出, ロボティクスメカトロニクス講演会2013(ROBOMECH2013)2P1-L08, 2013年5月24日, 茨城県・つくば国際会議場

都築匠, 上田悦子, 手渡し動作を対象とした「優美さ」特徴の抽出, ロボティクスメカトロニクス講演会2012(ROBOMECH2012)2A1-Q05, 2012年5月29日, 静岡県・アクティビティ浜松

山田 與志雄, 上田悦子, 動作プリミテ

イブ抽出のための古典舞踊動作解析，ロボティクスメカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH2011) 2P2-Q05，2011年5月28日，岡山県・岡山コンベンションセンター

都築 匠，上田 悦子，拾い上げ動作における優美動作特徴の抽出，ロボティクスメカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH2011) 2P2-Q06，2011年5月28日，岡山県・岡山コンベンションセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)
奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号：90379529

(2) 研究分担者

竹村 憲太郎 (TAKEMURA, Kentaro)
東海大学・情報理工学部・講師
研究者番号：30435440

中村 恭之 (NAKAMURA, Takayuki)
和歌山大学・システム工学部・教授
研究者番号：50291969

(3) 連携研究者

小笠原 司 (OGASAWARA, Tsukasa)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：30304158