

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330322

研究課題名(和文) 動作における「優美さ」評価方法の確立 - 「美の線」を基準とした計測・評価-

研究課題名(英文) Establishment of "gracefulness" evaluation method in motion - Measurement and evaluation based on "line of beauty" -

研究代表者

上田 悦子 (UEDA, ETSUKO)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：90379529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究テーマでは、ロボットが人に好印象を与えられるようになるために、ロボット動作を優美にすることを目標に置いており、そのために必要な「優美さ」のモデル化を中心としている。期間中には「美の線」と呼ばれる「S字状曲線」のモデル化、古典舞踊動作中に「美の線」がどの程度含まれるかを計測し舞踊の特徴量を計算する手法の提案、得られた優美さ特徴と人が受けた印象の相関の検証、さらにロボット実機の手先軌道修正の試行までを行った。提案した優美さ特徴と被験者の主観評価との相関から、直感的な印象傾向は表現可能であることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：The goal of our research is to make the robot movement elegant so that the robot can give a good impression to people. To realize this purpose, modeling of "grace" or "elegance" is necessary. Through the research period, we realized the following items. (1) Modeling of "S-shaped curve" called "line of beauty." (2) Proposal of a method to calculate the feature quantity of classical dance by measuring how much "line of beauty" is included during classical dance movement. (3) Verification of the correlation between the obtained graceful features and the impression that people received. (4) A trial of correcting the hand trajectory of the actual robot. From the correlation between the proposed graceful feature and the subjective evaluation, we confirmed that the proposed method could express the impression tendency of the classical dance.

研究分野：ロボット工学

キーワード：動作解析 優美な動作 ロボット動作生成 舞踊動作

1. 研究開始当初の背景

ロボットと人間との距離が近く密な相互作用が必要となるに従って「ロボットが人間に与える印象を好ましいものにする」ための研究も増えており、その対象は、ロボット動作生成手法や発話内容の検討から、人間との関わり方までと幅広い。本研究では、これらの研究対象のうち「ロボットの動作」にフォーカスを当てる。ロボットの動作を人間が好ましく感じさせるために、「人間らしい」動作をロボットに与える研究が現在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おらず、そのため、作成したロボット動作が、どの程度「人間らしいか」は依然曖昧である。

美しさのカテゴリの一つで「人間の動作」に特有の形容詞として「優美さ」がある。哲学や美学、スポーツ運動学等の分野ではこれまでに「優美さ」が議論されてきた。政治学者で哲学者の Edmund Burke は「滑らかさ、柔らかさ、心地よさ、といったものは、自己増殖本能を刺激し、それゆえに美しいもの「優美」として知覚される」と述べ、スポーツ教育学者の Kurt Meinel は「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。これらは、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あり、さらに意識し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 Friedrich von 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。これらのことより我々は、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と考え、「優美さのモデル化」を進めている。これまでの研究から目標とする優美さのモデル化を発展させ、ロボット動作への実装実現のためには、明確に「優美さ」を評価する必要がある、その計測方法とその効果を示す事が不可欠であると考えに至った。

2. 研究の目的

本研究では「優美さ」を表現する「美の線（蛇状曲線）」を用いて、人間動作の「優美さ」を測り、評価する手法を提案し、ロボット動作への「美の線」実装を目指すことを目的とする。

具体的には、優美さの規範として画家・美学者である William Hogarth が「美の線」として提唱した「蛇状の曲線、S 字曲線」にフォーカスを絞り、更に解析対象の動作を、美しい動作の代表例として理解しやすい舞踊動作に絞る事で、美の線の計測方法とその形状の評価、ロボット動作への優美さ付与実装の試行までを行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、我々がこれまでに収集してきた舞踊動作データと研究期間中に新しく取得した能シテ方の動作データを用いて、手先軌道から Hogarth が提唱している「美の線」を表現する蛇状曲線 (S 字曲線) の抽出とそれを用いた評価方法の提案、最後にロボットへの優美動作実装の試行までを行った。以下に、研究手順に従って詳しく述べる。

(1) 手先軌道のパラメトリック曲線近似

モーションキャプチャシステムで取得した舞踊動作は、体の各位置座標の時系列データとして得られる。この離散的なデータに幾何学的計算手法を適用するために、手先軌道をパラメトリック曲線でモデル化することを研究のスタートとした。4 次の B-Spline 関数を近似関数として用い、実際のモーションキャプチャデータの軌道と近似曲線との距離が決めた値以下になるまで、制御点位置を繰り返し計算により移動させる手法を用いた。図 1 に近似例を示す。

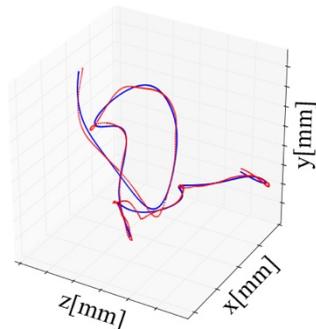


図 1 手先軌道の B-Spline 近似例
(赤線：元軌道，青線：近似軌道)

(2) 「美の線」を表現する蛇状曲線 (S 字状曲線) 抽出手法と評価方法の提案

B-Spline 近似した手先軌道を、舞踊動作観測者の視点位置を考慮した平面に投影して 2 次元軌道とする。その投影平面上の B-Spline 曲線 (3 次元 Spline を平面に投影しても Spline となる) を 2 回微分することで曲線の変曲点位置を求める。3 つの変曲点を一つの S 字状曲線として抽出する。図 2 は抽出の一例であり、黒線で示された手先近似軌道から 5 つの S 字状曲線が抽出されている。

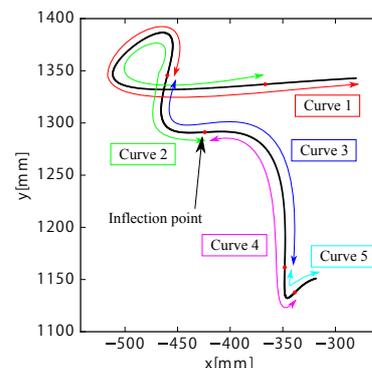


図 2 S 字状曲線の抽出例

このようにして抽出した S 字状曲線から、全曲率と軌道長バランスを考慮して Hogarth が提案した「美の線」要素を取り出す。Hogarth は図 3 のような曲線のうち、左下に示す 4 の曲線のみ「美の線」であると述べており、この曲率を規範にして取り出す。図 4 は S 字状曲線（青線）から取り出された「美の線」（赤線部分）要素を示している。

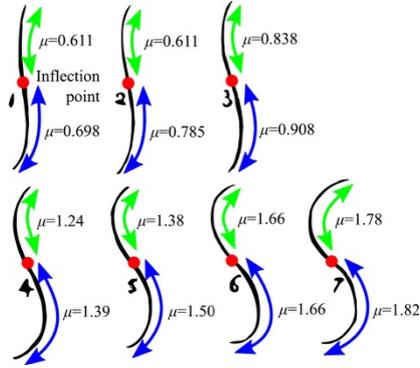


図 3 Hogarth が示した S 字曲線の全曲率
美の線は「4」

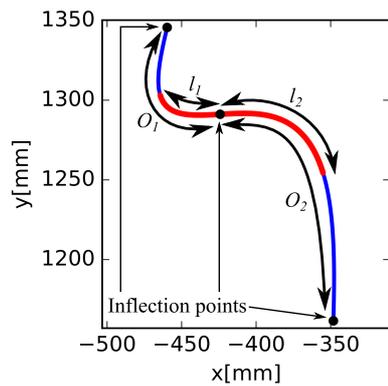


図 4 S 字状曲線からの美の線要素抽出例

軌道が優美な印象を与えるには「軌道長がなるべく長い」「全曲率が 1.31 (美の線の全曲率平均) に近い」「両弧 (図 4 内 l_1 l_2) の弧長がほぼ等しい」の特徴を持つ美の線要素を多く含むことが重要であると仮定し、これらを以下のような式で表現し優美さを定量化した。

$$s = (l_1 + l_2) \exp \left(- \left| \frac{\mu_1 - 1.31}{1.31 - 0.87} \right| - \left| \frac{\mu_2 - 1.31}{1.31 - 0.87} \right| - \left| \frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2} \right| \right)$$

式中 l_1 l_2 は取り出された美の線要素の弧長、 μ_1 μ_2 はそれぞれ l_1 l_2 区間における全曲率を示す。評価値 s は軌道の一部を対象とした値であるため、軌道全体の評価を次式で定義した。

$$score = \bar{s} f$$

\bar{s} は各美の線要素における評価値 s の平均値、 f は各 S 字状曲線の長さ ($O_1 + O_2$) の総和に対する美の線要素の長さ ($l_1 + l_2$) の総和の割合、すなわち美の線要素出現頻度を表している。本研究ではこの $score$ を「美の線」を用いた古典舞踊の優美さ指標として提案した。

(3) 視点位置による軌道評価方法の特性確認と印象評価との相関の検証

本研究の手法では、舞踊動作の手先軌道形状が、観察者の視点位置に応じて変わる。そのため、観察者の視点位置によって提案した軌道評価手法がどのように変わるかをシミュレーションにより調査し、提案した手先軌道評価手法の特性を把握した。また、提案した軌道評価手法と舞踊動作 CG の複数観察者による印象評価との相関を検証し、手先軌道評価方法の能力を検証した。

(4) ロボット動作への「美の線」実装試行

本研究の最終目標は、単なる優美さの計測ではなく、優美な動作をロボットに実装する事である。そのため今回提案した手先軌道評価手法を応用して、S 字状軌道を持つ実際のロボット手先動作を、提案した評価値が大きくなるような変更手法を試作し、Pepper で実装して問題点の洗い出しを行った。

4. 研究成果

3-(2) で説明した手先軌道評価方法によって 5 種類の古典舞踊動作 (日本舞踊, ミャンマー舞踊, ジャワ舞踊, インド舞踊, フラダンス) の手先軌道 (左右とも) の評価値結果を図 5 に示す。

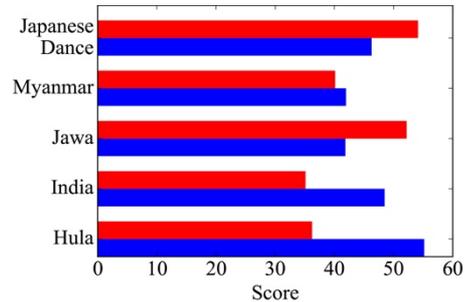


図 5 5 種類の舞踊の評価値 (赤: 右手, 青: 左手)

同時に、図 5 で計算した 5 種類の舞踊を図 6 に示すようなスティックピクチャ CG で、18 歳から 45 歳までの男女 118 名の観察者に提示し、10 個の形容詞対を用いた SD 法による印象評価を行った。印象評価結果を因子分析し、「美しさ」「上品さ」に関する因子を抽出して得られた因子得点から、各舞踊動作の直感的な優美さを図 7 のように定量化した。

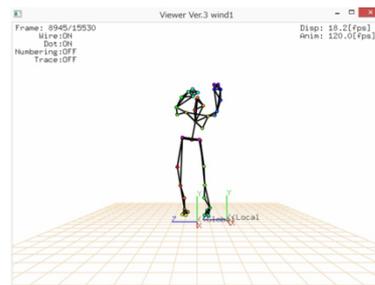


図 6 提示した舞踊動作 CG 例

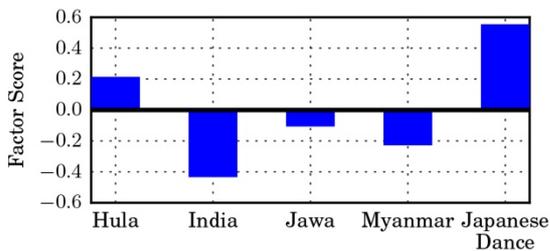


図7 印象評価による各舞踊の優美さ

図7に示した印象評価からは、「優美さ」においては日本舞踊が最も評価が高く、逆にインド舞踊が最も評価が低かった。重回帰分析により、図5に示す手先軌道評価値と図7の印象評価との相関を評価した結果、相関係数0.79が得られた。提案した優美さ特徴の定量化手法は、全身動作のうち手先が描いた軌道の形状のみを対象としており、舞踊動作全体に対する定量化手法であるとはいえないため、印象評価実験結果とは強い相関を示すに至ってはいない。しかし相関係数は決して無関係ではないことも示しており、提案した優美さ特徴の定量化手法は、実際に人が受ける印象を概ね表現できる結果となっている事が確認できた。一方、視点位置の違いによる手先軌道評価値変化の検証からは、我々が予想していた舞踊者の正面が最もスコアが高くそこからグラデーション状にスコアが下がっていく結果とはなっておらず、さらなる3次元解析の必要性を示す結果であった。

これらの結果を応用して、適当にオペレータが生成した人型ロボット Pepper の S 字状手先軌道(一例を図8に示す)に対して我々が提案した優美さ評価値が大きくなるように軌道補正する(実際には軌道近似した B-spline 制御点を score が上がるように移動させる)ことで、ロボットの優美な手先軌道実装を実現した。図8の動作に対して適用した結果を図9に示す。

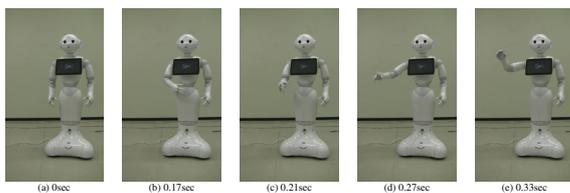


図8 オペレータが任意に作成した手先動作

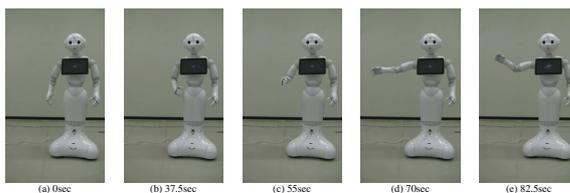


図9 手先軌道補正後の動作

補正された軌道は S 字状軌道長が増え、S 字のバランスも良くなったが、Pepper の応答速度や可動範囲の影響により再計算された軌道

を完全に再現するに至らなかった。そのため補正を行う際に拘束条件として設定した軌道の開始位置・終了位置にずれが生じ、動作全体に必要なとされる時間も大きく増えている。この実装結果から、与えた動作をより優美に補正することは可能であるものの、実装するロボット固有の拘束条件を十分に考慮する必要があることも確かめられた。

これまでに、「優美さ」をモデル化しロボットへの実装を試みた研究はほとんどなく、研究期間内で得られたこれらの結果はまだ完全ではないものの、ロボット動作自動生成の一つの可能性のステップとなったことは間違いない。今後は3次元軌道から直接美の線要素を抽出する手法を提案すること、さらに手先だけではなく体全体の動きからモデル化していく必要があることも明らかになった。またロボットでの優美動作実現のためには、数値的最適化問題として補正した軌道を、ロボットで再現可能とする手法を確立していく必要がある。これらの課題は、29年度より新規採択された科研費(基盤C:17K00393)テーマの中で取り組んでいく。

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)

[学会発表] (計7件)

①西 諒一郎, 上田 悦子: "関節角度に着目したサービング動作の優美さ特徴抽出", 第32回日本ロボット学会学術講演会, 3B1-03, 2014年9月6日, 福岡県・九州産業大学

② 中村 匠, 飯田 賢一, 上田 悦子: "美の線に着目した舞踊動作からの優美さ抽出", ロボティクスメカトロニクス講演 2015, 2A2-H09, 2015年5月19日, 京都府・みやこメッセ

③ 今林 亘, 上田 悦子: "古典舞踊を規範とした感情を表現する動作要素抽出の試み", ロボティクスメカトロニクス講演会 2016, 2P1-11b7, 2016年06月10日, 神奈川県・パシフィコ横浜

④ 中村 匠, 飯田 賢一, 竹村 憲太郎, 小枝 正直, 中村 恭之, 上田 悦子: "観客視点を考慮した古典舞踊動作における手先軌道の解析", ロボティクスメカトロニクス講演会 2016, 2P1-12a4, 2016年06月10日, 神奈川県・パシフィコ横浜

⑤ Etsuko Ueda, Kenichi Iida, Kentaro Takemura, Masanao Koeda, Takayuki Nakamura: "Identification of Grace Feature Parameter for Hand-over Motion", Proceedings of 18th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2016), 査読

有, Part II, pp.115-124, 2016.7.20,
CANADA・TORONTO

⑥中村 匠, 飯田 賢一, 竹村 憲太郎, 小枝 正直, 中村 恭之, 上田 悦子: "古典舞踊動作の手先軌道に着目した優美さの定量化", 第17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(SI2016), 2N2-2, 2016年12月16日, 北海道・札幌コンベンションセンター

⑦畠中 亮太, 上田 悦子, 飯田 賢一, 竹村 憲太郎, 小枝 正直, 中村 恭之: "優美さ定量化のための古典舞踊動作における腕軌道と手先動作解析", ロボティクスメカトロニクス講演会2017, 1P2-L01, 2017年05月11日, 福島県・ビッグパレットふくしまセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号: 90379529

(2) 研究分担者

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

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

小枝 正直 (KOEDA, Masanao)
大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授
研究者番号: 10411232

飯田 賢一 (IIDA, Kenichi)
奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号: 70290773