

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23240026

研究課題名(和文) 視聴覚を利用した見まね学習によるアクティブな動的動作生成に関する研究

研究課題名(英文) Active motion-planning and generation based on Learning-from-Observation using audiovisual

研究代表者

池内 克史 (Ikeuchi, Katsushi)

東京大学・大学院情報学環・名誉教授

研究者番号：30282601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,600,000円

研究成果の概要(和文)：観察学習によるロボットの舞踊動作生成手法を確立した。舞踊動作を何をするかという共通動作に対応するタスクと個人差などのどのようにするかというスキルに分離し、ラバノーテーションを用いたタスク記述法とパラメータを用いたスキル表現法を確立した。これにより1)ロボットによる舞踊の再現、2)舞踊の個人差や音楽速度による変化の表現などが行えるようになった。さらにこういった工学的な成果に加え、得られたタスク記述法を用いて台湾原住民の舞踊を分類し、舞踊に基づく原住民の分類木が社会構造と高い相関を持つ分類木を得るという成果も得た。これは工学的手法と文化人類学的分野を融合した新たな学問体系の構築への足掛かりとなる。

研究成果の概要(英文)：This project established a motion generation method for dancing robots from observation. The method divides actions into two classes: tasks, common actions to describe what-to-do and skills, various variations of actions due to dancers and performances to represent how-to-do. The method proposes to utilize Labanotation to describe tasks, and to establish parameters for skill representations. Through these task and skill modeling, the method succeeds 1) to performance of various folk dances by humanoid robots, 2) to represent various personal and occasional differences of performances. Furthermore, on top of these scientific theories, the project successfully classifies folk dances of Taiwanese indigenous people and identifies the classification tree of tribes based on those folk dances has a high correlation with the one based on their social institutes. The PI believes this is one of the promising direction to create a new scientific discipline to combine engineering and humanities.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

ヒューマノイドロボットは、多くの関節を有しているため動作を記述するのに膨大な量のパラメータが必要となる。これらのパラメータは、実行時に周囲の環境の変化に応じて適切に変化してゆく必要がある。そのためヒューマノイドロボットの動作を生成する事は、多くの労力を必要とする困難な作業となっている。できるだけコストをかけずに、ヒューマノイドロボットの動きを簡便に生成する手法が必要である。本プロジェクトはこのパラメータをロボット自身が視覚により取得する見まね学習機能の開発を行ったものである。

研究代表者らは1990年初頭ごろ、ある程度の枠組みを伝統的な自動プログラミングの成果を生かし作成し、困難な部分に関して人間のお手本からヒントを得るという Learning-from-observation というパラダイムを提案した。Fig.1はこのパラダイムを表現したものである。直接人間の動作をまねるのではなく、動作分野に特有の枠組みに関する知識を利用して、キーとなる動作のシンボリックな表現を得て、この表現を各ロボットの動きにマッピングするというものである。

見まね学習という本提案の類似領域として、ボトムアップにローレベルの何も無い状態から、観察のみによりロボットの動作機能を獲得しようとする流儀がある。これに対して我々のパラダイムは、伝統的なロボティクス研究成果を生かし、トップダウンに動作の各分野で枠組みを解析的に得る。これに基づいて人間の動作を理解し、ロボットの動作を得ようとするものである。特に踊りのような高度な構造をもった動作を学習する際には、人間でも手引きを必要とするように、枠組みに基づく観察が不可欠であると考えられるからである。

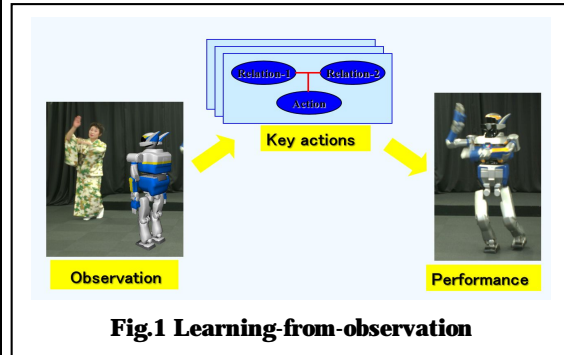


Fig.1 Learning-from-observation

2. 研究の目的

本プロジェクトは、トップダウンに人間の舞踊の枠組みを解析し、これをヒューマノイドの全身運動において実現しようとするものである。本プロジェクトにおいて、舞踊を中心課題としたのは、

- 1) 舞踊は動きの型が定まっており、動作の種類や範囲がきちり定義でき、生成された動作の評価もしやすく、動作の理解・再現という研究の題材として大変適している
- 2) 舞踊は日常動作に比して手足の動きが大きく、舞踊家でも日々鍛錬していないと行えないような、日常動作には普段現れない極限の動きを要求し、ロボット動作機能の限界を明らかにする
- 3) 後継者不足で日々消滅しつつある無形文化財の保存にむけ、単に映像で舞踊を録画するのと比して、ロボットに舞踊をさせることで舞踊のシンボリックな構造が得られ、舞踊に対する理解がすすむ

といった三つの理由による。

3. 研究の方法

本プロジェクトの舞踊解析においても、従来からのタスク/スキルの枠組みで人間の行動をモデル化する。タスクとは「何をするか」といった個人間の差違によらない基本となる動作単位に相当し、スキルとは

「どの様にするか」といったタスクごとに定められた細かい動作のバリエーションや動作の熟練度など個人差や状況に応じて変化する部分に相当する。

本プロジェクトは、

- 1) タスク解析：舞踊家の動きから基本となる動作やその遷移といった「舞踊の基本構造」を記述する表現を得ること、およびそのロボットへのマッピング
- 2) スキル解析：抽出された「舞踊の基本構造」に基づきロボットへ舞踊を効果的に表現するための微妙な動作の変化、あるいは動作の揺れを記述すること、そのロボットへのマッピング

といった2つの分野において研究を進めた。

4. 研究成果

タスク解析

本プロジェクトでは、タスク解析に関して、上半身タスクの記述法としての Labanotation の使用の提案やこれらの記述を用いた舞踊の分析などを行った。人間の舞踊動作のうち、「何をするか」を記述するものがタスクである。いわば踊り手の個人差に依存しない共通動作である。

・上半身タスクの記述

舞踊の構造を記述するためのタスク記述の定義が必要であった。本プロジェクトでは、タスクの記述方法として、舞踊のコミ

ュニティで利用されている Labanotation に注目し、これを用いてタスクを記述することを提案した。Labanotation は、R.V.Laban により 20 世紀初頭に提案された舞踊の記述方法である。Fig. 2 に Labanotation を示す。

Labanotation のスコアは、音楽の楽譜に対応する。楽譜では、時間が左から右に流れるが、Labanotation では下から上に流れる。楽譜では各楽譜線が音階を、楽譜がその音の存在を示すが、Labanotation では各コラムが体の各部に対応する。各コラムでの符号が向きを表現する。

複数の音楽家が一つ曲から同じ楽譜に至るように、複数の舞踊家が同じ舞踊から同じ Labanotation スコアに至る。一つの楽譜から同じ曲が再現されるように、一つの Labanotation からおなじ舞踊が生成される。そういった意味で、Labanotation は、一つの舞踊の記述としての必要十分性を満たしている。そこで、Kinect センサーから出力されるスケルトンモデルを Labanotation のシンボルに変換するシステムを作成した[1]。

・タスクモデルによる舞踊の解析

タスクの解析結果は、ロボットでの動作生成に用いることができる。この記述を用いていわば、無形文化財の保存が行える。こういった観点から、台湾族の祭りの舞踊のアーカイブ化を行った。

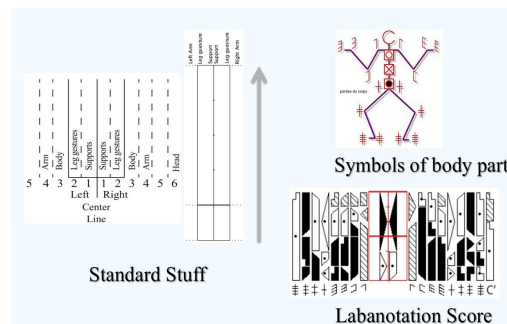
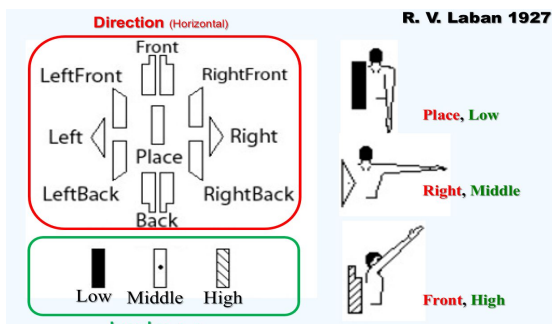


Fig. 2 Labanotation

現在台湾には、14の原住民の存在が確認されている。これらの14の部族は Fig. 3(a)に示すように、南太平洋に広がるオーストロネシアンの源流とも考えられている。これらの原住民は近代化や外部との交流で急速にその固有の文化を失いつつある。これら14の部族の祭りにおける舞踊の Labanotation による記述を行い、総計21の舞踊の Labanotation を得た[3]。その一部のアーカイブ例を Fig. 3(b)に示す。得られた Labanotation に基づくタスクモデルは、単にロボットによる再現が行えるだけでなく、これを用いて舞踊を通した部族間の相関関係を導ける (Fig. 3(c)参照)。

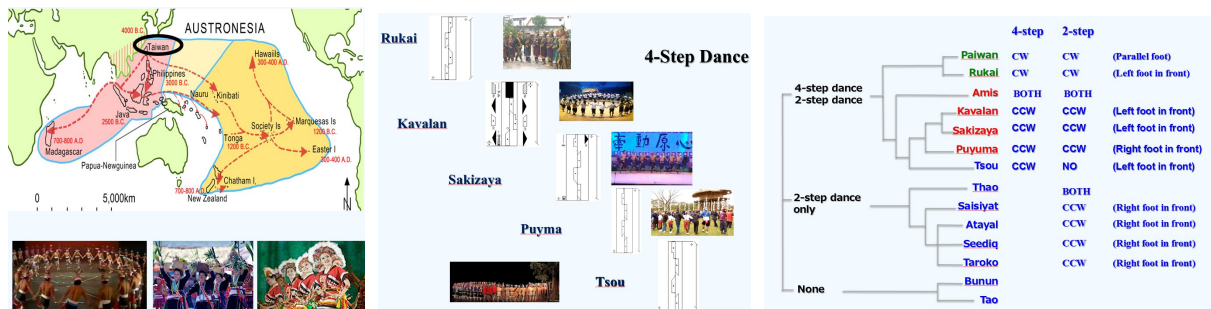
タスク解析は、単に舞踊の記録という面にとどまらず、それを用いた舞踊同士の間関係を導くことができる。そこで、祭りの舞踊を通した部族の相関関係を、他の要因を通した部族の相関関係と比較検討した。相関関係を表すものとして、DNA や言語、社会構造が考えられる。これらを比較したところ、舞踊を通した相関関係は、社会構造

を通した相関関係と高い類似度があることがわかった[4,5]。

この例は、無形文化財の保存、特に舞踊の保存において、一般的に考えられるような単にビデオで録画して保存するのではなく、一歩進んでロボット踊りとすることで、舞踊のシンボリックな表現が得られ、これを通して舞踊自体の構造やそれと文化との関わりが進むという、我々の主張をサポートする好例ではないかと考えている。

スキル解析

与えられたタスクを「どの様にするか」というスキルの解析について述べる。スキルは、個人間の差のみならず、同じ踊り手であっても音楽の速度や周辺環境によっても変化する。そこで、同一個人内での舞踊の揺らぎとして、音楽のビート変化といった時間的拘束のある場合のスキルの変容、他者の存在や道具の使用などの空間的拘束を受ける場合のスキルの変容の解析を行った。



(a) Austronesian from Taiwan (b) Labanotation of 4 Step dance (c) Taxinomy based on Labanotation

Fig. 3 Taiwanese's folk dance

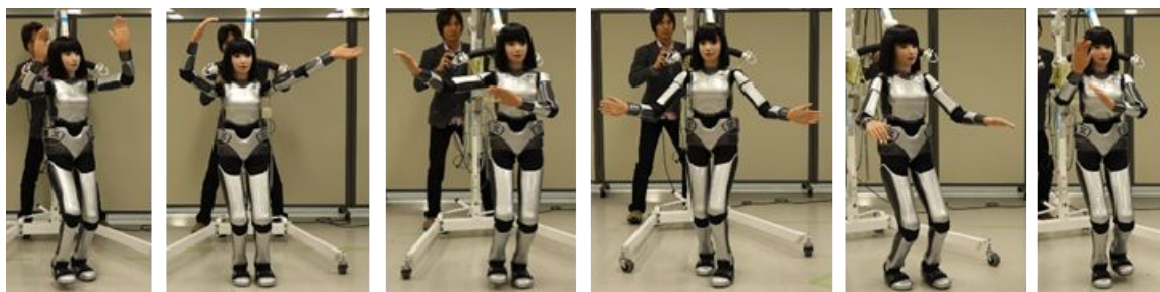


Fig. 4 Donpan dance by HRP-4C

・プラットフォーム作成とタスク・スキルの実装

タスク・スキルの実現が行えるようロボット動作生成・検証用のプラットフォームを構築した。まず、人の動作データやロボットモデルを読み込み、それらを対象としたプログラムを記述し、その適用結果のシミュレーションや可視化を行うためのソフトウェアシステムを、産総研で開発している統合ロボットソフトウェア

ア "Choreonoid" に機能を追加することで構築した。また、ハードウェアのプラットフォームとして産総研で開発した二足歩行ヒューマノイドロボット "HRP-4C" を用いることとし、このモデルを対象とした動作の生成、シミュレーション、実機実行をすべて上記のソフトウェアシステム上で行うための機能を開発した。これにより、本研究に関わる手法の実装と検証を効率的に行うことを可能とした。

このシステムの上で、テンポ可変な舞踊動作生成手法について、脚動作生成部の実装を行、HRP-4C を用いた実験による検証を行った。

この手法では、「脚タスクモデル」によって脚の動作を構造的に記述する。この記述をロボットに適用する際に、脚動作のバリエーションを記述する「スキルパラメータ」の適応的な調整を行うことで、脚における自己干渉やアクチュエータの速度超過を回避する。また、Zero Moment Point に基づく腰軌道の補正によってロボットの動力学的安全性を確保し、ロボットが転倒しない動作とする。以上の枠組みについて、動作速度の倍率を動的に変化させるための処理を統合し、ロボットが舞踊実演中の動作実行時のテンポの変更に対応できる動作軌道生成システムを構築した。

このシステムを HRP-4C ロボット上に実装し、「どんぱん踊り」という舞踊を対象に

検証を行った。その結果、舞踊の速度倍率をオリジナルの0.85倍～1.2倍の間で変化させた動作についても、Fig.4 に示すように、ロボット実機が転倒せずに実行できることを確認し、提案手法の有効性を示した。

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3件)

1. Task modeling for reconstruction and analysis of folk dances, Katsushi Ikeuchi, Yoshihiro Sato, Shin'ichiro Nakaoka, Shunsuke Kudoh, Takahiro Okamoto and Hauchin Hu, in *Dance Notations and Robot Motion*, Jean-Paul Laumond and Naoko Abe (eds.), Springer, 査読無, 2016, pp. 187-208
2. Analyzing Taiwanese Folk Dances via Labanotation and Comparing Results from Interdisciplinary Studies, H. Hu, R. Tseng, C. Lin, L. Ming, K. Ikeuchi, *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, Springer, 査読無, 2014. pp. 196-206
3. T. Okamoto, T. Shiratori, S. Kudoh, S. Nakaoka, K. Ikeuchi: "Toward a Dancing Robot With Listening Capability: Keypose-Based Integration of Lower-, Middle-, and Upper-Body Motions for Varying Music Tempos," *IEEE Trans. Robotics*, 査読有, vol.30, no. 3. pp.771-778, June 2014.

[学会発表](計20件)

1. H. Hu, R. Tseng, L. Ming, C Lin, K. Ikeuchi: “Representing Postures and Emotions of Taiwanese Indigenous Folk Dances via Labanotation and Laban Effort,” in *Proc. Virtual Systems Multimedia (VSMM)*, December 2014, Hong Kong(China),
2. N. Hayashi, T. Tomizawa, T. Suehiro and S. Kudoh: “Dual Arm Robot Fabric Wrapping Operation using Target Lines,” in *Proc Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 2185-2190, December 2014. Hanoi(Vietnam)
3. T. Okamoto, T. Shiratori, M. Glisson, K. Yamane, S. Kudoh, and K. Ikeuchi: “Extraction of person-specific motion style based on a task model and imitation by humanoid robot,” In *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages1347-1354, September 2014, Chicago(USA)
4. N. Hayashi, T. Tomizawa, T. Suehiro, and S. Kudoh: “Stereo Calibration Method using Mirrored Images Containing a Camera,” In *Proc. Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pages 1420~1425, December 2013, Shenzhen(China)
5. N. Hayashi, T. Tomizawa, T. Suehiro, and S. Kudoh: “Humanoid Self-correction of Posture using a Mirror,” In *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 1614~1619, November 2013, Tokyo Big Sight (Koto-ku,

Tokyo)

6. H. Hu, S. Kudoh, K. Ikeuchi, “The Study of Taiwanese Indigenous Dance with Labanotation and an Application,” in *Proc. Int. Conf. Culture and Computing*, September 2013. Ritsumeikan University(Kita-ku, Kyoto)
7. S. Nakaoka and T. Komura, "Interaction Mesh Based Motion Adaptation for Biped Humanoid Robots", in *Proc. Int. Conf. Humanoid Robots*, pp. 625~631, November, 2012, Business Innovation Center Osaka(Chuo-ku, Osaka)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

池内 克史 (Ikeuchi, Katsushi)
東京大学・大学院情報学環・名誉教授
研究者番号：30282601

(2)研究分担者

中岡 慎一郎 (Nakaoka, Shin'ichiro)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・
知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号：60443206

工藤 俊亮 (Kudoh, Shunsuke)
電気通信大学・大学院情報システム学研
究科・准教授
研究者番号：90582338

(3)連携研究者

なし