

論文の内容の要旨

論文題目

TEMPORAL AND SPATIAL MOTION STYLE IMITATION BASED ON
PHYSICAL CONSTRAINTS FOR HUMANOID ROBOT
(人型ロボットのための物理的制約に基づいた
時間的ならびに空間的動作スタイルの模倣)

氏 名 岡元 崇紘

近年、ロボティクスにおけるエンターテイメント分野への応用が注目されており盛んに研究されている。特に、ヒューマノイドロボットは人間と同じような形状を持ち、人間にとって親しみ易いという特徴があるため、歌や踊りといったパフォーマンスや人との自然なインタラクションによって、テーマパークやステージショーなどで観客を楽しませるといった活用方法が期待される。

そのために、モーションキャプチャシステムなどを用いて人間の動きを取り込み、自然で滑らかなヒューマノイドロボットの全身動作パターンを作り出す技術などが多く提案されてきている。人とロボットの体格や重心配分、関節自由度、可動範囲、速度範囲といった身体特性が異なるため、多くの場合は入力動作をそのままロボットに適用しただけでは実行出来ないが、既存研究では、まず人間の動きから大まかな動作パターンを作成し、ロボットの身体的制約を考慮した変形、バランス補償などの適用によってロボットに実行可能な動作パターンを生成している。

しかしながら、エンターテイメントとしての活用を考えた場合、カメラやマイクروفोनを通じて外部環境の情報を知覚し、状況に適した動作バリエーションを提示できる事が望ましい。例えば、舞踊の場合、演奏される音楽のリズムに演者の身体の動きを合わせる事が舞踊として重要なファクターであるが、モーションキャプチャーデータを元にロボットの身体的制約や力学的整合性を満たしただけの動作パターンを提示するだけでは、テンポの変化による時間的なずれを解消することが難しい。

このように外部環境の情報の知覚とそれに基づいたバリエーションの生成は、エンターテイメントロボットにとって重要な要素の一つであるが、ロボティクスの分野ではまだあまり研究されておらず、コンピュータグラフィックス (CG) の分野で研究されているモーションキャプチャーの加工・編集手法も身体的制約を考慮する必要のあるロボットにはそのままでは適用することが出来ない。

そこで本研究では、ヒューマノイドロボットで実行可能な全身動作バリエーションの生成手法として、人間の動作スタイルをモデル化・抽出する事で様々なバリエーションを生成する手法について提案する。提案する手法は観察学習パラダイムと呼ばれる、ロボットが人の動作を観察する事で自動的に自身の体に適応した全身動作を習得・再現するためのフレームワークの拡張である。このフレームワークでは人間の一連の動作は「何をするか(What to do)」を表すタスクと、各タスクに対してそれを「どのようにするか(How to do)」を表現するスキルパラメータという2つの概念によって本質的な要素のみに抽象化され、ロボットの身体的特性に応じた軌道によってタスクが再現される。我々の手法ではこのタスクを実行するためのスキルパラメータを、ロボットの身体的制約の下で、人間の動作スタイルを最もよく反映させるように最適化する事で、動作のバリエーションを生成する。

本論文では主に、以下に述べる時間的なならびに空間的な動作スタイルの模倣による動作の生成について提案する。

1つ目の研究では、舞踊動作を対象に、同一の楽曲でテンポのみが変化した場合の人間の動作変形の様子を観察し、観察から得られた知見を元に、ロボットの全身動作パターンを任意の速さのテンポに適用させる手法を提案する。ある同一の楽曲に合わせた舞踊を披露する際、通常速のテンポと1.5倍速のテンポでは、同一の演者による舞踊動作でも軌道の細部に変化が生じる。これは、筋力などに由来する運動性能の範囲内で楽曲のテンポに追従するために、舞踊として重要な要素のみを残した省略が行われるためであると考えられる。我々はこれを時間的な動作スタイルと呼び、舞踊動作における人間の時間的な動作スタイルを観察し、ロボットによる模倣を試みた。本研究では、テンポの速さに応じた軌道変化の様子を3人の舞踊者について観察し、キーポーズ（留め動作）と呼ばれる特定の姿勢とそのタイミングが優先的に保存される傾向にあるという知見を得た。このような知見を元に人間の動作変形をモデル化し、ロボットの動作生成に適用する事で、音楽のテンポに応じて自然なバリエーションを生成出来る手法を開発した。また、この時間的な動作スタイルのアプリケーションの一例として、人間の生演奏など、音楽のテンポが一定でない楽曲の場合でも、ロボットがそのテンポをリアルタイムに知覚しながら、リズムに合った舞踊動作を披露する「音楽フィードバックシステム」を設計し、その有効性を示す。

2つ目の研究では、輪投げ動作を対象に、同一のタスクを行う場合でもプレイヤーの個性によって動作の軌道が異なる事を観察し、この個性による軌道の違いの観察に基づいて、プレイヤーに固有の動作の特徴をロボットに抽出・模倣させる手法を提案する。我々はこのような個性による軌道の変化を空間的な動作スタイルと呼ぶ。本研究では、7人の異なる動作スタイルをもつプレイヤーの輪投げ動作をタスクモデルによってタスクとスキルに分解し、複数回の試行におけるスキルの観察を行った結果、同一のタスクを行う場合でも、個人によってスキルの統計的な平均・分散に明確な違いが見られるという知見を得た。我々はこのような知見を元に、個人のスキルの統計的な傾向をスタイルパラメータとして定義し利用することで、ロボットに人間の空間的な動作スタイルの抽出と模倣を可能にする手法を開発した。妥当性の検証のため、無作為に抽出した3人のプレイヤーから空間的動作スタイルを抽出し、実際のヒューマノイドロボットの動作パターンを生成し、オリジナルの動きと比較を行った。生成された動作パターンからは、各プレイヤーに固有の動作の特徴を観察することが出来た。

本論文ではこれまでにロボティクスの分野であまり扱われて来なかった動作スタイルの模倣について着目し、LF0のフレームワークの拡張によってロボットの全身動作パターンの自然なバリエーションを生成する手法を提案し、実際のヒューマノイドロボットを用いたデモンストレーションによって有効である事を示した。また、本研究で提案する時間的スタイルの模倣は、舞踊動作というドメインの中であれば異なる舞踊にも有効であり、空間的な動作スタイルの模倣は輪投げ動作以外の様々な全身動作について応用可能である。

3. 大きさはA4判とし4ページ以内、10ポイント程度の活字で印刷したものとしてください。

(日本語の場合は4,000字以内(英語の場合は2,000語以内)とする。)

4. 第1ページ上部に、タイトルを「論文の内容の要旨」とした上で、論文題目及び氏名を記入し、その下から内容の要旨を記載してください。

1. **Two copies of your thesis summary must be submitted in paper form. Electronic data of the thesis summary must also be submitted: a PDF file is mandatory, while submission of the original document file (MS Word or other) is optional.**
2. **If you are obtaining your Doctorate degree by submitting a thesis (as a Ronpaku), your thesis summary must be written in Japanese.** (If you are obtaining your degree by completing the course requirements of a Doctorate program, a thesis summary in English is acceptable.)
The thesis summary is formatted with **horizontal writing and single-sided print.**
3. The thesis summary is to be printed on **A4-size paper** and digested into **four pages or less** using **approximately a 10 point type.**
(The restriction is **4,000 characters** for a Japanese summary and **2,000 words** for an English summary.)
4. **In the upper part of the first page, the text “論文の内容の要旨” is typed and the title of the thesis and the name of the applicant are typed on subsequent lines. The main text of the thesis summary begins below the above heading section on the same page.**