

論文内容の要旨

博士論文題目 ヒューマノイドによる全身運動学習に関する研究：
運動課題の特徴に基づく効率的学習の実現

氏名 松原 崇充

(論文内容の要旨)

本論文では、ヒトが持つ特定の運動中の低次元性に着目し、高次元の状態変数を近似的な低次元空間に射影して学習を行なうことで、効率的に全身協調動作の学習を実現する方法を提案している。また、低次元空間において表現される動作を高次元空間において実現する際に生じる冗長問題を、神経振動子により構成される Central Pattern Generator (CPG) や、ヒトの動作の観測データ等を用いて解決することをそれぞれ提案している。

はじめに、ヒューマノイドの特徴的な動作として、2 足歩行運動について考える。ここでは、神経振動子により構成される CPG を導入する。これにより、各関節への適切な協調性が導入されるだけでなく、環境との引き込み現象により、環境と同期した動作が得られることが期待される。提案手法では、ロボット-CPG-環境間の同期特性に着目して、ロボットからの一部のセンサ情報のみに基づく CPG への適切なセンサフィードバックを方策勾配法により学習する。これにより、効率的に 2 足歩行動作の学習が実現されることを実験的に示している。また、実機を用いた検証を行っている。

次に、ヒューマノイドロボットによる全身関節を用いた動作の学習を考える。ここでは、ヒューマノイドの力学的な特徴に着目して、動作の学習に適した低次元の特徴空間を構築している。具体的には、巨視的な力学的特徴変数の一つである重心の運動に着目する。重心運動を直接的に学習し、さらにこれを適切に全身運動に分配することで、結果的に、目標とする全身協調動作を実現する方法を提案している。このような方法により、学習する独立変数が極端に減少するだけでなく、重心と Zero Moment Point (ZMP) 間の関係式を用いることで、学習中にもロボットのバランスや接地条件を力学的に陽に考慮できる。これにより、ベースリンクの持つ自由度を拘束でき、ロボットの力学的な自由度を減少させている。結果的に、各関節が協調した全身パンチ動作が学習されることを実験的に示している。

さらに、上述の動作学習の際にも問題となる重心-全身関節間の冗長性を、ヒトの動作の観測データを基に縮約する方法について検討している。数値シミュレーションにより、ヒトのスクワット動作より抽出された低次元特徴空間を用いて、ロボットの重心を操作することにより、ヒトの動作の特徴を含むロボットのスクワット動作を実現できることを実験的に示している。

(論文審査結果の要旨)

本論文では、ヒトが持つ特定の運動中の低次元性に着目し、多自由度ヒューマノイドロボットの高次元状態変数を近似的な低次元空間に射影して学習を行なうことで、全身協調動作の運動学習を実現する方法を提案している。さらに、実ロボットを用いた実験により有効性の検証を行っている点も大変意義がある。本論文の主な成果は以下の3点に要約される。

1. ヒューマノイドの特徴的な動作として、2足歩行運動の学習について検討している。神経振動子により構成される Central Pattern Generator (CPG) を導入することでもたらされるロボット-CPG-環境間の同期特性及び、方策勾配法の部分観測問題への有効性に着目し、ロボットからの一部のセンサ情報のみに基づく CPG への適切なセンサフィードバックを学習する方法を提案している。これにより、効率的に2足歩行動作の学習が実現されることを実験的に示し、実ロボットを用いた検証を行った。

2. ヒューマノイドロボットによる全身関節を用いた動作の学習について検討している。ここでは、ヒューマノイドの力学的な特徴に着目して、動作の学習に適した低次元の特徴空間を構築する。具体的には、巨視的な力学的特徴変数の一つである重心の運動に着目する。重心運動を直接的に学習し、さらにこれを適切に全身運動に分配することで、結果的に、目標とする全身協調動作を実現する方法を提案する。このような方法により、学習する独立変数が極端に減少するだけでなく、重心と ZMP 間の関係式を用いることで、学習中にもロボットのバランスや接地条件を力学的に陽に考慮できる。これにより、ベースリンクの持つ自由度を拘束でき、ロボットの力学的な自由度を減少させる。結果的に、各関節が協調した全身パンチ動作が学習されることを実験的に示し、実ロボットを用いた検証を行った。

3. さらに、上述の全身動作学習の際に問題となる重心-全身関節間の冗長性を、ヒトの動作の観測データを基に縮約する簡便な方法について検討している。具体的には、観測データへの寄与率と重心可操作性の基準に従って選択された主成分分析 (PCA) の特徴基底に基づいて、重心運動から全身関節運動への分配を行うことで冗長性を削減する。数値シミュレーションにより、ヒトのスクワット動作より抽出された低次元特徴空間を用いてロボットの重心を操作することにより、ヒトの動作の特徴を含むロボットのスクワット動作を実現されることを実験的に示した。

以上のように、本論文は今後実用化が期待されるヒューマノイドロボットによる自律的な環境適応機能の実現に大きく貢献している。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値があるものと認める。