

論文内容の要旨

博士論文題目 胴体姿勢推定と重心を用いた
 ヒューマノイドロボットのための実時間全身動作生成

氏 名 築 地 原 里 樹

(論文内容の要旨)

家事を代行するヒューマノイドロボットにとって、自身の手が広い領域に到達できることは重要な課題であった。例えば、物体を操作するような作業において、対象物の場所は地面から人型ロボットの頭上まで及ぶ。また、環境が常に変化するためこれらの変化に適するためには、全身の逆運動学が実時間で計算できることが必要になる。

本研究では、視覚フィードバックを用いた上体の逆運動学について提案する。上体の運動学に対して、重み付き擬似逆行列を用いて各部の動きやすさを調整することで、動作の安定性を向上する。重み付き擬似逆行列や OpenRTM におけるパイプライン処理を用いることで、実時間性を向上する。行列の重みを用いることで、計算時間を多くかけず、安定な動作を獲得する。

次に、実時間の動作生成を達成するために逆運動学を簡素な問題へ分解する方法を提案する。胴体姿勢の回帰器を利用することで、下半身と双腕の逆運動学を独立に計算する。入力の手先位置に対して、胴体姿勢を計算し、双腕の到達度に基づき目標の重心位置を計算する。ロボットの各制御周期において、重心位置、足の位置姿勢と胴体姿勢から下半身の関節角を求め、最後に双腕の関節角を計算する。

実験では、ヒューマノイドロボットが目標位置に手を伸ばす動作に提案手法を適用する。動作中の ZMP の軌道を評価することで、提案手法を到達運動に適用した際の安定性を確認する。また、ヒューマノイドロボットに対して、屈伸動作を伴う低い位置への目標に対する到達運動に本手法を用いた。提案した逆運動学法は、ヤコビアンを用いた数値的解法よりも 10 倍早く動作生成ができることが確認できた。複数の到達運動での手先の誤差ノルム、計算時間や到達時間を評価し、従来の数値解法よりも改善できることが確認できた。特に左右に目標位置が遠い場合に、提案手法が胴体姿勢を事前に獲得できることから精度向上や動作生成にかかる計算時間が短いことが確認できた。連続的にランダムな目標位置を追従する動作に適応することで本手法の応用性を、近年用いられる従来手法と比較することでより高い精度で重心と手先位置を制御できていることが確認できた。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、ヒューマノイドロボットの普及が試みられる中で、高次元な計算にかかる実時間動作生成に着手している。環境に応じた自由な動作生成を目指して、実時間動作生成のための方法を提案している。従来、活発に研究されている機械学習手法に着目し、計算コストのかかるヒューマノイドロボットの全身運動学問題に適用している。家庭環境において到達動作を生成することで、実際のロボットを用いた評価をしている。従来法との比較や計算オーダーの算出を用いて、本研究の性能や妥当性を評価している。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. ロボットに必要な実時間性とエンドエフェクタの制御における精度を両方担保する方法に提案性がある。実時間性の問題に対し機械学習を用いて計算時間を短縮し、末端リンクの運動学を各々解いてエンドエフェクタを正確に制御することで、ヒューマノイドロボットの実時間運動生成を達成している。
2. 動力学シミュレータ内における従来法との比較実験を通して、本研究を評価している。近年の全身動作生成の逆運動学モジュールを用いて動作生成実験を試み、手先精度と計算時間により性能向上が確認できる。
3. 様々な姿勢に対しての動作実験を試みることで、本研究の応用性が確認できる。家庭環境を模擬した環境内での棚と机に対する作業やロボット前方にランダムな目標姿勢が与えられた際の動作生成を完了できていることから、実際の生活環境に応用可能であることが確認できる。
4. ロボットの安定性の向上のため、各部の運動学の協調する手法を提案し、実際の生活環境における HRP-4 を用いた実験から提案法の実用性を確認できる。ロボットに搭載されたカメラの入力に応じた動作を生成することで、手先での物体のトラッキングや動物体への適用性が確認できる。
5. 計算オーダーを用いて検証を行うことで提案手法の妥当性も確保している。従来全身運動学問題に使われる数値解法のオーダーと比べることで、計算時間における優位性が確認できる。

以上のように、本論文はヒューマノイドロボットの未着手の課題である実時間性の向上を解決し、実世界へヒューマノイドロボットを導入する際に必要な安定性に貢献している。よって本論文は、博士（工学）の学位論文としての価値があるものと認める。