

# 動力学的要素を考慮したマルチリンクロボットの動作生成

日大生産工 ○和地 天平 日大生産工 網島 均

## 1 緒言

近年では、様々な分野においてロボットの利用が増加している<sup>1)</sup>。ロボットが利用される分野が拡大する事によって、ロボットの利用者が多様化していくことが考えられる。ロボットの運用は様々な面で専門的知識や技術が要求されるため、そういった専門性を持たないユーザーの利用を考慮して運用を簡易化するための手法が求められている。

今回我々は、ロボットの運用の中でも特に動作生成に着目した。特に、動作トルクや運動エネルギーと言った動力学要素を考慮した動作生成手法は、専用の評価指標の定義など、高い専門性が要求される事が多い。しかし、動作の生成はユーザー自ら行わなければならない場面が多く、ロボット運用の簡易化には、動作生成の簡易化が重要であると考えられる。本研究では、動力学を考慮した動作生成を、簡易的に考慮するための手法を提案することを目的とする。

## 2 従来の動作生成手法

従来の動作生成手法では、ロボットのヤコビ行列の擬似逆行列を導入し、その零空間を利用する。この手法は、特定の手先位置を実現可能な全ての姿勢から、評価指標を用いることで、最適な動作の選出を行う。動力学的要素を考慮する場合、トルクの二乗和<sup>2)</sup>や運動エネルギー<sup>3)</sup>などが評価指標として用いられる。この手法は、評価指標に応じた最適動作を得ることが出来る一方で、逆行列計算や零空間の導出など、計算コスト大きい計算が必要となる事や、評価指標の設定に専門的な知識が必要となるといった欠点がある。

## 3 提案する動作生成手法

ロボットの動作において、動作トルクや運動エネルギーと言った動力学的要素は、ロボットの動作速度に大きく依存している。動作トルクや

運動エネルギーを低下させたいと考えた場合、指令値の動作速度を遅くすることで、容易にそれらを低下させることが出来る。しかし、単純に動作速度を落とすだけでは、作業時間の増大を招いてしまうため、適切な動作速度が必要となってくる。本研究では、ユーザーによって生成された、動力学的要素を考慮し無い動作を、任意に減速させることで、動力学的要素を考慮した動作に修正する手法を提案する。下図1に動作修正アルゴリズムを示す。

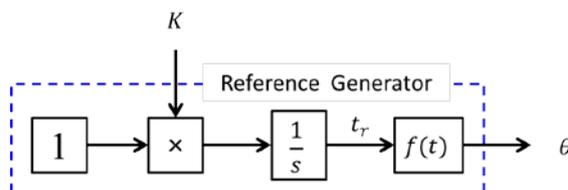


図1 動作修正アルゴリズム模式図

図中の、 $K$ は動作修正係数、 $f(t)$ はユーザーが生成した動作を時間関数で表記したもの、 $t_r$ は指令値の時間、 $\theta$ は修正された動作をそれぞれ示している。また動作修正係数 $K$ は0から1の間で変動する。ユーザーの生成した指令値は、定数1と、 $K$ の積を積分した値を時間として進行していく。 $K$ が1に近いとき、指令値の時間進行速度と実時間の進行速度はほぼ同じになり、 $K$ が0に近づいたときは、指令値の時間進行はほぼ停止する。運動エネルギーや動作トルクに応じて $K$ を増減させることで、指令値の進行速度を減速させ、トルクや運動エネルギーを低下させる。

## 4 シミュレーションによる検証

提案する動作修正手法を用いて、実際に動作の修正を行うシミュレーションを行った。

### 4.1 シミュレーション対象

図2に修正を行う動作の模式図を示す。対象は三つの関節を持つ連続チェーン型のロボットアームとし、水平の状態から垂直の状態まで

起き上がる動作を目標動作とした。各関節角度及び関節トルク，はベースリンクから順に，それぞれ， $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ とする。本シミュレーションでは，2秒間で目標の姿勢までたどり着く動作を初期の動作とした。また，各関節が独立して動けるように，絶対角度で指令値を与えた。

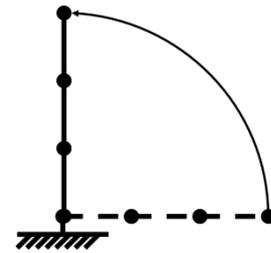


図2 対象動作の模式図

#### 4. 2 動作修正係数 $K$ の導出

動作修正係数 $K$ の導出指標として，本シミュレーションでは動作トルクを用いた。式(1)に $K$ の導出式を示す。

$$K = \sqrt{1 - \tau^2 / \tau_l^2} \quad (\tau < \tau_l) \quad (2)$$

$$K = 0 \quad (\tau \geq \tau_l)$$

式中の， $\tau$ は動作トルク， $\tau_l$ は最大トルクをそれぞれ示している。この式は短径を1，長径を $\tau_l$ とする楕円の第一象限部分を示している。これは，トルクが0に近い場合は $K \approx 1$ となり，トルクが設定した最大トルクを越えた時は $K=0$ となるように設定した。このようにすることで，トルクに余裕があるときは本来の速度で動作し，最大トルクを越えた際は停止する。本シミュレーションでは最大トルクを30[Nm]とした

#### 5 シミュレーション結果・考察

図3, 図4にシミュレーションの結果得られた動作の時刻歴応答と，動作トルクの時刻歴応答をそれぞれ示す。どちらのグラフも，実線が修正前の動作，破線が修正後の動作を示している。

修正前の動作では，第一関節と第二関節が最大トルクを越える動作となっていた。修正アルゴリズムを適用する事で，第二関節は必要トルクが最大トルク以下となる動作に，第一関節は必要トルクが最大トルクを下回るまで停止するという動作に修正された。この結果から，提案する動作修正アルゴリズムが，動力学の要素を考慮した動作修正において有効に機能していることが確認できた。

#### 5 まとめ

本研究では，ロボットの動作生成を簡易化するために，動力学を無視した指令値を，動力学を考慮した指令値に修正する手法を提案し，シミュレーションによって有効性を確認した。今後は，実機実験で手法の有効性を検証していく。

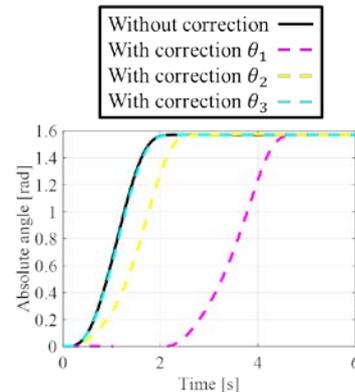


図3 動作の時刻歴応答

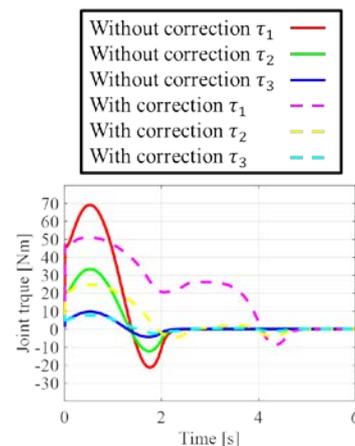


図4 動作トルクの時刻歴応答

#### 「参考文献」

- 1) 日本経済再生本部，ロボット新戦略，ロボット革命実現会議，ロボット新戦略要約，(2015).
- 2) Hollerbach, J.M. and Suh, K.C., Redundancy resolution of manipulators through torque optimization, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.4 (1987), pp.308-316.
- 3) Khatib, O., A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation, IEEE, Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.1 (1987), pp.43-53.