

リカレント型ニューラルネットワークを用いたロボット駆動トルクの学習とフィードフォワード制御器への応用

永田研究室 E105019 伊藤 考優

1. 目的

本研究ではまず、6関節を有する垂直多関節型産業用ロボット「PUMA560」の運動学モデルを用いて関節座標系における目標軌道の作成を行う。つぎに、モデルベースサーボ系の1つであるトルク計算制御法を用いてロボットを目標軌道に倣って制御するために必要となる関節駆動トルクを計算する。この目標軌道とトルクとの関係をリカレント型ニューラルネットワーク(RNN)に学習させてフィードフォワード(FF)制御器を構成し、その応用方法を検討する。

2. 実験内容

数値解析ソフト「MATLAB」の環境下で、RNNによる学習と制御系の設計を行った。

(1) 目標軌道の生成

目標軌道は、ロボット座標系においてx軸方向に0.2m直線移動中、z軸方向に振幅0.1mの正弦波を描く軌道である。ここでは逆キネマティクスを用いて、生成した手先の目標軌道を実現するために必要となる関節座標系での角度 $\theta \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ (第1関節 ~ 第6関節)を計算する。角度 θ はNNの入力側の教師信号とした。

(2) トルク計算制御法を用いた関節駆動トルクの生成

次式で与えられるトルク計算制御法は関節座標系でのサーボであり、サーボ部分とモデルベース部分から構成されるフィードバック(FB)制御則である。

$$\tau = M(\theta)[\ddot{\theta}_r + K_v(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}) + K_p(\theta_r - \theta)] + H(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \quad (1)$$

ここで、 $M(\theta) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ は慣性項行列、 $H(\theta, \dot{\theta}) \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ は遠心・コリオリ力項ベクトル、 $G(\theta) \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ は重力項ベクトルである。また、 $K_v \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ は速度フィードバック(FB)ゲイン行列、 $K_p \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ は位置FBゲイン行列、 $\theta_r \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ は目標軌道である。ここで得られた各関節の駆動トルク $\tau \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ (第1関節 ~ 第6関節)を出力側の教師信号として用いた。

(3) RNNによるFF制御器の設計

関節ごとにRNNを計6器配置した。関節の目標軌道と駆動トルクとの関係をそれぞれ入出力側の教師信号とし、バックプロパゲーションアルゴリズムにより十分学習させた後、6器のRNNをもとにFF制御器を構成した。

(4) 「RNNによるFF制御器」と「モデルベース部分のないトルク計算制御法」との併用

RNNによるFF制御器と、モデルベース部分のないトルク計算制御法を併用することにより、トルク計算制御法のモデルベース部分をFF制御器が代替可能かどうか実験を行った。

3. 結果

RNNに目標軌道と関節駆動トルクとの関係を学習させることで、FF制御器を構成した。特に、RNNの特徴である後段から前段へのFB構造により優れた学習結果が確認された。この学習されたRNNは、トルク計算制御法に含まれる遠心・コリオリ力項と重力項などモデルベース部分が生成するトルクを近似的に出力することができていたため、その代替器としての応用が可能である。