

# 力覚センサを用いたロボットアームの受動的力制御と能動的力制御

永田研究室 E105047 田邊 高志

## 1. 緒言

本研究では、ロボットアーム先端に取り付けた力覚センサとロボットの高剛性な位置サーボ系を用いて受動的力制御と能動的力制御を実現する。まず受動的な力制御方式についてはステイフネス制御、コンプライアンス制御、インピーダンス制御の三種類の制御則を用いることにより、剛性の高い機械的な動作ではなく軟らかくバネの様な動作をさせるようにする。次に、環境に対して能動的に力を加える力制御方式を用いて、対象物への接触実験を行ったので報告する。

## 2. 研究内容

A) 受動的力制御では次式で与えられるインピーダンス制御モデルを用いる。

$$\mathbf{M}_d (\ddot{\mathbf{x}} - \ddot{\mathbf{x}}_0) + \mathbf{B}_d (\dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_0) + \mathbf{K}_d (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) = \mathbf{F} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{M}_d \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$ 、 $\mathbf{B}_d \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$ 、 $\mathbf{K}_d \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$  はそれぞれ目標慣性、目標粘性、目標剛性の行列を表す。また、 $\mathbf{x} \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$ 、 $\dot{\mathbf{x}} \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$ 、 $\ddot{\mathbf{x}} \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$  は位置、速度、加速度ベクトルを表す。 $\mathbf{F} \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$  はアーム先端に作用する外力である。 $\mathbf{x}_0$  は初期位置である。式(1)から得た解 $\mathbf{x}$ をロボットアームの内部サーボ系の目標位置 $\mathbf{x}_d \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$ に代入することで移動量 $\Delta \mathbf{x} \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$ を決定し、ロボットアームのインピーダンス制御を実現する。なお、ロボットの内部サーボ系は次式で与えられる。

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{K}_p (\mathbf{x}_d - \mathbf{x}) \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{K}_p \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$  は対角に設定される位置フィードバックゲイン行列である。

B) 能動的力制御では次式で与えられる力制御則を用いる。

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{K}_p (\mathbf{F}_d - \mathbf{F}) \quad (3)$$

ここで $\mathbf{F}_d \in \mathcal{R}^{3 \times 1}$  は目標の力ベクトルである。これは簡単な比例制御であり、アーム先端に作用する力 $\mathbf{F}$ を目標値 $\mathbf{F}_d$ に追従させることができる。

## 3. 結言

受動的な力制御においてはロボットアームに柔軟な動作をさせることを目的とした。図1には、実験に用いたロボットアームと力覚センサを示す。実験により、三種類の制御則それぞれの目的に応じた柔らかさを発揮することができた。特に、インピーダンス制御では慣性項と粘性項、剛性項で外力を吸収するため、他の制御則より柔軟な動作をさせることができた。インピーダンス制御の実験で減衰係数を変化させたときの応答を図2に示す。 $\zeta$ は不足減衰に設定する減衰係数である。一方、能動的な力制御においては、外力がない場合、ロボットアームは一定の移動量で動作し続け、アーム先端の力覚センサが対象物に接触し力を検知した時は、その力の大きさに応じて移動量を変化させることで力を一定に保ちながら対象物への追従動作を行うことができた。

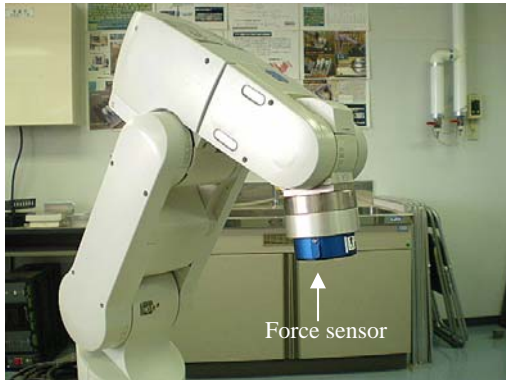


Fig. 1 Robot arm and force sensor

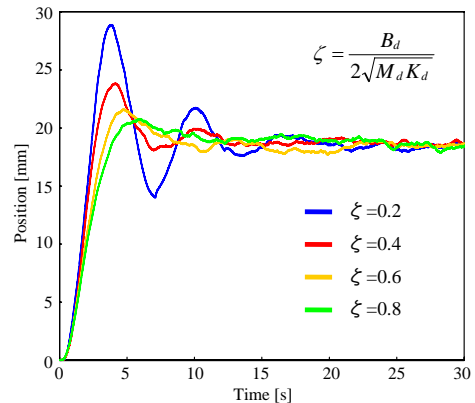


Fig. 2 Experimental results of impedance control