

力制御を用いたロボットによる組立作業

福本 靖彦（システム技術部門）

1 はじめに

製造現場における主要な作業の一つである組立作業では、ヒトは手先の感覚を利用して作業している。これをロボットで再現するには力センサを用いた制御（力制御）を行う必要がある。本稿ではヒトが作業したときの手先の位置や力のデータを参考にし、更に実機ベースの最適化を適用して力制御の設計を行った2つの事例を紹介する。

2 力制御の設計

力制御で最も一般的な手法であるインピーダンス制御を考える。これはロボットの手先を以下の関係を満たすように制御するものである。

$$m\ddot{x} + d\dot{x} + k(x - x_{ref}) = f - f_{ref}$$

ここで、 x , \dot{x} , \ddot{x} はロボットの手先の位置、速度、加速度であり、 f はロボットの手先に作用する力である。 x_{ref} と f_{ref} はそれぞれロボットの手先の位置と力の目標値である。 m , d , k はそれぞれ慣性、粘性、剛性特性を表すパラメータである。力制御の設計問題は x_{ref} , f_{ref} , m , d , k の値を適切に決める問題と言える。

3 提案手法

3.1 単一動作からなる例^[1]

円柱部品の外周にリング状のゴムパッキンを取り付ける図1の作業を考え、力制御によりうまく力を逃がすことでパッキンへの負荷を最小限にすることを図った。

まず力を吸収する振る舞いは m , d , k により決まると考え、 x_{ref} と f_{ref} は0として考えた。ヒトの作業データにおける手先位置・速度・加速度と手先に作用した力の相関を調べると、図1の X 方向では剛性が支配的であり、 Y 方向では粘性が支配的であることが分かった。そこで X 方向

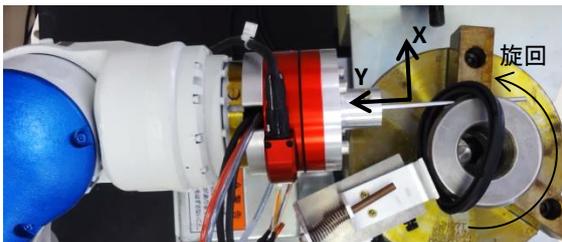


図1 パッキン取り付け作業

では剛性係数 k のみを設定し、 Y 方向では粘性係数 d のみを設定することとし、残りのパラメータを0としてパラメータ数を絞った。最後に、手先に作用する力のピーク値が最小となるよう残された2つのパラメータの値を滑降シンプレックス法により決定した。これによりヒトと同等レベルまで衝撃力を抑えられるようになった。

3.2 複数動作からなる例^[2]

図2のような部品の嵌めこみ作業は複数の動作からなっている。このとき動作ごとに適当なパラメータを設定する必要がある、より複雑な問題となる。

ここではヒトがマスタ・スレイブロボットを用いて遠隔操作したときの操作入力データを基に作業を完遂できるパラメータ値を抽出し、これを独自の最適化アルゴリズムによりサイクルタイムが最小となるよう最適化した。これにより、ヒトが遠隔操作した場合の約半分の時間で嵌めこみ作業を行えるようになった。

4 おわりに

本稿では2種類の組立作業において力制御を設計した事例を示した。詳細は[1, 2]を参照されたい。

参考文献

- [1] 福本, 山野辺, 万, 原田, ヒトの作業データにおける相関に基づくロボットの力制御設計, 日本機械学会論文集, vol. 85, no. 874, 18-00489, 2019.
- [2] 福本, 山野辺, 万, 原田, ヒトの作業特性に基づく複数ステップ力制御の最適化, 日本ロボット学会誌, 印刷中.

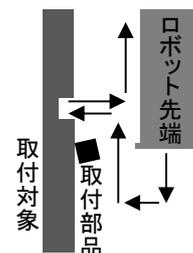


図2 複数動作からなる嵌めこみ作業