

ロボットによる力制御のための能動作業台 ～高精度な力制御の実現～

Active Worktable for Force Control of Robot Manipulators ～ Control System Design to Achieve Accurate Force Control ～

○学 清野 淳 (新潟工科大学院) 正 中嶋 新一 (新潟工科大)

Atsushi SEINO, Shin-ichi NAKAJIMA, Niigata Institute of Technology, Kashiwazaki Niigata

Key words Active worktable, Force control, MATLAB/SIMULINK

1. まえがき

磨き作業を市販の産業用ロボットを用いて自動化するためには、作業時の力を制御する必要がある。しかし、市販の産業用ロボットは位置制御を基本としているため、関節剛性が高く、力制御への適応が難しい。そこで、教示されたロボットの動きに順応して動く能動作業台を開発している^{1) 2)}。

従来の能動作業台の駆動には DD モータを使用していたが、本研究では実用性を考えて一般のサーボモータを用いた作業台を新たに開発した。また、従来の装置では汎用の計算機により制御系を構成していたが、高速リアルタイム制御ができないため、工具回転に伴う外乱等に適用できる広帯域の制御が困難であった。この問題を解決するために本研究では、制御装置として高サンプルレートで動作する専用コントローラ (WINCON コントローラ; カンサー社製) を適用した。このコントローラはシュミレーションソフト MATLAB/SIMULINK によりグラフィカルに実時間制御系を構成できることを特色としている。

以下、作業台の構造、運動学および力フィードバック制御の実験例を示す。

2. 能動作業台

2.1 構造

従来の能動作業台は、独自のリンク機構により 3 軸の並進運動を実現していた¹⁾。これに対し、ここでは作業台に工具を載せ、ロボットで対象物を動かすことを考え、作業台としては上下 1 自由度の機構とした。

Fig. 1 に作業台の構造を示す。新しい作業台は、運動を上下

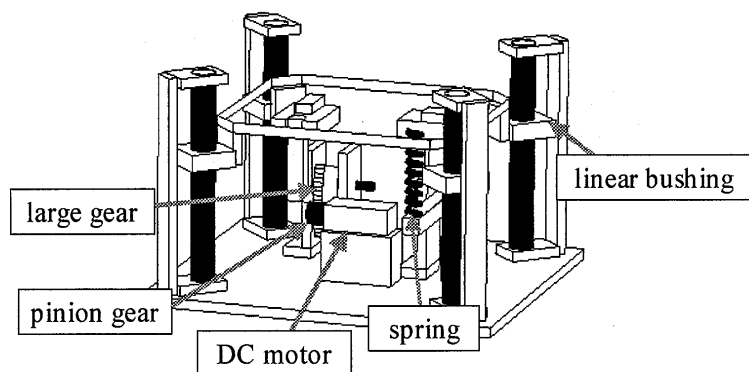


Fig.1 1 D.O.F. active worktable.

の並進運動に拘束するため、4 本のシャフトに摩擦力が小さいリニアブッシュを使用した。駆動には実用性を考えて高性能な DC モータを使用し、平歯車により一段減速し、リンク機構を介して上下にテーブルを動かしている。ここで一段減速としたのは、摩擦やガタを最小限にするためである。テーブルの重量バランスにはバネを取り付けた。またテーブルには力覚センサを取り付け、モータ駆動力を測定している。

2.2 運動学

Fig.2 にテーブル駆動リンクを示す。ここでは平歯車とピニオンにより 15/200 に減速して、リンクを駆動している。回転リンクの角度 θ とテーブル変位 x の関係は以下の式で与えられる。

$$x = L_1 \sin \theta + \sqrt{L_2^2 - (L_1 \cos \theta - L_0)^2} \quad (1)$$

この式を θ で微分すれば、次式のように回転速度とテーブル並進速度の関係が得られる。

$$\dot{x} = \left\{ L_1 \cos \theta + \frac{L_1 \sin \theta (L_1 \cos \theta - L_0)}{\sqrt{L_2^2 - (L_1 \cos \theta - L_0)^2}} \right\} \cdot \dot{\theta} \quad (2)$$

これより、トルク τ とテーブル推進力 f_x の関係は

$$\frac{\tau}{f_x} = L_1 \cos \theta + \frac{L_1 \sin \theta (L_1 \cos \theta - L_0)}{\sqrt{L_2^2 - (L_1 \cos \theta - L_0)^2}} \quad (3)$$

となる。

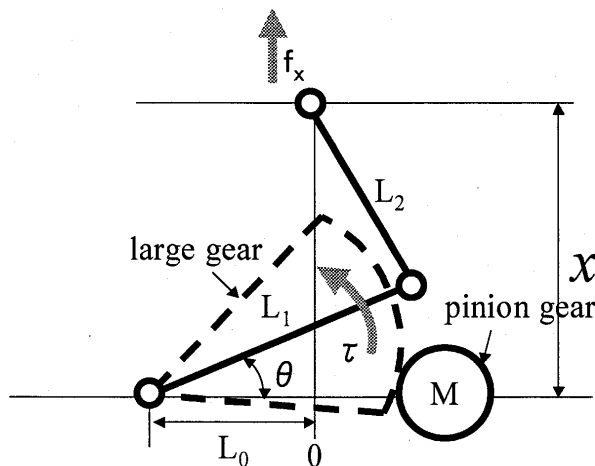


Fig.2 Link mechanism of the active worktable.

3. 制御系の構成

回転工具を用いた磨き作業では、工具回転に伴う力の変動が避けられない。従来の能動作業台の制御は、汎用の計算機により力制御系を構成していたため、広帯域の制御ができず、高精度な力制御を実現することが難しかった。そこで、ここでは専用リアルタイム制御装置（WINCON コントローラ）を使用した。

WINCON コントローラは、最小 0.1ms のサンプルレートで動作することができる。また MATLAB/SIMULINK により複雑なリアルタイム制御系を簡単に構成できることが特色である。これにより高速・高精度な力制御が可能となる。

Fig. 3 に WINCON コントローラを用いた制御系の構成を示す。

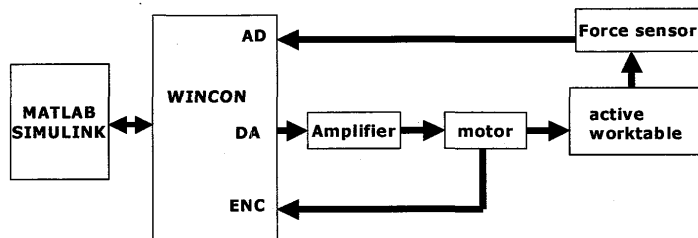


Fig. 3 System configuration.

MATLAB/SIMULINK により制御系を設計し、WINCON コントローラに伝える。インターフェイスとしては AD, DA, エンコーダカウンタを備えている。これらのインターフェイスを介して作業台、力覚センサと接続している。

制御例として簡単な力センサフィードバック制御系を設計した (Fig. 4)。

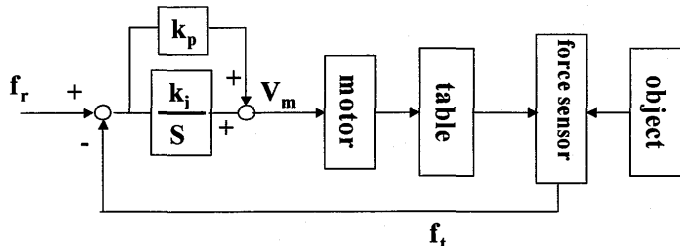


Fig. 4 Force control system.

ここで f_r は目標押し付け力、 f_t は力の測定値である。力覚センサによる押し付け力の測定値 f_t と目標値 f_r との誤差に PI 制御を用いて、モータ駆動電圧 V_m を決めている。これにより押し付け力は f_r に保たれる。ここで k_i は積分ゲイン、 k_p は比例ゲインである。 k_i , k_p により安定性と即応性の両立した制御を実現できる。

Fig. 5 に MATLAB/SIMULINK のプログラムを示す。PI コントローラに当たるのが点線で囲った部分である。この部分を変えることによりさまざまな制御系を適用することができる。また、サブブロック SRV02-E はインターフェイスのブロックになっている。DA, AD ブロックに接続することで、入出力プログラムを作成できる。なお、本プログラムでのサンプル時間は 1ms に設定している。

4. カセンサフィードバック実験

試作したシステムの性能を確認するために力センサフィードバックの実験を行った。

Fig. 6 に実験結果を示す。力の目標値を 1.5[N] から 2.5[N] までステップ状に変化させた。

(a) は積分コントローラだけの応答である。このとき $k_i = 2.5[\text{V/Ns}]$, $k_p = 0[\text{V/N}]$ とした。これに対して (b) には PI コントローラの応答を示す。このとき $k_i = 6.5[\text{V/Ns}]$, 比例ゲイン $k_p = 0.06[\text{V/N}]$ とした。PI パラメータを適切に選ぶことで高速な力制御ができることを確認した。

5. あとがき

以上、能動作業台を用いた高精度な力制御について検討を行った。高精度な力制御を実現するために、ここでは高サンプルレートで動作する専用コントローラを適用し、MATLAB/SIMULINK によりグラフィカルに制御系を構成した。また、基本的な実験により高速・高精度な力制御が行えることを確認した。

参考文献

- 1) S.Nakajima : Development of an Active Worktable and Its Application to Force Control of Robot Manipulators, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.12 No.3, pp 249-253, 2000
- 2) 水野 彰, 中嶋 新一: ロボットによる力制御のための三次元能動作業台～力センサフィードバックの適用～, 日本機械学会北陸信越支部第 41 期総会・講演論文集, pp311-312 (2004)

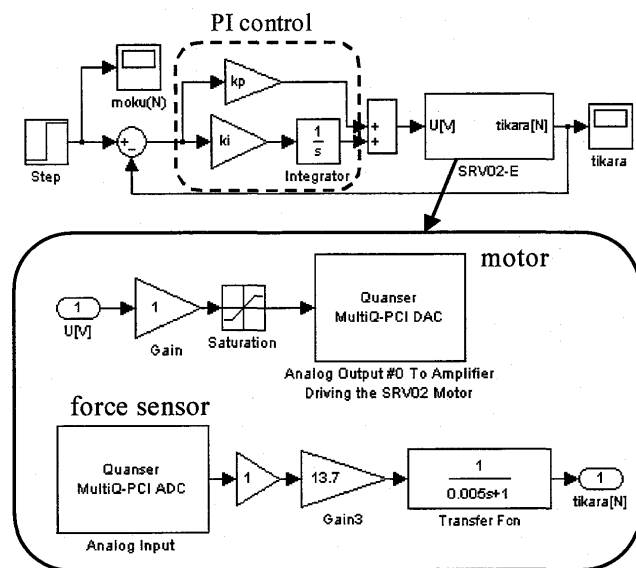


Fig. 5 MATLAB/SIMULINK program.

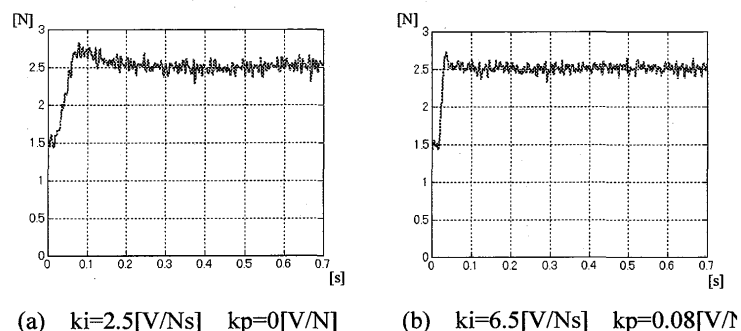


Fig. 6 Step response of the force feedback control.