

NC 工作機械送り系の輪郭運動精度向上を目指した  
サーボパラメータチューニング

京大工 松原 厚, 茨木創一, 垣野義昭, 李 康圭  
ヤマザキマザック(株) 鈴木康彦

1. 緒言

高速・高精度のNC工作機械を実現するためには、応答性、運動精度の高い送り駆動系が必要である。近年の制御器性能の向上により、サーボアンプのハイゲイン化、フィードフォワード制御によるサーボ系の高応答化が進んでおり、高速送り系のサーボ誤差は減少する傾向にある。しかし、このようなサーボ系で加減速時に発生する衝撃力がそのまま機械構造を加振することになり、低周波の振動発生により軌跡誤差を悪化させるケースが目立ってきた。このためサーボ系のチューニングも従来の手法<sup>1)</sup>のようにゲインをあげるだけでなく、サーボ誤差と機械誤差(特に振動誤差)の妥協をはかる必要がある。本研究では輪郭運動誤差を計測して、最適なサーボパラメータ選択を行うためのチューニング方法を提案し、実機で検証する。

2. チューニングの概要

本研究では、図1に示すような運動誤差測定を交えた簡単なチューニング方法を提案する。手順1: 運動精度を測定するためのテストパスを選択し、機械上で最初の試し運転を実施する。手順2: 試し運転の結果を使って振動を引き起こしている機械的な特性を同定する。手順3: 同定したモデルをもとに実行するシミュレーションによって、サーボチューニングをおこなない、CNCサーボパラメータの最適な組合せを見つけ出す。手順4: 最後に実際の機械でそのパラメータを確認し、必要があれば微調整をおこなう。

これらの作業のうち、手順2の機械的な諸定数を同定する作業と手順3のサーボパラメータのチューニングをおこなう作業を一定のアルゴリズムを用いて自動化できれば、短時間のうちに適切なパラメータを見つけ出すことが可能となる。本研究では、輪郭運動誤差を測定するために交差格子法を用いる。またモデルとしては、1次のフィードフォワード制御+3次系の位置ループに2次系の機械振動特性を考慮した(図2)。

3. チューニングパラメータと手順

本研究の対象としているパラメータは (1) 直線加減速時定数 (2) 位置ループゲイン (3) 加減速フィルタ自定数 (4) フィードフォワード係数 (5) コーナ速度の5つであり、この順に調整をおこなう。以下にそれぞれの調整方法を述べる。

(1) 直線加減速時定数: それぞれの軸においての機械誤差が許容値内となるように、そして同時補間をおこなう複数の軸間の相対誤差が許容値内となるように設定する。

(2) 位置ループゲイン: 機械共振周波数において、位置ループ制御系の伝達関数が-6dBとなるように位置ループゲインを設定する。

(3) 加減速フィルタ時定数: 問題となる固有振動の逆数をフィルタ時定数として設定する。

(4) フィードフォワードゲイン(1次): 3次系位置制御ループの場合、0.5が理想値である。実際には制御システムの遅れや演算丸め、機械的追従性があるので、円弧運転時の半径をもとに決定する。具体的な調整方法としては、2つの異なるフィードフォワードゲイン  $K_{f1}$ ,  $K_{f2}$  における測定円弧半径を  $r_1$ ,  $r_2$  とする。指令半径が  $r_0$  のとき、フィードフォワード処理以降、機械までの伝達関数を  $G(s)$ 、最適なフィードフォワードゲインを  $K_f$  とすると、次式が成立つ。

$$\left. \begin{aligned} (1 + \omega^2 K_{f1}^2) G(j\omega)^2 &= r_1^2 / r_0^2 \\ (1 + \omega^2 K_{f2}^2) G(j\omega)^2 &= r_2^2 / r_0^2 \\ (1 + \omega^2 K_f^2) G(j\omega)^2 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで  $\omega$  は円弧運動の角周波数である。式(1)から  $\omega$  と  $|G(j\omega)|$  を消去すると、 $K_f$  は次式で与えられる。

$$K_f = \sqrt{\frac{K_{f1}^2(r_0^2 - r_2^2) - K_{f2}^2(r_0^2 - r_1^2)}{r_1^2 - r_2^2}} \quad (2)$$

(5) コーナ速度: 時間短縮のためにあるが、大きすぎるとコーナ通過時に振動が発生するので、振動の大きさを見ながら、徐々に上げていく。振動が許容値を超えない最大のコーナ速度を調整値とする。

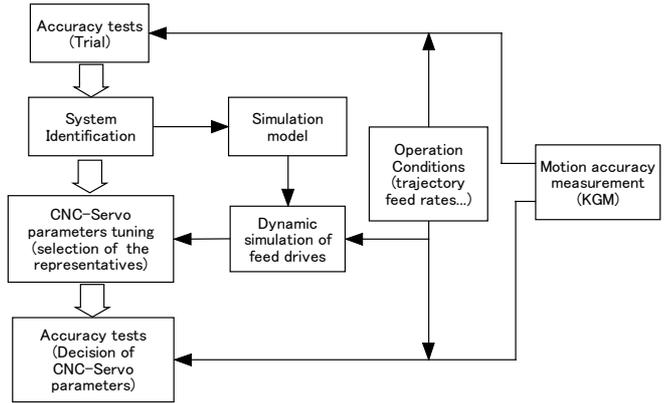


Fig.1 Tuning Procedure

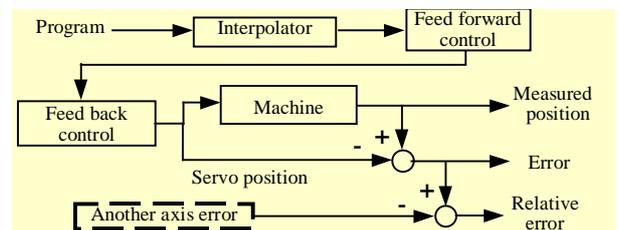


Fig.2 Tuning model

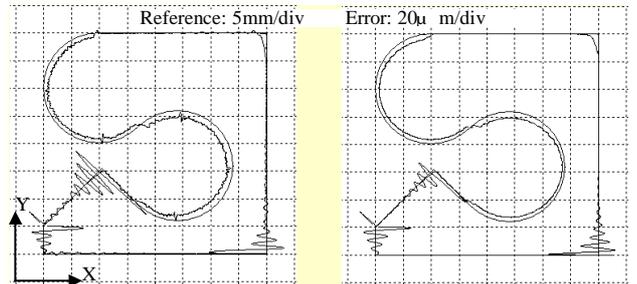


Fig.3 Motion error trace before tuning

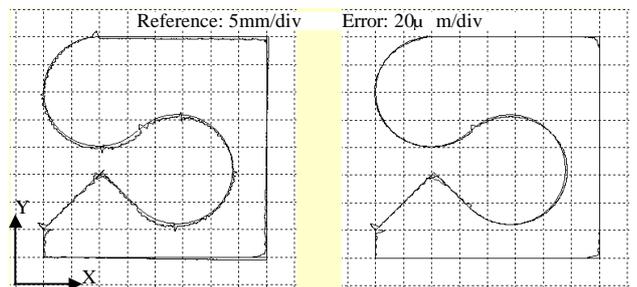


Fig.4 Motion error trace after tuning

4. ケーススタディ

門型のMCに本チューニングを適用して運動誤差を測定した結果を図3, 4に示す。低周波の振動を抑制し、かつサーボ誤差を低減して輪郭運動精度が向上できたことがわかる。

参考文献

1) 垣野義昭, 松原 厚, 黎 子椰, 上田大介, 中川秀夫, 竹下虎男, 丸山寿一: NC 工作機械における送り駆動系のトータルチューニングに関する研究(第2報) - 1軸のサーボパラメータチューニング -, 精密工学会誌, **61**, 2 (1995) 268.