

H12 多関節ロボットの動特性を考慮した位置決め制御シミュレーション

Dynamics Simulation for Positioning Control of Robot

正 浜松 弘(北九州高専)

○ 志波 広史(北九州高専専攻科)

Hiroshi HAMAMATSU, Kitakyushu National College of Technology, Shii, Kokura-minami-ku, Kitakyushu
Hiroshi SHIWA, Kitakyushu National College of Technology

Keywords: Vibration, Robot, Mechatronics, Simulation

1. 緒論

生産性向上のため、産業用ロボット動作の高速高精度化は重要な課題である。しかし、ロボットは高加速度で動作すると、アーム駆動部や関節駆動部が低剛性のため振動が発生する。停止時には残留振動が発生することから、高速な位置決めが困難である。問題の解決には、アームの剛性を高くする方法があるが高コストとなるので、振動の発生状況を把握した上で制御設計による解決が有効である。

本研究では、制御対象である多関節ロボットの動特性を実験モード解析により把握し、モデルを作成することで制御設計を行う。制御対象には垂直多関節ロボットを用いる。本ロボットは、アームの剛性が低いため、低周波数の固有振動数を持ち、停止時に残留振動が発生しやすい構造となっている。このロボットにおいてシミュレーションを行い、ロボットアーム先端の位置決め時間の短縮を行う。

2. 実験装置

実験に用いる4軸垂直多関節ロボットを図1に示す。本ロボットはグランド側から旋回軸(S軸)、下腕軸(L軸)、上腕軸(U軸)、手首軸(B軸)の4軸から構成され、各関節駆動はサーボモータで行う。サーボモータには減速機、エンコーダを内蔵している。コントローラにはハードリアルタイムOSであるRT-Linuxを用い、サンプリング時間0.001[s]を補償する。アーム先端に加速度センサを取り付け、先端加速度を測定する。

実験装置の全体を図2に示す。まず、PC上で関節角度指令を作成する。作成されたモータ角度指令はRT-Linux上の制御演算によってトルク指令となる。トルク指令を電流で与えることで、サーボモータが回転し、ロボットが動作する仕組みになっている。

3. モデル化

ロボットの特性をモデル化するために、動作実験を行った。動作時におけるアーム先端のX軸方向の加速度応答を図3に示す。動作は、図1の姿勢より、S軸を回転させた。位置決め終了の0.6s以降残留振動が発生している。主な周波数数は8.2Hzである。また、固有振動数を把握するため、インパルス加振により、伝達関数を測定した。伝達関数を図4に示す。伝達関数は、アーム先端に加速度計を設置し、

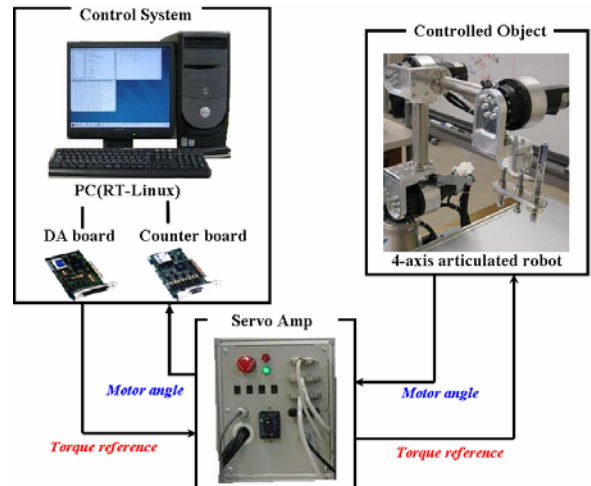


Fig.2 Experimental setup

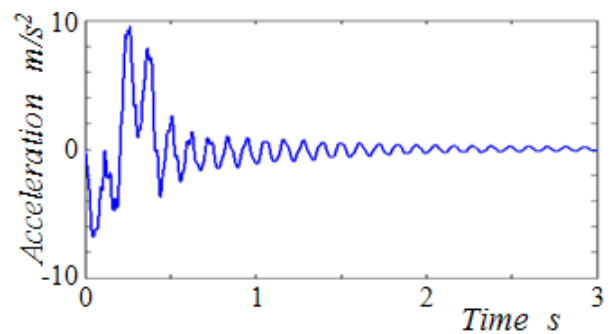


Fig.3 Acceleration of arm

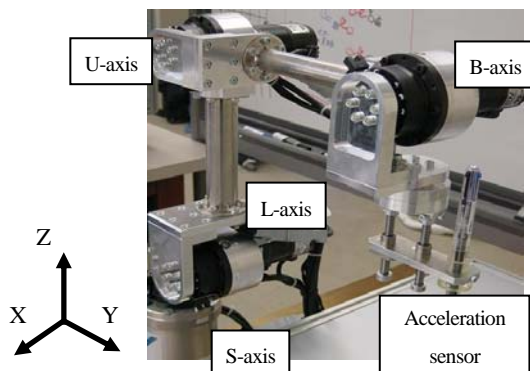


Fig.1 4-axis articulated robot

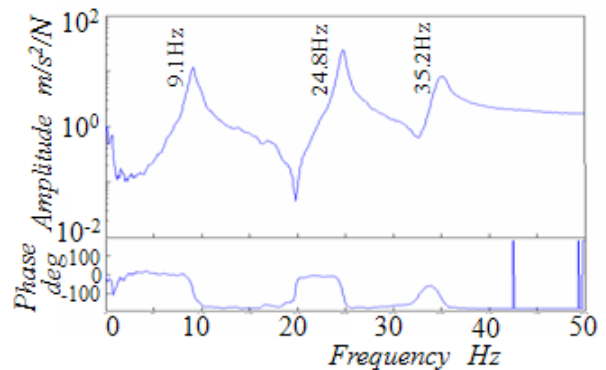


Fig.4 Transfer function

アーム先端をインパルスハンマで加振した。固有振動数は、9.1Hz, 24.8Hz, 35.2Hz にあり、残留振動周波数は、1 次の固有振動数に一致しており、これに起因して発生していることがわかる。1 次の固有振動モードを図 5 に示す。アームを上側(Z 方向)からみた X 軸方向の振動モードである。U 軸接続部品の剛性が弱く、モードの変曲点があることがわかる。1 次モードが残留振動に支配的であるため 2 慣性系でモデル化する。2 慣性系モデルを図 6 に示す。 J_m : モータを含む回転軸の慣性モーメント, J_a : U アームより先の慣性モーメント, k : U 軸アームの結合部剛性, c : 減衰定数, R : 減速比, θ_m : モータ回転角, θ_a : アーム回転角, T_m : モータトルクである。

4. シミュレーション

モデル化した 2 慣性系を用いてシミュレーションを行う。制御系は、位置の比例(P)、速度の比例積分(PI)制御を用いる。この場合にブロック線図を図 7 に示す。 K_p : 位置ループゲイン, K_v : 速度ループゲイン, T_i : 積分時間, K_t : トルク変換定数である。振動の抑制には、アーム加速のモータトルクへのフィードバック制御²⁾を行う。加速度フィードバックゲインを K とする。P-PI 制御時と加速度フィードバック付加時のアームの加速度応答を図 8 に示す。P-PI 制御時の加速度の振動発生周波数は 8.8Hz であり、図 3 の実測値と一致している。アームの加速度をフィードバックすることにより、発生振動は低減した。さらに、モデルのモータ軸を 30 度旋回する指令を入力し、位置決め制御シミュレーションを行った。結果を図 9 に示す。0.4s で位置決め指令が完了する。加速度フィードバックにより、振動が抑制されている。位置決め指令完了より、位置決め完了までの時間が 2s から 1.5s に 25% 短縮された。

5. 結論

多関節ロボットの動特性を実験モダ解析により把握し、モデルの作成と制御設計から得られた結論を以下に示す。

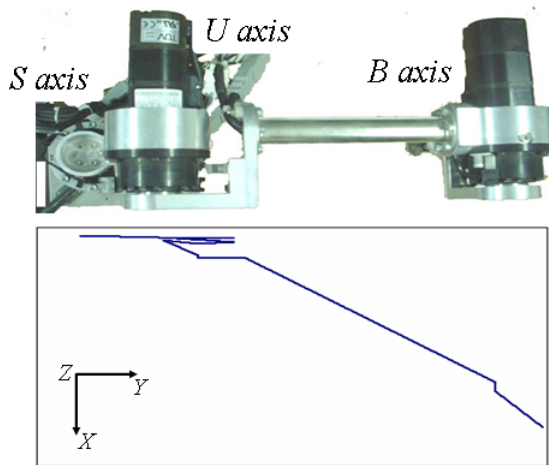


Fig.5 Vibration mode

- (1) ロボットのモダ解析により、固有振動数、固有振動モードを把握し、残留振動発生原因となる動特性を把握した。
- (2) 動特性よりロボットの 2 慣性系モデルを作成し、加速度応答を実測と検証した。
- (3) アーム加速度をモータトルクにフィードバックすることにより、残留振動低減し、位置決め時間の短縮をシミュレーションで検証した

文献

- [1] 浜松・上野, 移動平均法を用いた多関節ロボットの動作指令生成, 日本機械学会講演論文集, No. 078-1, (2007)pp. 257-258.
- [2] 浜松・内田, 加速度フィードバックによるベルト駆動ロボットの振動抑制制御, 日本機械学会講演論文集, No. 078-1, (2007)pp. 277-278.

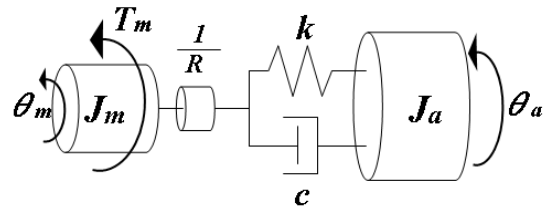


Fig.6 Two-inertia model

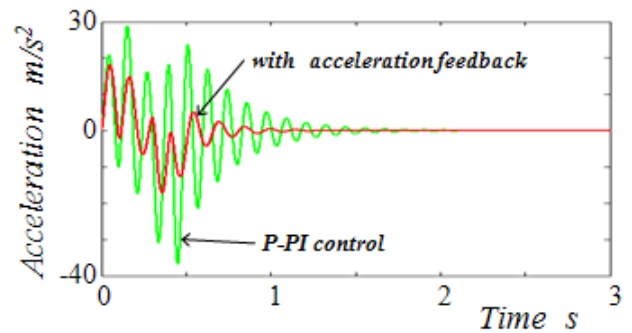


Fig.8 Accelerations of arm

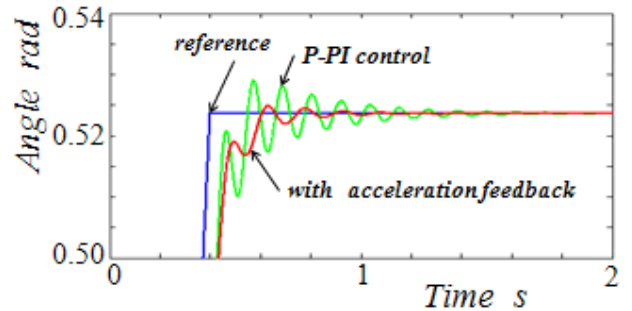


Fig.9 Responses of position control

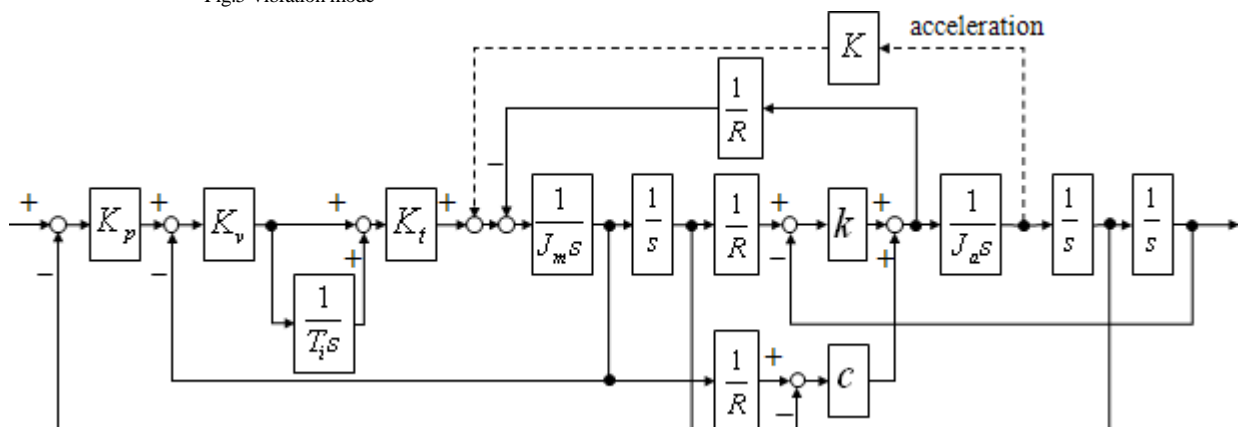


Fig.7 Block diagram of system