

多関節ロボットの動特性を考慮した振動抑制制御 Vibration Suppression Control for Articulated Robot

正 浜松 弘(北九州高専)

○ 松尾勇志(北九州高専専攻科)

Hiroshi HAMAMATSU,

Kitakyushu National College of Technology, Shii,Kokura-minami-ku,Kitakyushu

Yushi MATSUO, Kitakyushu National College of Technology

Industrial robots that are installed in manufacturing plants are required to realize high speed and high accuracy motion for productivity improvement. But when these robots work at high acceleration, vibrations are generated in the motor operation and residual vibrations are generated in end of motor operations. In this study, we create the vibration model of articulated robot. We can simulate vibration suppression control design on a computer. Therefore, we can perform speedup /stabilization of the movement by the restraint of the residual vibration of the articulated robot.

Keywords : Vibration, Control, Articulated Robot

1. 緒 論

産業用ロボットは、自動車を始めとした様々な生産工場に導入されている。そのような現場では、製品の生産性向上において、産業用ロボットの動作の高速化や高精度化は常に求められている。しかし、多関節ロボットアームの駆動部や関節部は低剛性であるため、高速稼働すると、動作終了時に残留振動が発生する。そのため、ロボットの高速・高精度の駆動が困難となる^[1]。問題解決には、アームの剛性を高くする方法があるが、高コストのため、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、動作停止時にアーム先端に発生する残留振動の抑制を目的とする。そのために、多関節ロボットに起こる振動現象をモデル化することにより、発生する振動をコンピュータ上でシミュレートできるようにする。それにより、実際に動作させずに振動の特性や固有振動時の構造体の動きが把握できるため、振動抑制の制御設計が行えるようになる。したがって、多関節ロボットの残留振動の抑制による動作の高速化・安定化を行うことができる。

本報では、多関節ロボットの水平姿勢における振動特性を把握し、設計のためのモデルを作成する。

2. 実験装置

図1に実験装置のシステム構成を示す。コントローラは、ハードリアルタイム性能を持つRT-LinuxをOSとするPCを用い、サンプリング時間1[ms]を補償する。制御対象である垂直多関節ロボットは、4軸で構成されており、グラウンド側から旋回軸(S軸)、下腕軸(L軸)、上腕軸(U軸)、手首振り軸(B軸)である。旋回軸がX-Y平面上で回転し、下腕軸、上腕軸、手首振り軸はY-Z平面上で回転する。各関節駆動部には、サーボモータと減速機を取り付け、サーボモータにはエンコーダを内蔵している。

ロボット動作は、始めにPCによって動作指令の作成を行い、動作指令値、サーボモータのエンコーダ値、制御パラメータを基に制御プログラムにより演算を行う。次に演算により算出されたトルク出力に相当する電圧を、サーボアンプへDAボードを介して送る。サーボアンプでは、電圧に応じた電流制御を行い、多関節ロボットのサーボモータを動作させる。動作時のモータ回転角度はエンコーダで読み取り、サーボアンプを介して、カウンタボードよりPCへ取り込む。以上の様なセミクローズドループを構成し、ロボットアームの制御を行う。

3. 制御対象の特性把握

前報^[2]では、実験モード解析により、図1に示すロボットの直角姿勢で実験を行ったが、本報では腕を伸ばし、水平姿勢を保った多関節ロボットの動特性把握実験を行った。図2に、多関節ロボットの水平姿勢を示す。

始めに、旋回軸モータへランダム波を入力する加振実験を行い、伝達関数を算出した。旋回軸モータに横揺れランダム波トルク入力を与え加振し、ロボットに発生する振動を先端部に取付けた加速度センサで計測した。入力をトルク、出力を加速度とする伝達関数を算出した。図3に、計測値より算出した伝達関数を示す。多関節ロボットの固有振動数は1次振動が9.2Hz、2次振動が26Hzである。

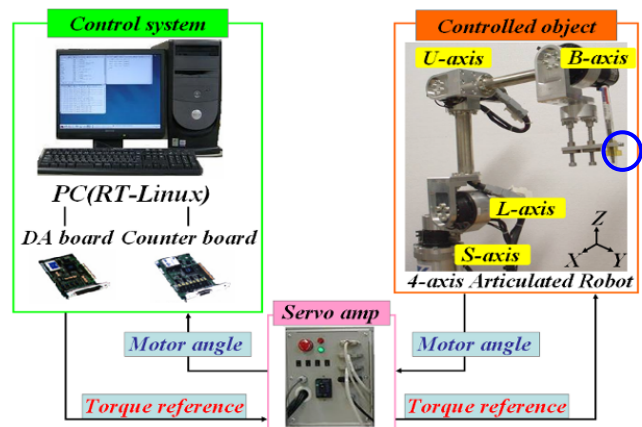


Fig.1 Experimental setup

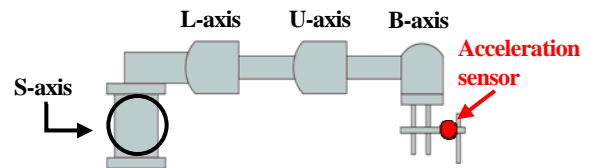


Fig.2 Horizontal posture of the articulated robot

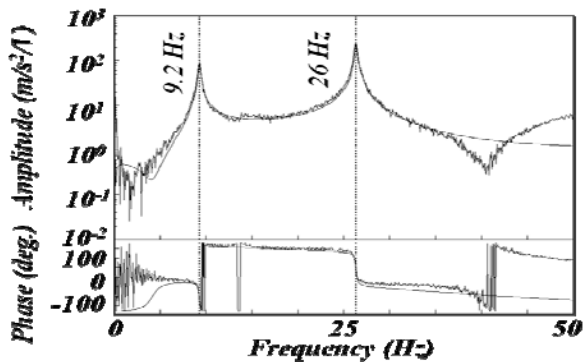


Fig.3 Transfer function (Experimental value)

4. モデル化

図3の伝達関数よりピークが2つあり、1次振動と2次振動が逆位相であるということが確認できる。この伝達関数に一致したモデル化をするために、2次遅れ系の項を2つ足し合わせた。図4に、シミュレーションモデルを示す。上から1次・2次ピークを表す。その際、位相を揃えるために、1次の2次遅れ系を+で足し、2次の2次遅れ系を-で足した。

5. 制御実験

図5にロボット制御システムのブロック線図を示す^[1]。 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。多関節ロボットの制御系には、位置の比例、速度の比例積分制御(P-PI 制御)を用いる。P-PI 制御は、回転角度と角速度をフィードバックし、回転角度の偏差に対して比例制御(P 制御)、角速度の偏差に対しては比例積分制御(PI 制御)を行う。各関節に対し、セミクローズドループを構成している。

図6にP-PI 制御に、水平姿勢時のロボットを駆動した場合のアーム先端加速度応答を示す。動作指令は、旋回軸 30° 旋回である。0.4[s]までは動作時応答、0.4[s]以降が動作停止後、アーム先端に発生する残留振動応答である。図6より、残留振動周波数は約9Hzと約26Hzの2種類が混在していることが分かる。約9Hzで1次固有振動数と、約26Hzで2次固有振動数と一致しており、これらに起因して残留振動が発生していることが分かる。

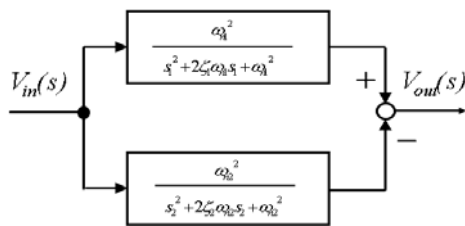


Fig.4 Simulation Model

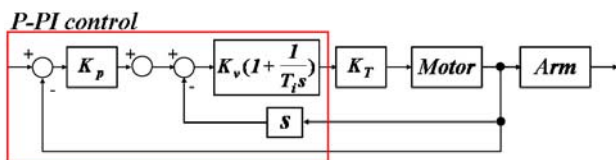


Fig.5 Block diagram of robot control system

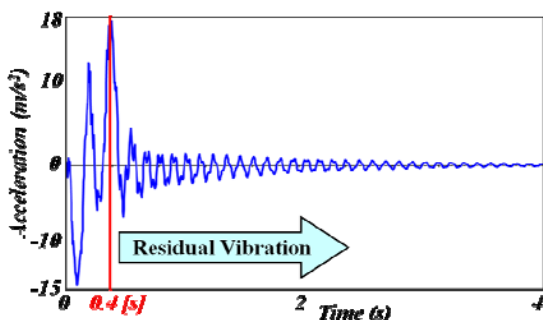


Fig.6 Acceleration of arm (Experimental value)

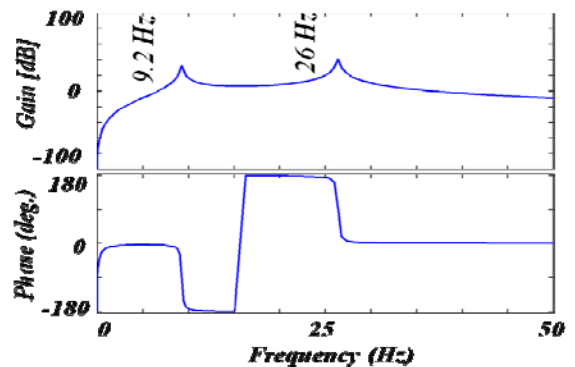


Fig.7 Transfer function (Simulation value)

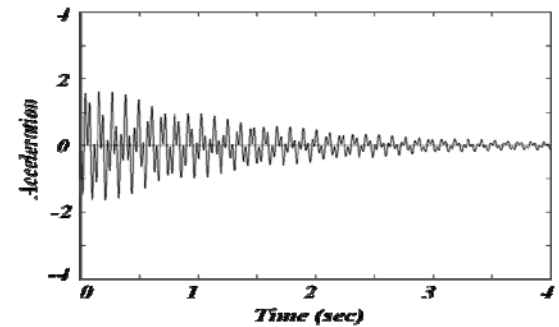


Fig.8 Acceleration of arm (Simulation value)

6. シミュレーション

図7に、モデルのボード線図を示す。図7より、9.2Hzと26Hzの2ピークがあり、2つのモードで位相が逆相であることが分かった。これは、図3で示す実験値と傾向が一致している。

次に、図4のモデルにステップ入力を行い、加速度応答を算出した。図8に加速度を示す。図8より、9Hzの1次振動と26Hzの2次振動が混在していることが分かる。それにより、図6で示す実験結果(0.4[s]以降の残留振動)とシミュレーション結果の傾向が一致している。

これらのことから、モデル化が正しく行われており、かつ、多関節ロボットが水平姿勢時に発生する振動を、コンピュータ上でシミュレートできた。

7. 結論

多関節ロボットの水平姿勢時における設計のためのモデル化・シミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- (1) 多関節ロボットの特性把握実験により、ロボットの水平姿勢時における固有振動数、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。固有振動数は9.2Hz、26Hzで、2つのモードで位相が逆相であることが分かった。
- (2) 1次と2次を逆位相とした2つの2次遅れ系を、1次が+、2次が-で足し合わせたことによりロボットのモデル化ができた。
- (3) 作成したモデルのボード線図は、実験値と一致した。また、モデルのステップ応答は、実験の加速度応答と傾向が一致した。
- (4) 1次と2次が逆相であるため、残留振動の抑制制御では、位相の考慮が必要である。

参考文献

- [1] 武居直行・岩越邦男・坂口正道・古荘純次, 二慣性系におけるトルク・加速度フィードバックに関する考察, 日本機械学会第7回「運動と振動の抑制」シンポジウム講演論文集, No.01-6, (2001)pp.304-307
- [2] 浜松弘・志波広志, 多関節ロボットの動特性を考慮した振動抑制制御, 日本機械学会九州支部第62期総会講演会論文集, No.098-1, (2009)pp.133-134.
- [3] 浜松弘・志波広志, 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, 日本機械学会九州支部第61期総会講演会論文集, No.088-1, (2008)pp.239-240.