

多関節ロボットの姿勢変化が振動抑制制御に及ぼす影響

Influence of Postural Change of Robot on Vibration Suppression Control

正 浜松 弘 (北九州高専) ○ 難波 正史 (北九州高専専攻科)

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

Keywords: Vibration, Vibration Suppression Control, Articulated Robot

1. 結論

近年、産業用の多関節ロボットは自動車や電子部品の生産過程において、組立や溶接、また塗装などの幅広い分野において利用されている。そして、実際の生産工場においては生産性向上が重要な課題となっており、そのためにロボット動作の高速・高精度化は必要不可欠である^[1]。しかし、多関節ロボットの関節駆動部には低剛性の減速機が用いられており、アーム自体の剛性も低いためロボットアームの動作中に振動、および停止時に残留振動が発生し、高速・高精度な位置決めが困難なものとなっている^[2]。この問題の解決法としてアームの剛性を高くする方法があるが、高剛性化に伴う装置の大型化やエネルギーの無駄が多くなり、高コストとなる。そのため、振動の発生状況を把握した上で、動特性を考慮したモデル化・制御設計による解決が有効である。

本研究では、多関節ロボットの動作停止時にロボットアームの先端部に発生する残留振動について、姿勢の変化による振動の特性の変化を考慮して振動抑制を行うこと目的としている。

本報では、姿勢の変化と振動の特性の変化の関係について調べるため、さまざまな姿勢において多関節ロボットの振動抑制を行い、その結果について考察する。

2. 実験装置

本研究で使用する多関節ロボットを図1に示す。多関節ロボットは4軸から構成されており、下部より旋回軸(S-axis)、下腕軸(L-axis)、上腕軸(U-axis)、手首振り軸(B-axis)である。旋回軸はX-Y平面上で回転し、下腕軸、上腕軸、手首振り軸はX-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ている。サーボモータはエンコーダを内蔵している。

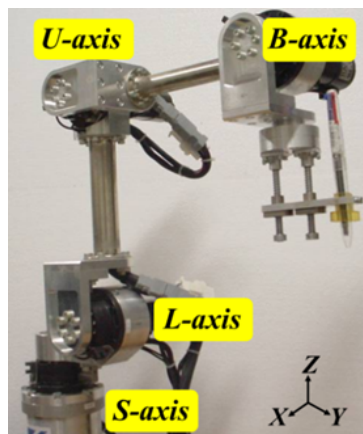


Fig.1 4-axis Articulated Robot

3. 振動抑制実験

図2に残留振動抑制を行うにあたって使用したフルクロード制御のブロック線図を示す。図2の各パラメータは K_p : 位置比例ゲイン, K_v : 速度比例ゲイン, K_a : 加速度フィードバックゲイン, T_i : 積分時間, K_T : トルク変換定数である。多関節ロボットの位置決め制御系には、位置の比例、速度の比例積分制御 (P-PI 制御) を用いている。

P-PI 制御では、モータ回転角度とその微分値である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) を行い、角速度の偏差に対しては比例積分制御 (PI 制御) を行う。これに加えロボットアームに発生する加速度を、P-PI 制御の速度項へフィードバックし、フルクロードループを構成した。

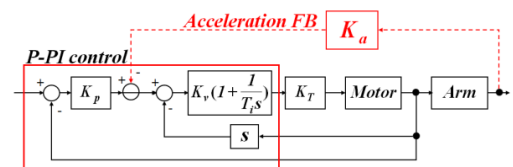


Fig.2 Block Diagram of Full Closed Control

ロボットアームの先端部で加速度をフィードバックし、振動抑制実験を行った。アームの姿勢を変えて実験を行い、アーム先端の加速度を測定した。加速度フィードバックがない場合の加速度応答を図3(a)に示す。図3(b)には同じ姿勢で加速度フィードバックを付加した加速度応答を示す。図3(c)は、異なる姿勢での加速度フィードバック時の加速度応答である。

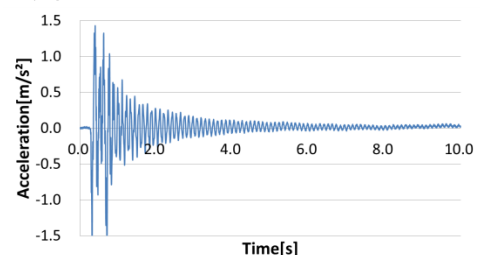


Fig3(a). Acceleration of Arm (without Acceleration feedback)

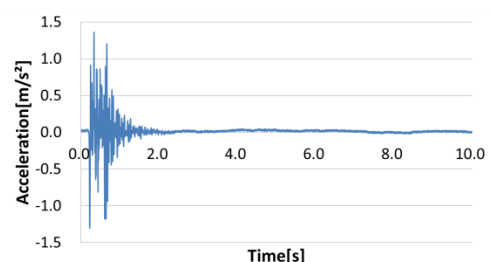


Fig3(b). Acceleration of Arm

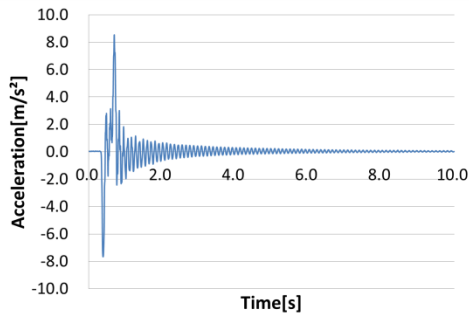


Fig3(c). Acceleration of Arm

加速度フィードバックにより、図 3(b)の残留振動は抑制されている。図 3(a)の残留振動は、モータ停止の 0.4 秒以降の振動であり、1 次の 13.4Hz に起因している。図 3(b)は良好に抑制されているが、図 3(c)には 2 次の 24.5Hz に起因する残留振動がある。

姿勢によって、アーム先端において 1 次と 2 次の振動モードの位相の違いがあり。図 3(b)は 1 次と 2 次が同位相、図 3(c)は 1 次と 2 次が逆位相のため 1 次が抑制されたが 2 次の残留振動が発生している。

逆位相の場合、2 次振動の信号を制御ループに加え、不可観測として加速度フィードバックを行う必要がある。そのための方法として、2 次モードの節をフィードバックに用いる。加速度センサを 2 次モードの節となる点に設置し、この点の加速度をフィードバックすることで、2 次振動モードを遮断し、不可観測にして制御を行う。この際、アーム先端部にも加速度センサを設置することで、アーム先端の残留振動を測定し、その振動の挙動にて、残留振動抑制効果について検討する。

図 4 に 1 次振動と 2 次振動が逆位相になる姿勢において加速度センサを 2 次モードの節となる点に設置し測定を行った実験結果を示す。

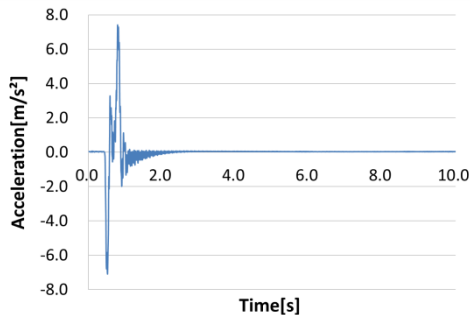


Fig4. Acceleration of Arm

4. 姿勢と位相の関係

姿勢と位相の関係を調べるために多関節ロボットの下腕軸と上腕軸の角度を一定間隔で変化させながら実験を行った。図 5 に実験を行った際にどのように姿勢を変化させたかを示す。図 5 に示す姿勢を基準として下腕軸を $-45^\circ \sim 95^\circ$ 、上腕軸を $100^\circ \sim -120^\circ$ の範囲でそれぞれ 20° 間隔で変化させた。手首振り軸については、軸の角度が変化した場合のロボット全体の姿勢に対する影響が小さいため、軸の角度を変化させずに実験を行った。

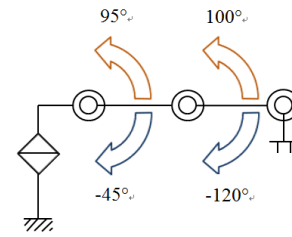


Fig5. Posture of Experiment

実験結果より下腕軸が 95° に近づき上腕軸が 100° に近づくほど位相が同相となる傾向が見られた。逆に下腕軸が -45° に近づき上腕軸が -120° に近づくほど逆相となる傾向がある。図 6 に軸角度と位相の関係グラフを示す。

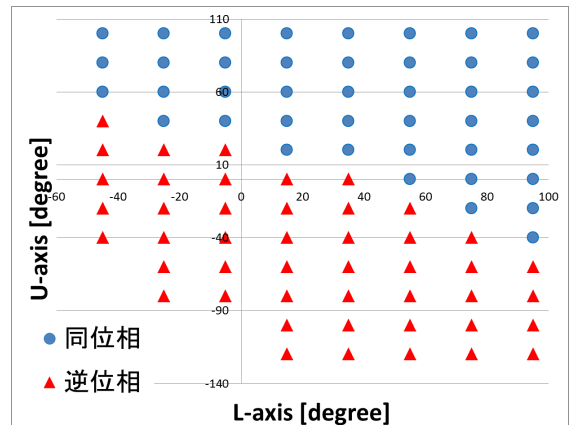


Fig7. Relation of Posture and Phase

5. 結論

本研究では、多関節ロボットの姿勢の変化と振動特性の変化の関係について、ロボットの姿勢を変化させながら調査した。研究から得られた結論について以下に要約する。

(1)姿勢別の 1 次振動と 2 次振動の位相差および、2 次振動モードの節を考慮した加速度フィードバックを用いて振動抑制実験を行った。1 次振動と 2 次振動が逆位相になる姿勢においては節部で加速度フィードバック制御を行った場合、整定時間をモータの位置決め終了時から振幅が最大振幅の 5% になるまでと定義した場合、整定時間は約 65% 短縮されたことを確認した。

(2)多関節ロボットの姿勢を変化させながら姿勢と位相の関係を確認した。固有振動数については 1 次・2 次ともに姿勢を決定する軸の角度に対して連続的に変化する。また、上腕軸と比べると下腕軸の角度の影響は小さいことが分かった。また、1 次・2 次振動の位相差で同位相か逆位相となる姿勢を確認できた。

(3)姿勢によって観測点を切替えることによって、振動抑制効果が期待できる。

文献

- [1]浜松弘, 松尾勇志, 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(SEAD22)講演論文集, No.10-252 pp.378-379 (2010.05.19)
- [2]浜松弘・高田健介, 姿勢変化するシリアルリンクロボットの節を利用した振動抑制制御, 2012 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.639