

IDCS によるロボットシステムの高速度制御に関する研究

Fast motion control of robotic systems using IDCS

小嶋 東悟郎 (田川研究室・ベンチャー研究室) KOJIMA Tohoroh

In recent years, robotic systems have spread in various scenes such as industries, medical cares, domestic tasks. To achieve a smooth interaction it is important to develop systems that are fast enough, smooth and safe. Generally, the utilized systems have high mechanical complexity and they make use of simple controllers such as PID. However, the issue with such controllers is that the systems become unstable when the gain is high in order to insure a fast response. Hence, control techniques that can guaranty high performances: fast response, low over-shoot and stability are highly demanded. In this paper, this research aims of applying a control technique called IDCS to simulated robot systems.

Keywords: IDCS, Dynamics, Inverse-Dynamics

1. 緒言

ロボットシステムは産業や医療などの様々な場面において広く普及し、私たちの生活には欠かせない存在となっている。近年、これらのロボットシステムは自立化、高速化、動きの複雑化が一層進んでいる。一般に、複雑なロボットシステムに対してもPIDなどの簡単な制御器が適用されている。しかし、これらの制御器ではシステムの応答性を向上させるためにゲインを上げるとシステムが不安定になるという問題点がある。そこで、本研究では田川らの提唱するIDCS (Inverse Dynamics Compensation via 'Simulation of Feedback Control Systems')[1]によりロボットシステムを不安定にすることなく高速に制御する手法を検討する。

2. IDCS

一般に、フィードバック制御の主な目的は制御対象の安定性と良好な目標値追従特性である。しかし、実際の制御システムは次のような好ましくない要因を持つ。

- (i) 制御対象の不明な動力学
- (ii) モデルパラメータエラー
- (iii) 予期せぬ外乱
- (iv) センサ、アクチュエータ、アンプのシグナルノイズ

これらの好ましくない要因はシステムの不安定化を招き、性能が劣化する。しかし、シミュレーション環境では上記の要因は存在しないため、最高の状態で制御をすることが可能である。

図1にIDCSの構成図を示す。図1において、点線で囲まれた部分はシミュレーション環境であり、 P_M はシステム P のフォワードモデルである。シミュレーションならハイパフォーマンスの制御器 K_H (主にゲインが高い) が使用できる、よって P_M の出力 \bar{y} は指示入力 r に近づく。 P_M が本物のシステム P と同一である仮定すると、制御入力 u が P へ入力されると出力 y は \bar{y} に近づく。よって、システム P の出力 y は目標値 r に従う。これがIDCSの原理の基本概念である。

IDCSが図1のような構成で制御則に使用される場合IDCSのモデル P_M とプラント P が同一のとき最大の効果が期待できる。しかし、現実には実際のプラント P とシミュレーションモデル P_M の間には違いが生じており、このモデルの食い違いは制御性能の劣化を招く。この状況を克服するためには、システムにリアルタイム物理フィードバック制御を付加することが効果的であると考えられる。図2は閉ループを併用したIDCSによる制御システムの構成である。この構成では、IDCSはフィードフォワード制御器として機能し、フィードバック制御器 K_L は要求 r と出力 y の間のモデルミスマッチによるエラーを相殺する。 K_L はリアルタイムフィードフォワードの項を含むことも出来る。

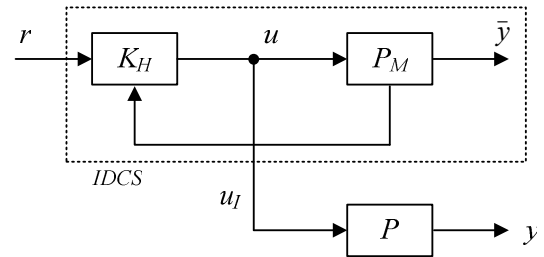


Fig.1 Concept of IDCS

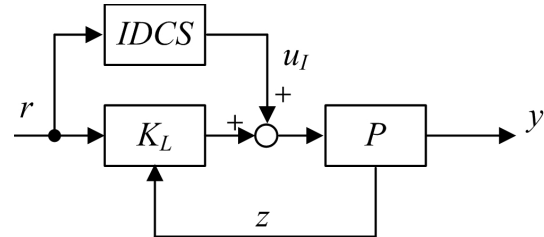


Fig.2 IDCS with closed loop

3. ロボットアームの運動方程式

本研究では図3に示すような3自由度ロボットアームについて考える。ロボットアームの運動方程式は式(1)のようになる。[2][3]

$$\tau = A(\theta)\ddot{\theta} + B(\theta, \dot{\theta}) + C(\theta) + D\dot{\theta} \quad (1)$$

$$\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T \quad (2)$$

A: 慣性行列

B: 遠心力, コリオリ力

C: 重力付加トルク

D: 粘性摩擦係数

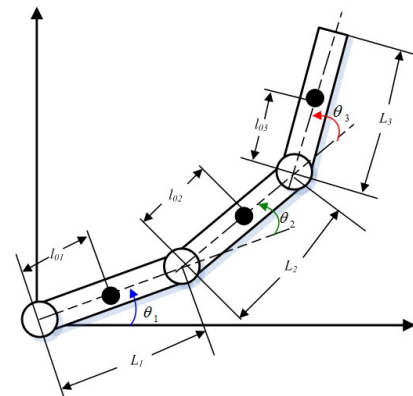


Fig.3 3DOF robot arm

4. ロボットアームの制御シミュレーション

対象に目標角度として時刻 2.0s に θ_1 , θ_2 , θ_3 に 0.1rad, 0.5rad, -1rad のステップ入力した場合の角度変位の応答をシミュレーション上で確認した。PD 制御の結果を図 4 に示す。応答性を向上のため高いゲインを用いると、システムが不安定となる。PD 制御で不安定にならないようにゲインを下げて制御した場合の結果と図 1 の構造の IDCS による制御の結果の比較を図 5 に示す。IDCS は高いゲインを使用出来るため、PD 制御に比べて応答が速いのがわかる。

次にモデルにパラメータエラーがあった場合を想定して、プラントの質量を 5% 増加させた状態での制御シミュレーションを行った。図 6 に PID 制御, IDCS のそれぞれの結果の比較を示す。IDCS の結果は PID 制御に比べて、オーバーシュートが少なく、応答も速いことがわかる。

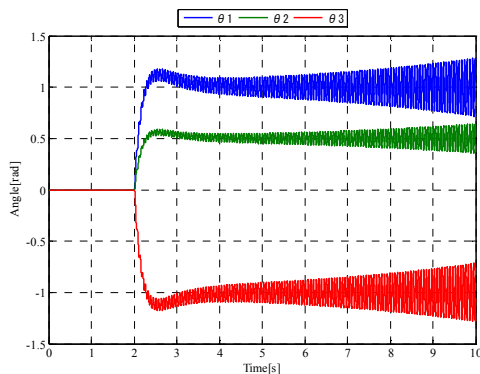


Fig.4 3DOF robot arm with PDcontroller

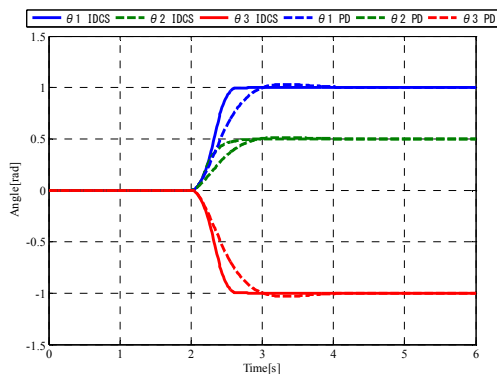


Fig.5 Comparison of PD controller and IDCS for 3DOF robot arm

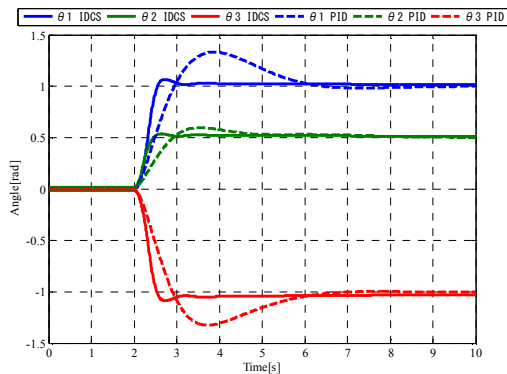


Fig.6 Comparison of PID controller and IDCS for 3DOF robot arm

5. 閉ループロボットの制御シミュレーション

図 7 のような閉ループを有するロボットについてもシミュレーションを行った。このロボットには 9 個の関節があり、そのうちの 6 個の関節がアクチュエータとなっている。パラメータエラーがあると想定し、プラントの質量を 5% 増加させた状態で、対象に目標角度として時刻 1.0s θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 , θ_5 , θ_6 にそれぞれ 0.1rad, 0.2rad, 0.3rad, 0.4rad, 0.5rad, 0.6rad のステップ入力した場合の応答結果を図 8 に示す。IDCS の方が速い応答が得られていることがわかる。



Fig.7 Closed loop robot (SR400 ACMA)

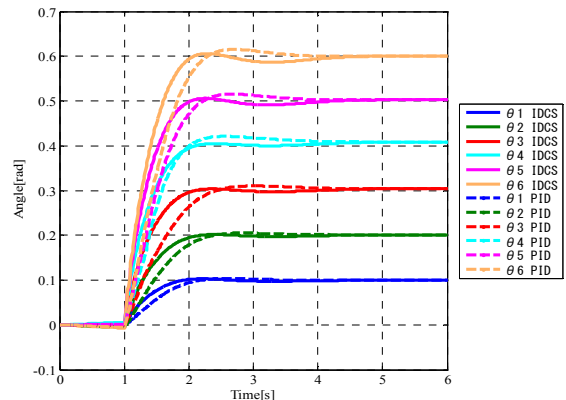


Fig.8 Comparison of PID controller and IDCS for closed loop robot

6. 結論

本研究では、ロボットシステムにおける IDCS 制御の有効性をシミュレーションによって確認することができた。

今後の展開として、さらに複雑なロボットシステムに IDCS を適用していくことが考えられる。また、実際のロボットシステムに関して IDCS を用いた制御実験を行う必要がある。

7. 参考文献

- [1] Y. Tagawa, J.Y.TU and D. Stoten, Inverse Dynamics Compensation via 'Simulation of Feedback Control Systems' (Submitted to IMechE-Part1, Journal of Systems and Control)
- [2] 内山, 中村, ロボットモーション, 岩波書店, (2004)
- [3] W. Khalil and D. Creusot, "Symoro+: A system for the symbolic modelling of robots," *ROBOTICA* vol. 15, no. 2, pp. 153-161, Mar. 1997.