

モーションキャプチャの制御への応用

2012SE200 奥山大介

指導教員：大石泰章

1 はじめに

制御対象の動きを正確に観測することは、最適な制御を行う上で重要である。一般的には様々なセンサによって制御対象の速度や角度などを観測するが、遠隔地から物体や人物の動きを正確に測定できるモーションキャプチャシステムには大きな可能性があると考えられる。モーションキャプチャシステムとは、観測する物体にマークを取り付け、複数のカメラによって位置や動きを測定するシステムである。コンピュータグラフィックスやスポーツなどの分野で利用されることが多い技術であるが、近年制御に応用されて成果が上がっている [1, 2]。本研究では、モーションキャプチャシステムの性能と有用性の試験を行う。具体的には、LEGO Mindstorms NXT で作成した実験機をモーションキャプチャシステムによって観測し、実験機のロータリエンコーダから得られたデータとの比較を行う。またモーションキャプチャシステムを用いて実験機のパラメータ同定を行い、制御に応用することを考える。

2 システム概要

2.1 モーションキャプチャシステム

本研究で使用するモーションキャプチャシステムのカメラは OptiTrack 社 [3] の Flex3 (図 1 左) である。対象を



図 1 左：Flex3, 右：システム概要

囲むように 3 台のカメラを配置し、システムを構築する (図 1 右)。カメラと PC を接続し、Optitrack 社の motive というソフトウェアによって対象に取り付けられたマークの x, y, z 座標を時系列として測定する。取得されたデータは 0.01s ごとにサンプルされ、csv 形式で出力することができる。

2.2 実験機

文献 [4] を参考に LEGO Mindstorms NXT で回転型振り子を作成する。本研究で扱う回転型振り子にはロータリエンコーダが搭載されており、振り子の角度とアームの角度を検出することができる。また、振り子の 3 箇所

力を取り付けることで、モーションキャプチャシステムを使って各マークの位置の x, y, z 座標を測定することができる。図 2 (左) は回転型振り子の概観であり、図 2 (右) は概要図である。また、振り子の物理パラメータとして、

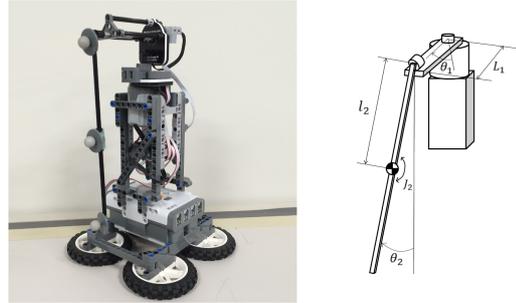


図 2 左：マークを取り付けた回転型振り子, 右：概要図

アームの軸から先端までの長さ $L_1=10.5 \times 10^{-2}[\text{m}]$, 振り子の質量 $m_2=3.5 \times 10^{-3}[\text{kg}]$, 振り子の上端から重心までの長さ $l_2 = 10.5 \times 10^2[\text{m}]$, モータやアームの特性などにより決まる定数 $a = 9.24 \times 10^0$, $a_{\text{sgn}} = 9.94 \times 10^0$, $b = 2.43 \times 10^0$, 重力加速度 $g=9.81 \times 10^0 [\text{m/s}^2]$ を用いる。ただし a, a_{sgn}, b は文献 [4] を参考に、実測データより最小二乗法を用いて求めた値である。また、振り子の重心周りの慣性モーメント $J_2[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$, 振り子の粘性摩擦係数 $c_2[\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}]$ は未知である。

このとき、回転型振り子の数学モデルは、

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_1(t) &= -a\dot{\theta}_1(t) - a_{\text{sgn}}\text{sgn}\dot{\theta}_1(t) + bv(t), \\ &- m_2L_1l_2 \cos \theta_2(t) \cdot \ddot{\theta}_1(t) + \bar{J}_2\ddot{\theta}_2(t) \\ &= \bar{J}_2\dot{\theta}_1(t)^2 \sin \theta_2(t) \cos \theta_2(t) - m_2gl_2 \sin \theta_2(t) - c_2\dot{\theta}_2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

である。

3 角度計算

3.1 モーションデータの取得

回転型振り子の 3 箇所 (上端, 重心, 下端) にマークを取り付け、振り子のモーションデータを取得する。重心の座標は本研究では計算に使用しないが、対象の 3 箇所以上にマークを取り付けたときソフトウェア上で剛体として定義できるため、便宜的に重心にもマーカーを取り付けている。

3.2 角度の計算

モーションキャプチャシステムによって得られた、振り子上のマークの座標を用いて振り子の角度 θ_2 の変化を計算する。図 3 は実験機の振り子部分を拡大したものであり、 A は振子上端、 B は振り子下端に取り付けたマークを表す。

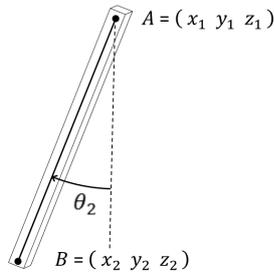


図3 マーカを取り付けた振子の拡大図

マーカの座標よりベクトルを求め、内積を用いて $\cos \theta_2$ を計算する。ただし上述の方法では θ_2 の符号判別ができないため、上端マーカと下端マーカの x 座標の差の正負より、振子の角度の符号判別を行う。また、計算により得られた角度のデータは、振子の静止状態が $0[\text{deg}]$ にならないが、現実には偏差が生じる。そのため振子の静止状態を $0[\text{deg}]$ になるように角度のデータを補正する。文献 [5] を参考に、全体の角度データから振子の角度の初期値を引いた。

4 性能実証

4.1 実験結果

モーションキャプチャを用いて以上の方法により得られた振子の角度と、実験機のエンコーダより検出された振子の角度を比較する。2つのデータより得られたグラフを図4に示す。グラフ上の破線は実験機のエンコーダから得られた角度を示し、実線はモーションキャプチャから得られた角度を示す。

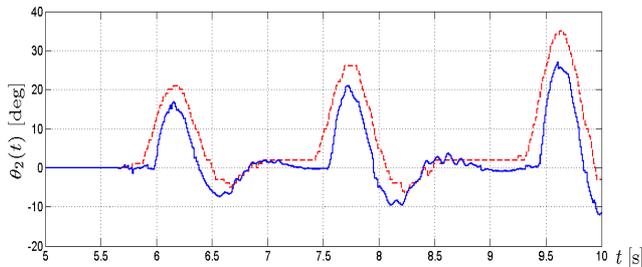


図4 振子の角度 θ_2 の測定値

グラフより、モーションキャプチャでは、 $t=7$ 付近および $t=8.6$ 付近で実験機のエンコーダでは検出できない振動を検出できていることがわかる。また、エンコーダによる角度は $t=7.3$ 付近および $t=9$ 付近で振子が静止状態であるにも関わらず、 $0[\text{deg}]$ に収束していない。以上より、モーションキャプチャによって得られたデータがエンコーダによって得られたデータより正確であると考えられる。

5 パラメータ同定

5.1 同定実験

モーションキャプチャによって得られた角度データにより、回転型振子のパラメータ同定を行う。振子の静止状態を $0[\text{deg}]$ として、静止状態から $-90[\text{deg}]$ まで振子を持ち

上げた後、手を離し自由振動させる。このときの振子角度をモーションキャプチャで測定し、得られたデータより角速度を計算する。得られた角度と角速度をもとに振子の未知パラメータである $J_2[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$, $c_2[\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}]$ を導出する。パラメータ同定は最小二乗法を利用し、matlab/simulink 上で行う。

5.2 実験結果

得られたパラメータを用いてシミュレーションを行い、得られた振子角度 θ_2 を実験結果と比較する。結果を図5に示す。ここで実線は実機実験を示し、破線はシミュレーションを示す。グラフより、実験結果とシミュ

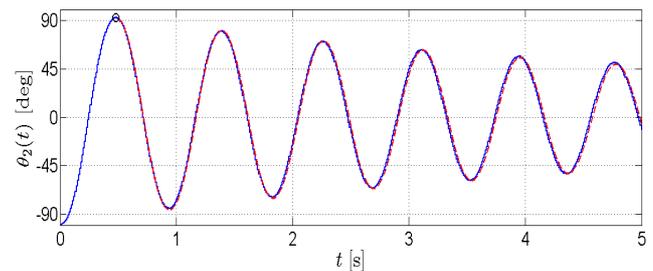


図5 振子角度 θ_2 に関する実験結果とシミュレーションの比較

レーション結果がほぼ一致していることがわかり、得られたパラメータは信頼できると言える。

6 おわりに

本研究では、モーションキャプチャシステムの有用性の実験と、モーションキャプチャシステムを用いたパラメータ同定を行った。結果からわかるように、モーションキャプチャシステムが制御に応用する上で利用可能であるという結論に至った。今後の課題として、得られたパラメータを用いて実験機実験を行いたいと考えている。また、取得したデータをリアルタイムに活用し制御を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 白堀慎一郎・丸田一郎・杉江俊治:「クアッドコプター上の倒立振子の安定化」. 第58回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 京都, 2014年5月.
- [2] 皆川佳孝・平田光男:「クォータニオンを用いた小型固定翼機の高性能 Prop-Hanging 飛行制御」. 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 2 (2013), pp. 275-283.
- [3] OptiTrack 社 web ページ, <https://www.optitrack.co.jp/>
- [4] 川田昌克:『MATLAB/Simulink と実機で学ぶ制御工学』. Techshare, 東京, 2013.
- [5] 福岡佑太:モーションキャプチャシステムを用いたロボットのモーショントレース制御技術の提案. 高知工科大学電子・光システム工学科卒業研究, 2010.