

# LeapMotion を用いた多指ハンドロボットのマスタースレーブ制御

2014SC020 井上裕矢

指導教員 中島明

## 1 はじめに

マスタースレーブとは人間が直接入り込めない環境中での作業を行うための遠隔操作の手法の一つである。一般的にマスタースレーブはマニピュレータに実装され、2本のアームから構成され、操作者によって操られるマスターアームの動きが作業環境に配置したスレーブアームに伝えられて作業が行われる。文献 [1] には世界で普及しつつあるマスタースレーブマニピュレータが紹介されている。

本研究ではマスタースレーブを多指ハンドロボットに実装する。しかし、図 1 のように LeapMotion を使用することでマスター側で装置を触らずに操作する非接触型マスタースレーブマニピュレータを開発する。

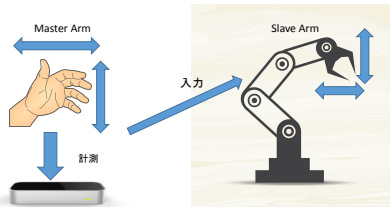


図 1 マスタースレーブ制御概略図

## 2 システムの構成

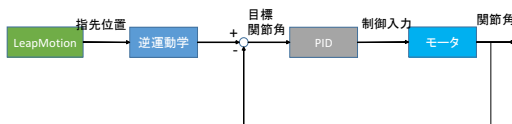


図 2 システム構成図

システムの構成は図 2 のようである。

## 3 LeapMotion を用いた関節角の検出

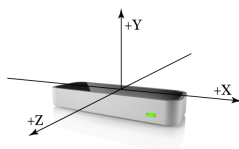


図 3 LeapMotion 座標軸

LeapMotion の座標軸は LabVIEW ブロックで図 3 のように決められている。

### 3.1 2 自由度の逆運動学

手先位置から関節角を求めることを逆運動学という。

図 4 にそって 2 自由度マニピュレータの逆運動学方程式

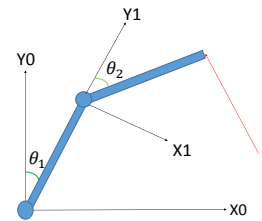


図 4 逆運動学モデル

(1) を立式しプログラムを作成した。

### 3.2 LeapMotion[4]

LeapMotion は赤外線カメラと赤外線照射 LED から構成されている小型 USB 装置であり、画像解析によって XYZ 座標系での手や指の位置を割り出す。カメラは 1 秒間に 200 フレームの画像を生成し、手や指などのポイントを 0.01mm の精度で計測する。計測範囲は中心から半径 50cm, 中心角 110 度の空間である。

$$\begin{cases} \theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{x}{y}, -\text{atan2}\left(\frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2}\right)\right) \\ \theta_2 = \text{acos}\left(\frac{x^2 + y^2 - (L_1^2 + L_2^2)}{2L_1 L_2}\right) \end{cases} \quad (1)$$

表 1 パラメータ表

パラメータ	説明
$L_1$	リンク 1 の長さ [mm]
$L_2$	リンク 2 の長さ [mm]
$\theta_1$	第 1 リンク関節角 [rad]
$\theta_2$	第 2 リンク関節角 [rad]
$x$	指先位置の X 座標
$y$	指先位置の Y 座標

### 3.3 指先位置から回転角の導出

LeapMotion で検出した指先位置と 3.1 節の逆運動学プログラムを用いてモータの関節角を導出した、図 5 は逆運動学の式を使って算出したリンク 1 とリンク 2 の関節角である。

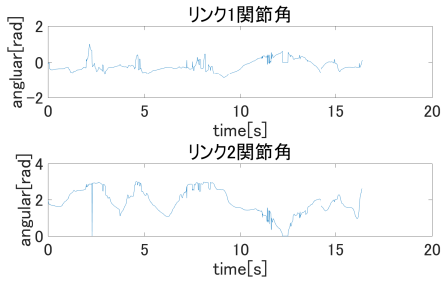


図5 LeapMotionでの関節角導出

#### 4 多指ハンド関節のPID制御

モータ1個の角度をPID制御するプログラムを作成した。

$$\begin{cases} e(t) = r(t) - y(t) \\ \tau = \frac{0.7V}{2} \\ V = K_p e(t) + -\frac{K_d}{\Delta t} (r(t) - r(t - \Delta T)) + u_i(t - \Delta T) \\ + K_i \frac{e(t) - e(t - \Delta T)}{2} \Delta T \end{cases} (2)$$

目標値を  $r(t) = 3$  とし実験を行った。さまざまなゲインを

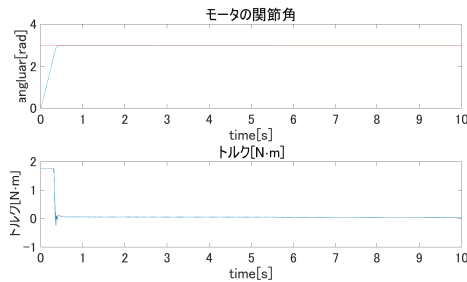


図6 PID制御

試し応答を比較したところ  $K_p = 20, K_i = 0.2, K_d = 0.02$  で応答が安定したのでこれらのゲインで今後実験をしていく。

表2 パラメータ表

パラメータ	説明
$V$	モータへの印加電圧 [V]
$\tau$	トルク [N · m]
$K_p$	比例ゲイン
$K_d$	微分ゲイン
$K_i$	積分ゲイン
$e(t)$	偏差
$r(t)$	モータ目標値 [rad]
$y(t)$	モータ現在値 [rad]
$\Delta T$	サンプリングタイム

## 5 LeapMotionを用いた制御

### 5.1 指先位置を用いたモータ2個の制御

3.3節で導出した第1リンク,第2リンクそれぞれの関節角を目標値とし,PID制御を行った., 図7は第1リンクの目標値 [rad]とモータの現在値 [rad]の応答, 図8は第2リンクの目標値 [rad]とモータの現在値 [rad]の応答を比較したものである. 図7と図8を見たところそれぞれのモータは目標値に追従している。

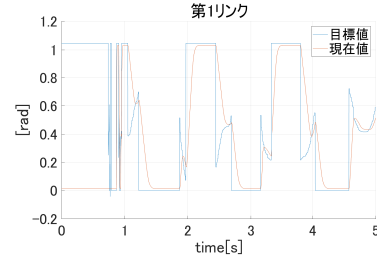


図7 第1リンク

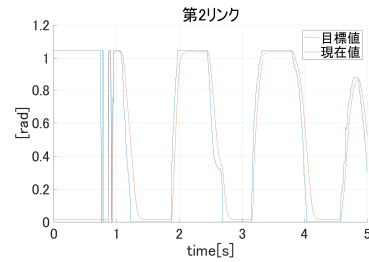


図8 第2リンク

## 6 おわりに

本研究は LeapMotion で取得した指先位置を用いて逆運動学の式で関節角の目標値を導出しモータ2個をPID制御することができた. 今後は実験機の多指ハンドロボットを使用する際に LeapMotion と多指ハンドロボットの座標系を考えなおしたり, 目標値の急激な変化によってモータに過大な速度が出力されるため軌道生成を行ったりすることでより滑らかな動きを実現していきたい。

### 参考文献

- [1] 横小路泰義:『テレロボティクスフロンティア』. 日本ロボット学会誌 Vol.30 No.6, pp.562~564, 2012
- [2] 中村薫:『Leap Motion プログラミングガイド [改訂版]』. 工学社, 東京, 2015.
- [3] 横小路泰義:『マスター・スレーブ制御の理論』. JRSJ Vol.11 No.6
- [4] LeapMotion: <https://developer.leapmotion.com/101>
- [5] John J.Craig 著, 三浦宏文・下山勲 訳:『ロボティクス-機構・力学・制御-』共立出版, 東京, 1991.