

ロボットアームのマスタスレーブ制御

2015SC065 森本広也

指導教員：大石泰章

1 はじめに

マスタスレーブ制御とは、マスタの動きと一致するようにスレーブを制御する方法である。爆発物の解体作業、宇宙空間での修理作業やサンプル収集など、人体に負担になったり、危険であったりする作業をマスタスレーブ制御で制御されたロボットに行わせることは有益である。実際に災害復旧など無人の作業を想定して建設機械を対象とするマスタスレーブ制御の研究開発が行われている [1]。

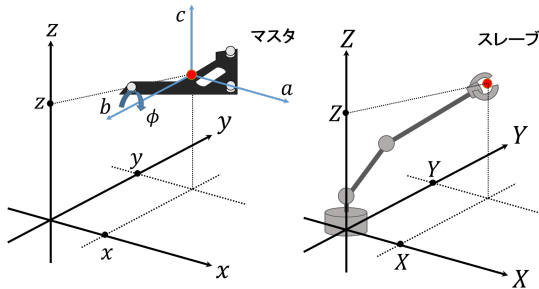


図1 マスタとスレーブの位置関係

本研究では、ロボットアームをマスタスレーブ制御することによって、物を運搬することを目標にする。図1に示すように、マスタである指示物体の重心位置と姿勢角をモーションキャプチャを使って読みとり、重心の位置に基づいて、スレーブであるロボットアームの先端を動かす。また、指示物体の姿勢角に基づいて、アームの先端のツメを動作させる。

2 使用機材

2.1 モーションキャプチャ

本研究では、光学式モーションキャプチャ OptiTrackの「flex3」のカメラを3台用いる。指示物体には、マーカのついた三角形の板を使用し、図2のように、3台のカメラから観測できる位置に指示物体を配置することで、非接触で指示物体の重心座標や、姿勢角を測定できる。

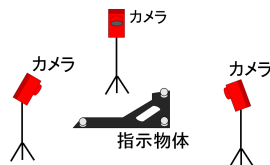


図2 モーションキャプチャ

2.2 ロボットアーム LittleArm 2C

本研究ではロボットアーム LittleArm2C を用いる。図3は、ロボットアームの概観と、それをモデル化したもので

ある。図3に示すように、使用するロボットアームは、3つの関節のロボットアームで、台座から垂直軸まわりに回転するモータを1つ介してリンクが伸び、さらにその先に水平軸まわりに回転するモータを2つ介して、先端にはツメを取り付けた構造となっている。モータには、R/Cサーボモータ「MG-90S」を使用している。このモータはArduinoから目標角度をPWM (Pulse Width Modulation) の形式で受け取ることで、 -90 度から $+90$ 度までの指定した角度に制御できる。また、モータを動かすことでアーム先端のツメを開閉する機構が備わっていて、物を運搬することが可能である。

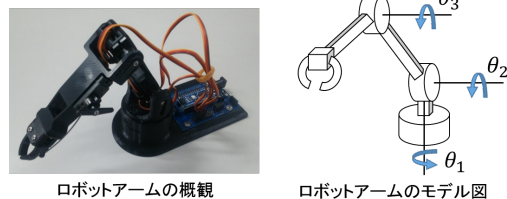


図3 ロボットアーム

3 ロボットアームの制御

3.1 システムの概略

ロボットアームの制御を行うために、図4のようなシステムを構築した。

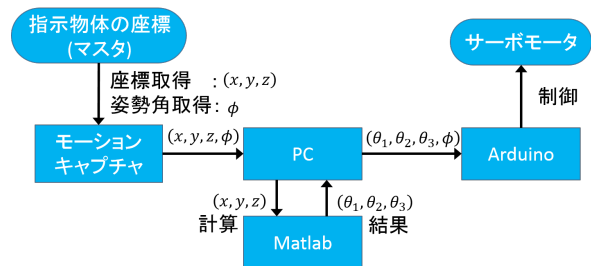


図4 制御のシステム

初めに、モーションキャプチャで測定できる空間内にて指示物体の重心の座標と姿勢角を取得して、得られた重心の座標と姿勢角をPCへ送信する。ロボットアームの先端を指示物体の重心座標に対応する座標に動かすために、「matlab」を使って各関節を何度にするべきか計算する。姿勢角についてはロボットアームのツメの状態を決定するために用いる。得られた角度と姿勢角をArduinoへシリアル通信で送信する。情報を受け取ったArduinoは、それぞれの角度に基づいて各サーボモータに角度制御命令を送り、各サーボモータが命令された角度に動くことによ

て、ロボットアームの先端の座標をマスタで指示された位置に合うように移動させる。また、姿勢角の値の大きさに基づいてツメを操作するサーボモータに角度制御命令を送り、ツメの開閉を制御する。

3.2 逆運動学

図5に対象とするロボットアームのモデルを示す。

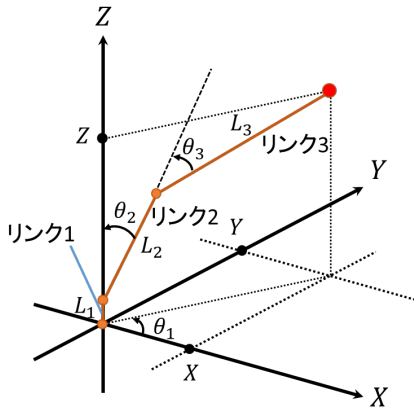


図5 ロボットアームのモデル

図5のロボットアームには、リンク1、リンク2、リンク3の3つのリンクがあり、それぞれの長さは L_1 (m)、 L_2 (m)、 L_3 (m)である。ここで、ロボットアームの先端位置を (X, Y, Z) の座標に合わせるときに、各関節のモータが回転すべき角度をそれぞれ θ_1 (度)、 θ_2 (度)、 θ_3 (度)で表す。各リンクの長さは、使用するロボットアームに基づいて定める。リンク1の長さは十分に短いので L_1 の値は零として、 L_2 の値を0.09、 L_3 の値を0.11とした。この3リンクアーム構造での逆運動学は次のような式になる：

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \arctan \frac{X}{Y}, \\ \theta_2 &= \frac{\pi}{2} + \arccos \frac{X^2 + Y^2 + Z^2 + L_2^2 - L_3^2}{2L_2\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \\ &\quad - \arctan \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{Z}, \\ \theta_3 &= \pi + \arccos \frac{X^2 + Y^2 + Z^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}. \end{aligned}$$

この数式を用いて、マスタが指示した座標から、各サーボモータへ命令する角度への変換を行う。

3.3 ツメの開閉

指示物体上に、指示物体の重心が原点となり、指示物体が ab 座標平面と平行になるように abc 直交座標系を取る。 b 軸のまわりの回転角を ϕ とする。この ϕ の値に基づいて、次のようにツメの状態を決定する：

- $\phi < -40[\text{度}]$: ツメを開く,
- $-40[\text{度}] < \phi < 40[\text{度}]$: 現在の状態を維持する,
- $40[\text{度}] < \phi$: ツメを閉じる.

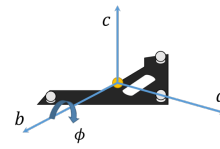


図6 指示物体の姿勢角

4 動作検証

指示物体の重心位置を動かすとき、ロボットアームの先端位置が合わせて動くか確認を行うため、それぞれの先端座標を測定した。ロボットアームの先端位置の測定には、もう1台のモーションキャプチャを使った。また、指示物体を動かせる範囲を広げるためにマスタ側の座標を定数倍している。それぞれの座標は図7のようになった。

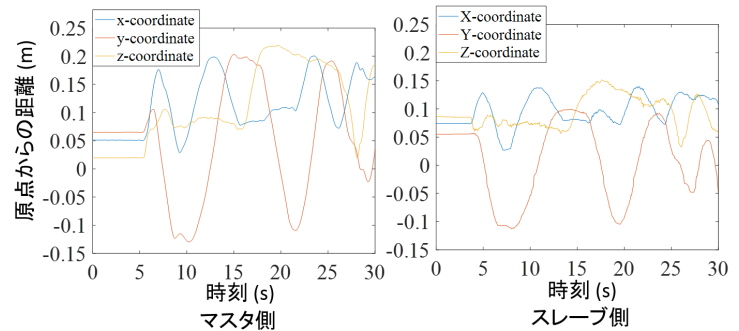


図7 マスタとスレーブの座標

図7より、マスタの動きに合わせてスレーブが動いていることが確認できる。ただし、サーボモータの角度は正確に動作しているか検証を行っていない。なので、サーボモータの角度誤差によりマスタとスレーブの座標のずれが生じたと考えられる。また、時刻が一致していないが、これは測定開始のタイミングがずれによるものである。

5 おわりに

指示物体の重心の座標と姿勢角をモーションキャプチャを使って測定することで、ロボットアームのマスタスレーブ制御が実現できたと考える。本稿では触れなかったが、ツメの制御を行うことで、物を掴み、別の場所に移動させることが確認できたので本研究の目的は達成できた。

参考文献

- [1] 加藤英寿, 山田宏尚, 武藤高義: 「遠隔操作建設ロボットシステムのマスタ・スレーブ制御」. 日本フルードパワーシステム学会論文集, 第34巻(2003), 第2号, pp. 27-33.
- [2] 松日楽信人, 大明準治: 『わかりやすいロボットシステム入門—メカニズムから制御まで—』. オーム社, 東京, 1999.
- [3] OptiTrack: <https://www.optitrack.co.jp/>