

E-9

## マスタ・スレーブシステムを用いたロボットハンドに関する研究 モデル化誤差とセンサノイズが位置と力に与える影響について

### Research on Robot Hands using Leader-Follower System

### Effect of Modeling Error and Sensor Noise on Position and Force

大久保青彦<sup>1</sup>, 吉田洋明<sup>2</sup>Haruhiko Okubo<sup>1</sup>, Hiroaki Yoshida<sup>2</sup>

Abstract : Robot hands using a leader-follower system, which is one of the remote control technologies. Leader-follower systems are attracting attention for their success in medical sites, disaster sites, and construction sites. Development of a remote-control operation system is expected by the spread of 5G communications system. However, errors occur due to modeling errors and sensor noise. We investigated the effect of noise and modeling errors on the position and force of the robot hands.

#### 1. 背景

マスタ・スレーブシステムとは、操作者がマスタ装置を操作することで、遠隔地にあるスレーブ装置を操作することができるシステムである。マスタ・スレーブシステムにはユニラテラル型とバイラテラル型の2つの方式がある。

医療現場では da Vinci Si[1]という内視鏡手術用ロボット、災害現場や解体作業などではアスタコ NEO[2]という双腕作業機が活躍している。しかし、これらはユニラテラル型のため知覚情報を操作者に返すことができない。ここでは、知覚情報を操作者へ返すことができるバイラテラル型のシステムを対象とする。

バイラテラル型では、力センサにノイズが入ると操作性に影響を及ぼすことが考えられる。また、プラントのモデル化誤差も操作性に影響を及ぼす。

本研究室では、バイラテラルシステムとして、モデルにマスタが追従し、さらにマスタにスレーブが追従する直列制御方式と、モデルにマスタとスレーブがそれぞれ追従する並列制御方式の研究を行っている。

#### 2. 目的

バイラテラル型のマスタ・スレーブシステムにおいて、直列制御方式と並列制御方式で、モデル化誤差と力センサのノイズが位置と力の再現にどのような影響を与えるのかを調べる。

#### 3. 実験装置

本実験で使用するマスタ装置を図1に、スレーブ装置を図2に示す。

マスタ装置は把持部の穴に指を入れ、把持部に力を加えるとひずみゲージが把持部に加えた力を読み取る。また、スレーブ装置の構成はマスタ装置から把持部を取り除いたものになっている。

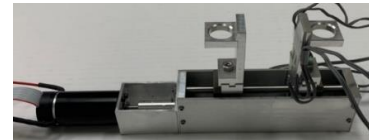


図1 マスタ装置



図2 スレーブ装置

#### 4. 制御則

本研究では制御則に Model Following Control (MFC) [3]を使用する。MFCとは規範モデルを設定し、装置の動特性を規範モデルに一致させるように装置を動かす制御方法である。

マスタ・スレーブを実現するために、マスタ装置を規範モデルとして、スレーブ装置をマスタ装置に追従させる。なお、マスタ装置は動特性の小さい規範モデルに追従させることで装置の動特性の影響を小さくしている。

等価質量のモデル化誤差を含んだマスタ装置とスレーブ装置および規範モデルの運動方程式を式(1)、(2)および(3)に示す。

$$(M_{mst} + \Delta M_{mst})\ddot{x}_{mst} + B_{mst}\dot{x}_{mst} = f_{mst} + \tau_{mst} \quad (1)$$

$$(M_{slv} + \Delta M_{slv})\ddot{x}_{slv} + B_{slv}\dot{x}_{slv} = f_{slv} + \tau_{slv} \quad (2)$$

$$M_{mdl}\ddot{x}_{mdl} + B_{mdl}\dot{x}_{mdl} = f_{mst} + f_{slv} \quad (3)$$

mst : マスタ装置, slv : スレーブ装置, mdl : 規範モデル

式(1)のマスタ装置の運動方程式を、式(3)の規範モデルの運動方程式に一致させるようにMFCを適用して制御則を導出する。なお、運動方程式中の $M$ は等価質量、 $\Delta M$ はモデル化誤差、 $B$ は等価粘性減衰係

1 : 日大理工・院(前)・精機, 2 : 日大理工・教員・精機

数,  $f$  は外力,  $\tau$  はモータによる推進力である.

### 5. ブロック線図

MFCを適用したブロック線図を図3と図4に示す. それぞれ質量のモデル化誤差とノイズを含んでいる. 図3は直列制御方式, 図4は並列制御方式である.

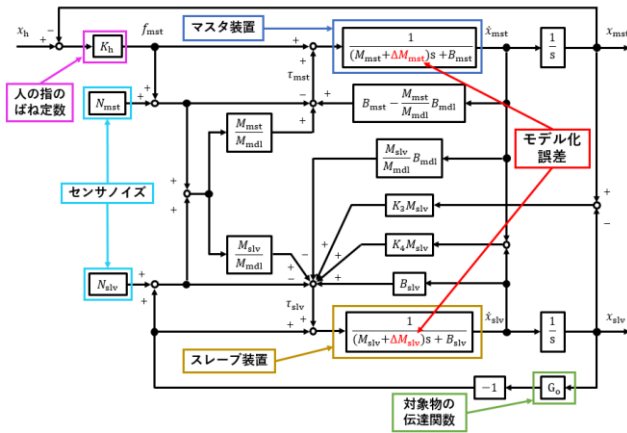


図3 直列制御方式のブロック線図

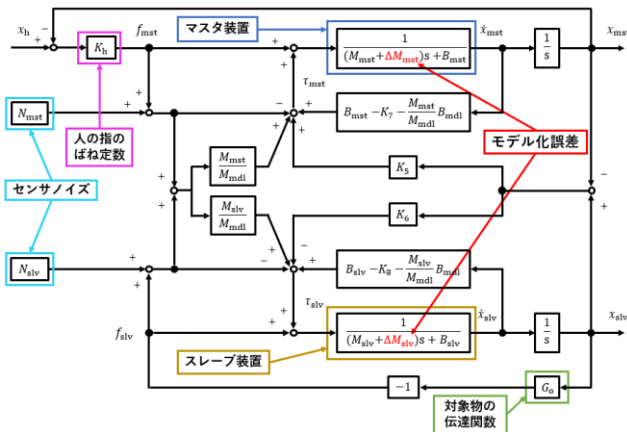


図4 並列制御方式のブロック線図

### 6. ボード線図

モデル化誤差とカセンサノイズがどのような影響を与えるのかを確認するためボード線図を作成した. なお, モデル化誤差の値は等質量の値に対して, 0.1 倍増, 0.5 倍増, 1.0 倍増, 10 倍増とした.

ボード線図において, 黒線がモデル化誤差なし, 緑線が 0.1 倍増, 青線が 0.5 倍増, 黄色線が等倍増, 赤線が 10 倍増である.

今回は大きな変化が見られたスレーブ側のセンサノイズからスレーブの位置までのボード線図を図5, 図6に示す.

スレーブ側のセンサノイズに 1N の約 250Hz のノイズが入った場合, マスタ装置の位置は直列制御方式で最大約 8cm, 並列制御方式では最大約 0.5mm の誤差

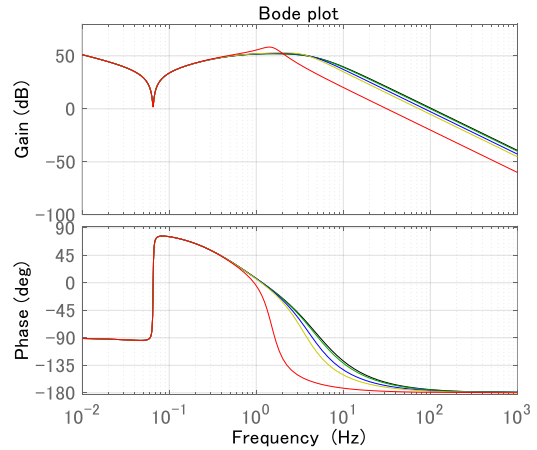


図5 直列制御方式のボード線図

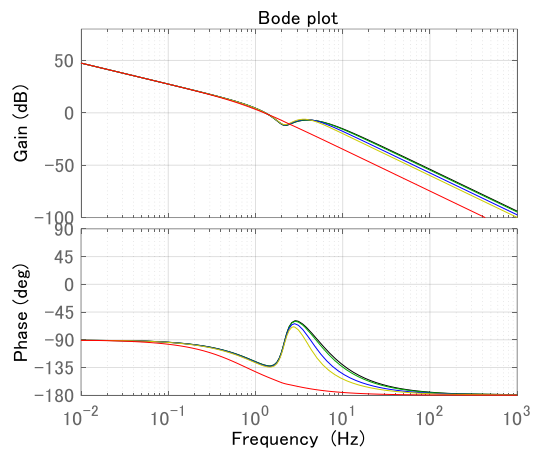


図6 並列制御方式のボード線図

が生じる.

図には示していないが, マスタ側のセンサノイズからマスタの位置までなどのボード線図も作成した. その結果, 直列制御方式では図5以外の様々な応答が見られたが, 並列制御方式では図6に似た応答が多く見られた.

### 7. 結論

直列制御方式よりも並列制御方式の方が, 誤差が少ないため繊細な作業を行う場合は並列制御方式が向いていることが示唆された.

### 参考文献

- [1] 武中篤: “ロボット支援手術の利点と問題点”, 日本内分泌・甲状腺外科学会雑誌, Vol.31, No.2, pp.83-86, 2014.
- [2] 石井啓範: “建設機械の遠隔操作と双腕作業機”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.2, pp.582-584, 2014.
- [3] N.kawahata: “Model-Following System with Assignable Error Dynamics and Its Application to Aircraft”, Journal of Guidance and control, Vol.3, No.6, pp.508-516, 1980.