

シンクロナス・マスタ・スレーブシステムの研究

A study on Synchronous Master Slave System

○藤原直紀¹, 菅沼雄登¹, 吉田洋明²*Naoki Fujiwara¹, Yuuto Sukanuma¹, Hiroaki Yoshida²

Abstract: Recently, robot remote control technology is attracting attention in medical and disaster situations. We proposed a new control law, "Synchronous Master Slave System". Also, simulations were performed and checked the effect.

1. はじめに

近年, 医療現場や災害現場などにおいてロボットの遠隔操作技術が注目されている¹⁾. この遠隔操作技術の一つにマスタ・スレーブシステムがある.

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. このシステムには, 現在2種類の方式があり, それぞれユニラテラル型とバイラテラル型と呼ばれている. ユニラテラル型は情報の伝達がマスタ側からスレーブ側への一方通行である制御方法であり, 操作者にはスレーブの力覚情報が伝わらず, 力の入れすぎなどで対象物を破壊してしまう恐れがある. 一方, バイラテラル型は相互に情報伝達を行う制御方法であるため, スレーブが対象物に触れた感触が操作者に伝わり, あたかも直接対象物に触れているかのように感じられるため, より繊細な作業ができるようになる.

本研究では新たな制御方法としてシンクロナス・マスタ・スレーブシステムを提案する.

2. Model Following Control

本研究で使用する制御則には, Model Following Control (MFC) を利用する²⁾. 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方式である.

3. シンクロナス・マスタ・スレーブシステム

シンクロナス・マスタ・スレーブシステムとは, モデルに対してマスタとスレーブがそれぞれ情報伝達を行うことで, マスタとスレーブを制御する方式である.

この方式の利点としては, それぞれ同時に制御を行うことで, バイラテラル型よりも情報の伝達に遅れがなくなることや, 制御則をマスタ, スレーブで同じものを利用することができる点が挙げられる.

4. 制御則

シンクロナス・マスタ・スレーブシステムの制御則は規範モデルに対してマスタ装置とスレーブ装置それぞれの出力誤差を設定し, 誤差ダイナミクスを構成することで導出される. 式(1)~(3)は, モデル, マスタ装置, スレーブ装置の運動方程式である.

$$M_{\text{mdl}}\ddot{x}_{\text{mdl}} + B_{\text{mdl}}\dot{x}_{\text{mdl}} = f_{\text{mst}} + f_{\text{slv}} \quad (1)$$

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

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

M_{mdl} : 規範モデルの質量 [kg], B_{mdl} : 規範モデルの粘性減衰係数 [Ns/m], x_{mdl} : 規範モデルの移動量 [m], f_{mst} : マスタ装置に加わる外力 [N], f_{slv} : スレーブ装置が受ける反力 [N], M_{mst} : マスタ装置の等価質量 [kg], B_{mst} : マスタ装置の等価粘性減衰係数 [Ns/m], x_{mst} : マスタ装置の移動量 [m], τ_{mst} : マスタ装置のモータによる推進力 [N], M_{slv} : スレーブ装置の等価質量 [kg], B_{slv} : スレーブ装置の等価粘性係数 [Ns/m], x_{slv} : スレーブ装置の移動量 [m], τ_{slv} : スレーブ装置のモータによる推進力 [N]とする.

ここで, マスタ装置の制御入力を τ_{mst} , スレーブ装置の制御入力を τ_{slv} とし制御則を導出すると式(4), (5)のようになる.

$$\tau_{\text{mst}} = \left(B_{\text{mst}} - \frac{M_{\text{mst}}}{M_{\text{mdl}}} B_{\text{mdl}} \right) \dot{x}_{\text{mst}} + \left(\frac{M_{\text{mst}}}{M_{\text{mdl}}} - 1 \right) f_{\text{mst}} + \frac{M_{\text{mst}}}{M_{\text{mdl}}} f_{\text{slv}} \quad (4)$$

$$\tau_{\text{slv}} = \left(B_{\text{slv}} - \frac{M_{\text{slv}}}{M_{\text{mdl}}} B_{\text{mdl}} \right) \dot{x}_{\text{slv}} + \left(\frac{M_{\text{slv}}}{M_{\text{mdl}}} - 1 \right) f_{\text{slv}} + \frac{M_{\text{slv}}}{M_{\text{mdl}}} f_{\text{mst}} \quad (5)$$

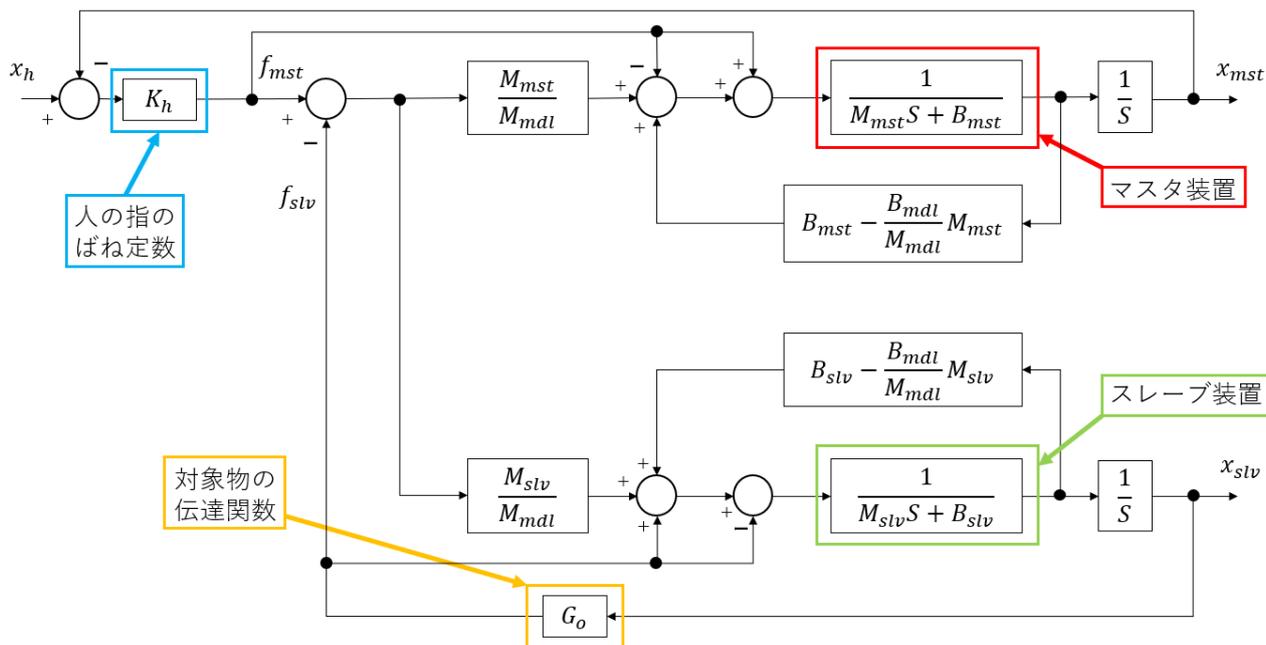


Figure1. Block diagram of Synchronous Master Slave System

5. ブロック線図

シンクロナス・マスタ・スレーブシステムのブロック線図を Fig.1 に示す.

6. シミュレーション

Figure1 のブロック線図に従って、シンクロナス・マスタ・スレーブシステムのシミュレーションを行った。このときの条件を Table1 に示す。

また、入力信号については、人間の指の動きを想定し、1[Hz]の正弦波とする。

シミュレーション結果を Fig.2 に示す。シミュレーションにより、マスタとスレーブの位置が一致することが確認された。

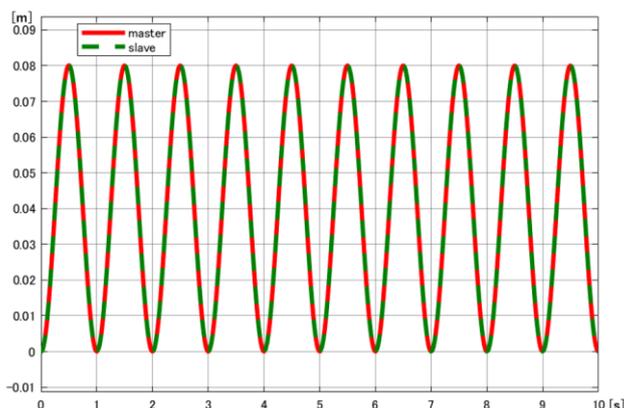


Figure2. Simulation results

7. おわりに

提案した制御手法によって、マスタとスレーブの位置と力が一致することを確認した。

しかし、システムにノイズや外乱が入ると、マスタとスレーブの位置にずれが生じることがわかった。今後、位置フィードバックを加えた制御則について検討する。

8. 参考文献

[1]東京医科大学病院:「手術支援ロボット「ダヴィンチ」徹底解剖」, <http://hospinfo.tokyo-med.ac.jp/davinci/top/index.html> (accessed 2019-09-20).
 [2]. Nagakatsu Kawahata: “Model-Following System with Assignable Error Dynamics and Its Application to Aircraft”, Journal of Guidance and Control, Vol.3, No.6, pp508, 1980.

M_{mdl}	0.00982[kg]
M_{mst}	9.82[kg]
M_{slv}	6.35[kg]
B_{mdl}	0.00347[Ns/m]
B_{mst}	3.47[Ns/m]
B_{slv}	3.39[Ns/m]
K_h	1204[N/m]
G_0	300[N/m]