

上肢運動の周波数特性について

清水聡仁, 柴里弘毅, 大塚弘文 (熊本電波高専), 川路茂保 (熊本大学)

1 はじめに

人間が物理的な機構を持つ装置を操り作業を行うシステムを称して人-機械系と呼んでいる。人間の介在は人-機械系にとって不可欠であり、操作者が熟練していない場合には、安定かつ良好な制御結果を得ることは難しい。操作の過不足を適切に補い、操作性能の改善や操作者の負担軽減を図る機構をコラボレータと呼び、2自由度PID補償器設計法に基づいて設計手法を提案している [1]。コラボレータ実装には上肢運動モデルが必要であることから、本研究ではリンク型インターフェースを用いて追従動作実験を行い、上肢運動モデルの特性を調査した。

2 上肢運動モデル

図1に示されるように、回転移動するターゲットを視覚的に捉え、グリップ部をターゲットに追従動作させる問題を考える。

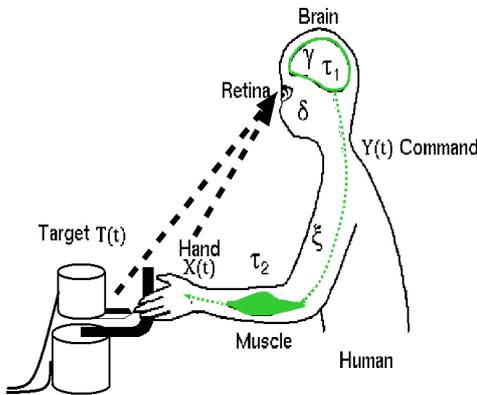


図 1: 人の操作モデル

2.1 DFF モデル

本研究では人間の感覚-運動制御システムモデルとして式 (1),(2) に示す DFF モデル [3] を用いている。

$$\dot{Y} = \frac{1}{\tau_1} \{T(t - \delta) - X(t - \delta)\} - \gamma \dot{T}(t - \delta) \quad (1)$$

$$\dot{X} = \frac{1}{\tau_2} \{Y(t - \xi) - X(t)\} \quad (2)$$

表 1: 人-機械系モデルのパラメータ

記号	意味
T	ターゲットの位置
X	アームの手の位置
Y	脳から腕の筋肉への神経伝達信号
δ	網膜から脳内の運動指令決定部位間の信号伝達に掛かる無駄時間
ξ	脳から腕までの信号伝達に掛かる無駄時間
τ_1	脳内の運動指令決定の時定数
τ_2	筋肉運動の時定数
γ	フィードフォワードループの結合強度
G_i	DFF モデルの出力を変換する伝達要素
G_m	機械の伝達関数

図2に DFF モデルに対して機械の伝達関数 G_m を加えた人-機械系全体のブロックモデルを示す。なお DFF モデルの出力は変位情報であるたインピーダンス要素である G_i を G_m の前に挿入している。

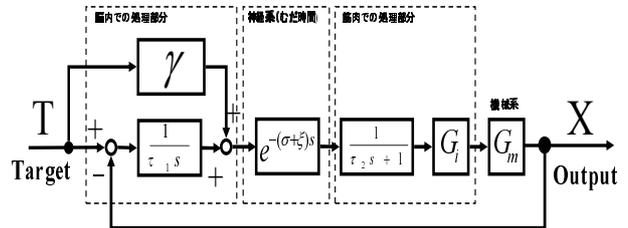


図 2: 人-機械系のブロック図

3 実験

3.1 実験方法

図3に示すように人間はリンク型インターフェースの前に着座する。またベルトで体を固定し、利き手でハンドルを操作する。上部モータに取り付けられている指針が回転移動し人間への目標となる。操作アームは下部モータ出力軸に直結されており、人間が操作を行う機械系と応答を測定するためのエンコーダとして用いる。なお指針は図4に示すように被験者の正面から左右に10度、周期的に移動するものである。



図 3: 座位追従実験

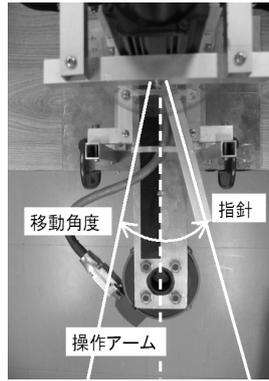


図 4: 目標設定

3.2 実験結果

人間の四肢運動の周波数応答特性を調べるために正弦波状に移動する指針に操作アームを追従させる実験を行った。ボード線図を図5に示す。なお、周波数が13[rad/sec]以上では目標を視認しながら追従動作を行うことが出来なかったため周波数が12[rad/sec]以下のものを示している。

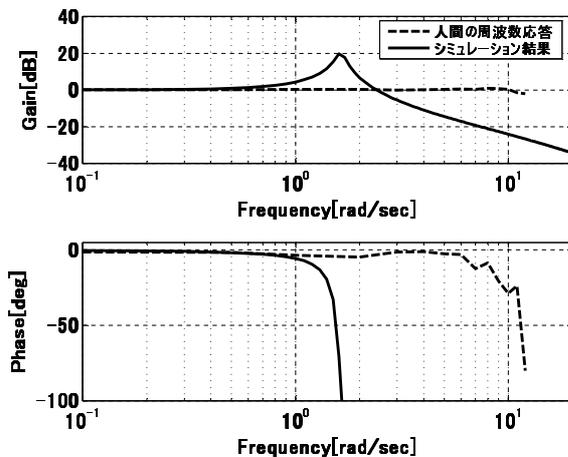


図 5: 周波数応答特性

四肢運動の周波数特性とシミュレーションによって得られた四肢運動モデルの周波数特性を比較し、二乗誤差が最小となるようにモデルパラメータを同定した。周波数応答シミュレーション結果を図5の実線で示す。また、同定されたパラメータを用いて0.5[rad/sec]の正弦波目標に対する時間応答のシミュレーションを行った。図6に正弦波目標に対するシミュレーション結果および同目標に対する人間の追従結果を示す。図5,6から四肢運動モデルは0.5[rad/sec]以上で周波数特性を十分に表していな

い。しかし、0.5[rad/sec]程度までの周波数領域においては再現性が高いことから、四肢運動は安定状態における精細な位置決め動作や、緩やかな位置調整動作などの動作について表現していると考えられる。

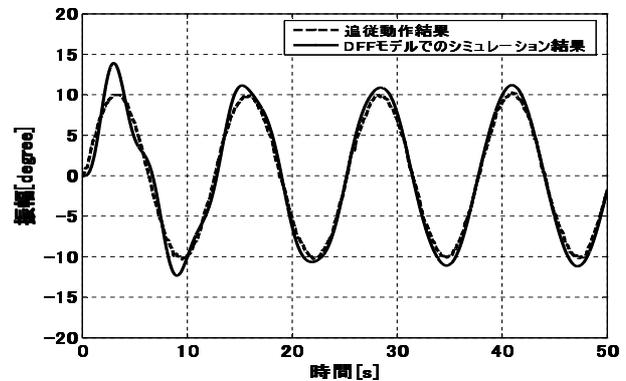


図 6: 正弦波目標追従結果

4 まとめ

低周波数領域において四肢運動モデルが四肢運動の特性を表現していることを示した。このDFFモデルを用いて設計されたコラボレータは精細な位置決め動作に向いていると考えられる。さらに、人間が持つ帯域を表現できるように四肢運動モデルを改良することで動的な動作についてもコラボレータによる補償が行えると期待できる。

本研究の一部は、平成17年度立石科学技術振興財団(登録番号1051009)の助成により実施したものである。記してここに謝意を表す。

参考文献

- [1] "A Study on a Human-Oriented Compensator for the Human-Machine System", H.OHTSUKA, K.SHIBASATO, H.UEMURA, S.KAWAJI, Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems, pp.657-662,(2003)
- [2] "Concept, Structure and Design of "Collaborator" in Human-Machine System", K.SHIBASATO, H.OHTSUKA, S.KAWAJI, Preprints of the IFAC World Congress, Fr-M16-TO/1 (DVD), (2005)
- [3] 石田文彦, 沢田康次:人の感覚運動における先行位相の定量的研究, 計測自動制御学会論文集 Vol.39, No.1, pp.59-66,(2003)

[問い合わせ先]
 熊本電波工業高等専門学校 柴里弘毅
 Tel/Fax 096-242-6159/096-242-0981
 E-mail: sibasato@ec.knct.ac.jp