

人間—機械系におけるインストラクティブ制御器に関する研究

A Study on Instructive Controller for Human-Machine System

1051009

研究代表者 熊本電波工業高等専門学校 准教授 柴里弘毅

[研究の目的]

本研究では、「人間と機械の調和」を人間も機械もともに成長することで創り出される共生と捉えている。人間—機械系の成長型共生を目指し、適切な訓練を行うことで人間の操作能力を伸ばすインストラクティブ制御器に向けた実験装置の開発および人間の動特性モデルの導出を行う。

[研究の内容、成果]

1. 上肢運動モデル

人間—機械系の成長型共生を目指す本研究では、訓練者の動作を数学的に記述したモデルの構築を出発点としている。従来研究の1つに、肩から手先までの上肢運動を表すモデルとしてDF Fモデルがある。DF Fモデルは、視覚情報として得られる手先と目標の誤差を入力とし、手先の変位を出力とするモデルである。このモデルでは視覚情報から得られる誤差を入力としているため、筋の反射動作や視覚では認識が困難な高速動作を表現できないという問題がある。本研究では、視覚のフィードバック要素に加えて力覚フィードバック要素も考慮した上肢モデルを提案する(図1)。このモデルにおける力覚は、外力による筋の伸縮情報のフィードバックに対応する。また、目標追従動作時において、目標からの誤差が顕著な場合は視覚情報に関係なく大胆に手を動作させると考えられることから、誤差補償感度係数を導入した。力覚フィードバックループの結合強度 α 、脳の誤差補償感度係数

β と表すと、上肢運動モデルは次式で表される。ただし、その他のパラメータを表1の通りとする。

$$\begin{aligned} \dot{Y} &= \frac{1}{\tau_1} (T(t-\delta) - X(t-\delta)) + \beta(\dot{T}(t-\delta) - \dot{X}(t-\delta)) \\ &+ \gamma\dot{T}(t-\delta) \\ \dot{X} &= \frac{1}{\tau_2} (Y(t-\xi) - \alpha X(t-\xi)) \end{aligned}$$

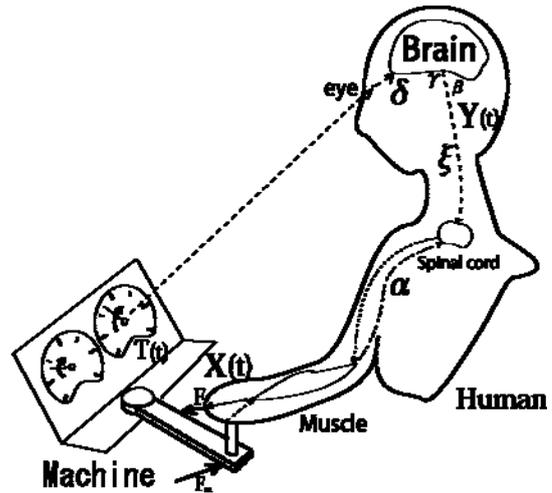


図1 人間—機械系

表1 人間—機械系のモデルパラメータ

記号	意味・解釈
$T(t)$	ターゲットの位置
$X(t)$	手先の位置
$Y(t)$	脳からの腕の筋肉への信号伝達信号
δ	網膜から脳内の運動指令決定部位間の信号伝達にかかる無遅時間
ξ	脳から腕までの信号伝達にかかる無遅時間
τ_1	脳内の運動指令決定時定数
τ_2	筋運動の時定数
α	力覚フィードバックループの結合強度
β	脳の誤差補償感度係数
γ	フィードフォワードループの結合強度
F	人が機械系へ入力する力
F_m	人が機械系から受ける反力
G_s	筋肉・骨格によってDF Fモデルの出力を変換する伝達要素
G_m	機械系の伝達関数

2. モデルの評価

2.1 ステップ応答

実験は、被験者が椅子に座った状態で、指針目標に追従するように一軸アーム系のロッドを回転させて行った(図2)。被験者の上半身が揺れるのを防ぐため、上体をホールドする椅子を用いている。本研究では、目標軌道をステップ状の目標とし、25回の試行データの平均値をモデル同定データとした。同定パラメータを用いたシミュレーションと実験結果の比較を図3に示す。従来モデルの応答は高周波域での再現性が低く、ステップ応答を十分に再現できないが、

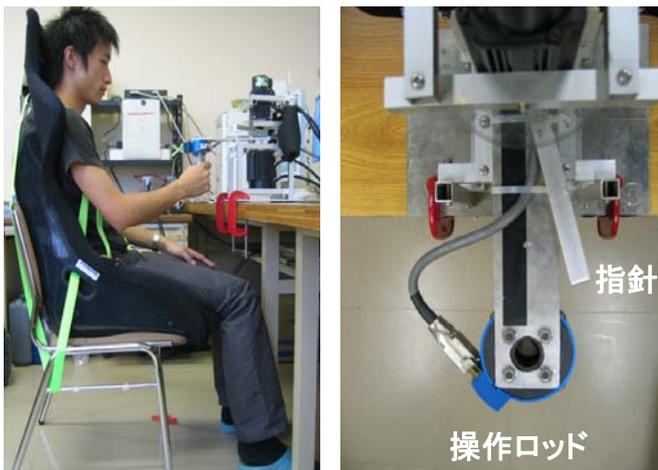


図2 実験姿勢

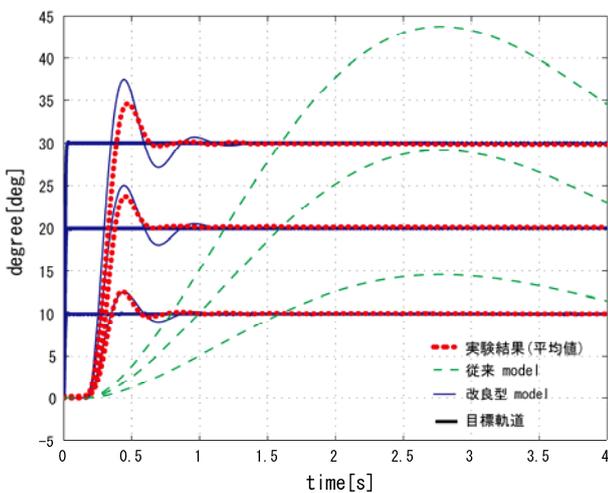


図3 従来モデルとの比較

改良型モデルは実験結果と比べるとアンダーシュートが大きい傾向にあるものの、従来モデルと比べると応答特性が大幅に改善され、上肢運動の応答を十分に再現していることが確認できる。

2.2 操作力の比較

実験の操作目標は指針に追従するようにロッドを回転させることであるが、機器の操作感は力覚との関連がある。操作者の操作力を引き出すには力覚の再現性も考慮されるべき点である。

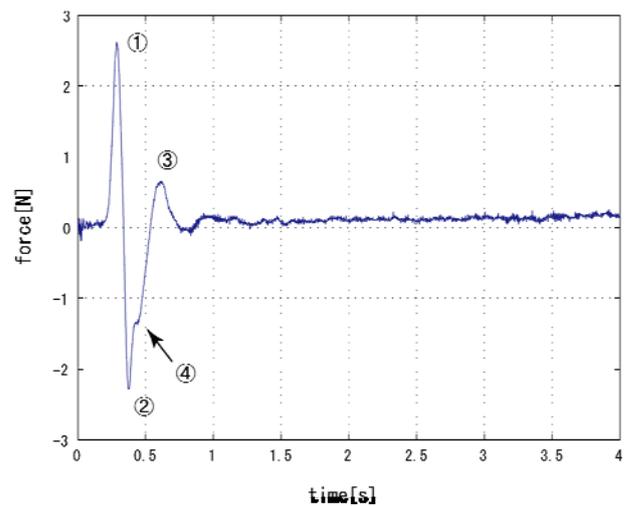


図4 操作力(実験値)

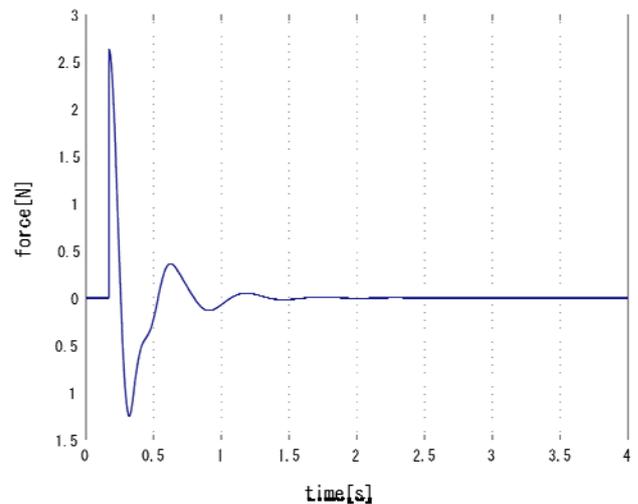


図5 操作力(シミュレーション)

図4に力センサーにより測定された実験時の操作力を示す。①ステップ状の目標に追従すべく加えられるインパルス状の力、②行き過ぎを抑える逆向きの力、③定常値に収束させるための抑制力が観測されている。改良型モデルのシミュレーション結果を図5に示す。シミュレーションにおいても、①～③の特徴が同様に再現されていることがわかる。また、④に見られる操作力の揺らぎも現れており、操作力の時間応答の特徴を捉えている。

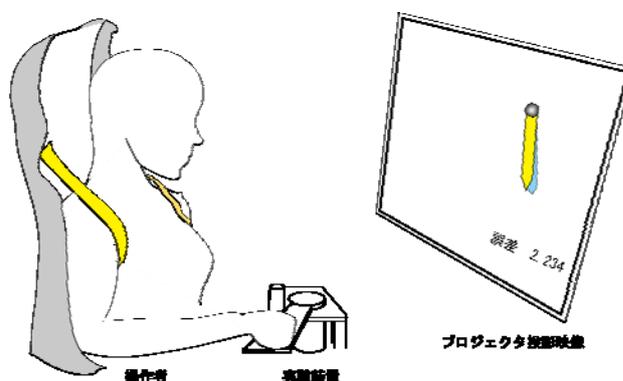


図6 リアルタイム投影システム

3. まとめ

本研究では、従来モデルの問題点を力覚フィードバックおよび誤差補償感度関数を追加した改良型モデルにより解決した。

[今後の研究の方向、課題]

4. 今後の課題

4.1 実験システムの改良

現行の実験装置では、指針と操作ロッドの差を目視によって読み取るが、視線のわずかなずれが人の読み取り誤差となる。この誤差は数学的モデルの導出から分離されるべき問題であり、操作者の身長や姿勢によらず目標を正しく認識できる仕組みが必要である。現在、指針と操作ロッドの様子をプロジェクタで投影する実験システムを構築中である(図6)。

・わかりやすさ

この装置の目的は、操作者に指針と操作ロッドとの差を視覚情報で、より正確に認識させることにある。実験装置の上方にカメラを設置して撮影された映像を表示する方法も検討されるが、移動量が微小で精細な操作が要求される場

面では、従来実験装置と同様の読み取り誤差が予想されるため、角度情報をカウンターボードでコンピュータに取り込みグラフィック処理で提示する方式とする。また、表示方法においても直感的に把握しやすいような配慮が必要となる。目標角度とのずれを数値で提示し、画面左側には数秒間の動作履歴をグラフ表示して、目標値との誤差に応じて色を白、青、オレンジと変え色温度的な表現にするなどの工夫についても検討している。これらの改良により、操作者に対し詳細な情報提供が可能となり、目的とする動作の種類に応じた訓練が可能になると思われる。

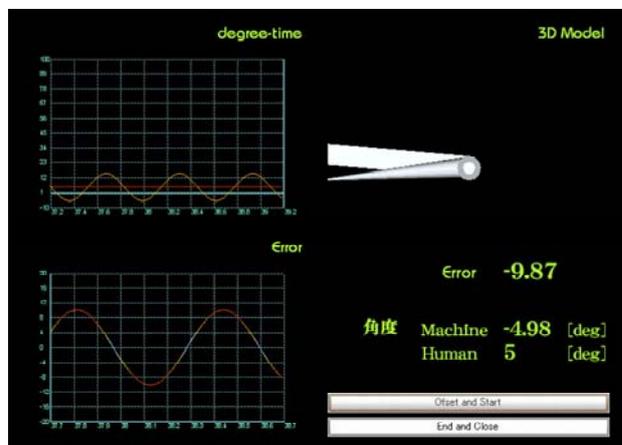


図7 投影画面

4.2 研究の方向性

本研究では健常者を対象として実験を行ってきたが、障害を持つ方のQOL向上に役立てるなどの活用法についても検討する。

[成果の発表、論文等]

- 1) 清水 聡仁, 室口 直人, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 川路 茂保: 1軸アーム型ハンドル操作時の人の動特性について, 第20回熊本県産学官技術交流会講演論文集, pp. 176-177, (2006)
- 2) 清水 聡仁, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 川路 茂保: 1リンクアームを用いた追従動作における上肢運動の測定, 平成18年度電気関係学会九州支部大会, p. 138, (2006)
- 3) 清水 聡仁, 柴里 弘毅, 大塚 弘文: リンク型インターフェース操作時の上肢運動 一ステップ状目標追従時の上肢運動モデルについて一, 第5回電子情報系高専フォーラム, pp. 111-114, (2006)
- 4) 大林 千尋, 柴里 弘毅, 大塚 弘文: 改良型上肢運動モデルの提案, 第5回電子情報系高専フォーラム, pp. 115-118, (2006)
- 5) 清水 聡仁, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 川路 茂保: 上肢運動の周波数特性について, 第21回熊本県産学官技術交流会講演論文集, pp. 184-185, (2007)
- 6) 大野 耕平, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 川路 茂保: 追跡課題による上肢運動能力の客観的評価, 第21回熊本県産学官技術交流会講演論文集, pp. 228-229, (2007)