手動制御における追従特性の解析

○山上 勸司（弘前大学大学院理工学研究科）

長井 力（弘前大学大学院理工学研究科）

佐川 貢一（弘前大学大学院理工学研究科）

Analysis of tracking characteristic in manual control systems

Kanji YAMAGAMI (Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University)

Chikara NAGAI (Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University)

Koichi SAGAWA (Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University)

1. はじめに

工事現場のような、人と機械が密接に関わる場所では、人間のわずかな機械操作ミスによって、大事故につながる可能性がある。そのため、操作者の特性に合わせて動作する、操作者にとって扱いやすいインターフェースの設計は、機械操作ミスを防ぐことにつながるため重要である。しかし、人が機械を操作するスキルには個人差が存在する。したがって、操作者の特性に合わせた機械動作を実現するためには、人間側の機械操作スキルの個人差を知り、機械側の特性を操作者に合わせる必要がある。

人間の操作特性解析の手法の一つとして、手動制御系のモデル化があげられる。この運動制御のモデルの一つとして、川人らによるフィードバック誤差学習モデル（Feedback Error Learning）が広く用いられている。このモデルは人間の運動制御がフィードバック制御とフィードフォワード制御の2自由度から成り立つと仮定している。

本報告では、目標追従実験を行いフィードバック誤差学習モデル中の各ループの特性解析を目的とし、目標追従実験を行い、手法の検討を行う。

2. 原理

フィードバック誤差学習モデルの概要を図1に示す。操作者が、目標追従実験において、目標値

図1 フィードバック誤差学習モデル

x と操作した結果 y を認識できる時、操作者は x と y との誤差 e を小さくするために、操作量の予測、修正を行いながら操作を行う。これに対して、操作者が操作した結果 y を認識できない時、操作者は誤差 e も認識できないため、フィードバック誤差学習モデルのフィードバック制御器は働かない。このとき、操作者はフィードフォワード制御を行っていると考えられる。

3. 方法

3. 1 実験装置

実験装置の概略を図2に示す。ジョイスティック（50JAX-ZZ-R3G）から出力される電圧は、A / D コンバータ（USB-6218, National Instruments）を用いてサンプリング周波数500 [Hz]で測定する。なお、ジョイスティックは、操作角度に応じて 0~5 [V]の電圧を出力する。モニタ（解像度：1960×1200 [pixel]）の画面上には、目標マーカ（上）と制御マーカ（下）の2つの白い長方形を表示する。目標マーカは、予め作成しておいた目標波形により、自動で画面上を左右に動く。制御マーカは、ジョイスティックの操作角度に応じて画面上を左右に動く。なお、本実験の目標波形は、適当な個数の乱数を、ローパスフィルタを用いて滑らかにつなぎ、モニタに収まる範

図2 実験装置

囲内で振幅を調節し作成した。目標マーカと制御マーカの水平方向の座標は、ピクセル単位として、エクセル形式で記録した。電圧計測、マーカ表示、座標記録はNI LabVIEW2013を用いて作成したプログラムで行った。

3. 2 実験方法

実験は1名の被験者に対し、30秒間の軌道追従実験を20回行った。実験間のインターバルは基本的に20秒間とした。ただし、実験5回目、10回目、15回目の後は、実験中の疲労防止のため、インターバルを60秒間とした。実験中のモニタ画面のレイアウトを図3に示す。30秒間の軌道追従実験のうち前半15秒間は、モニタに目標マーカと制御マーカを表示した。これに対して、後半15秒間は制御マーカの表示を消し、モニタには目標マーカのみを表示した。被験者は、30秒間通して目標マーカと制御マーカの位置を一致させるようにジョイスティックの操作を行う。

4. 結果と考察

30秒間の軌道追従実験の入出力の結果の一例を図4に示す。前半の15秒間は制御マーカが被験者に見えているため、入力と出力がほぼ一致していることがわかる。これに対して、後半の15秒間は制御マーカが被験者に見えていないため、入出力の誤差が大きく、その誤差が一定の向きに偏って現れることがわかる。

図3 モニタ画面のレイアウト

図4 入出力の比較

また、軌道追従実験20回の入出力の速度を算出し、前半15秒間と後半15秒間のそれぞれに対して、入出力の速度の相関係数を算出した。その結果、前半15秒間の20回分の相関係数の平均は 0.641 ± 0.004 となり、後半15秒間の20回分の相関係数の平均は 0.704 ± 0.014 となった。前半15秒間より後半15秒間の方が入出力の速度の相関が高いことから、速度制御の精度は後半15秒間の方が高いと考えられる。これらの結果から、前半15秒間は目標マーカと制御マーカの位置関係から、マーカ間の誤差を小さくする傾向があると考えられる。これに対して、後半15秒間は制御マーカが被験者に見えていないため、目標マーカの動作速度とジョイスティックの操作速度の関係から、マーカ間の誤差を小さくする傾向があると考えられる。

5. おわりに

本報告では、目標追従実験を行いフィードバック誤差学習モデル中の各ループの特性解析を目的とし、目標追従実験を行い手法の検討を試みた。実験結果から、フィードバック誤差学習モデル中の出力にあたる、ジョイスティックの操作結果を被験者が認識できない場合、目標マーカの動作速度とジョイスティックの操作速度の相関は高くなり、マーカ間の速度誤差が小さくなる傾向を確認した。今後は、操作者が出力を認識できる場合とできない場合のそれぞれに対して、適切なモデルの作成を行う。

参考文献

- 1) M. Kawato, K. Furukawa, R. Suzuki : A Hierarchical Neural-Network Model for Control and Learning of Voluntary Movement; Biol. Cybern. 57, pp. 169 – 185, 1987.
- 2) 辻敏夫, 加藤荘子, 金子真 : 人間-ロボット系の追従制御特性, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 2, pp. 285 – 291, 2000.