手動制御系における力覚教示を用いた 技能習熟支援システムのための習熟者モデル

○末長 修（静岡大学学術院工学領域）

古川 裕梨（静岡大学工学部）

Well-skilled operator model for skill learning support system using haptic display
on manual control system

Osamu SUENAGA (Shizuoka University, Academic Institute, College of Engineering),

Yuri Furukawa (Shizuoka University, Faculty of Engineering)

1. はじめに

手動制御系における初心者の運転スキルを改善させる一手法として、力覚教示法がある。この教示法は習熟者モデルに基づいて算出される教示操作量を力覚として操作者を介して初心者に教示する手法である¹⁾。本研究室においても、制御対象に対する状態フィードバック則を習熟者モデルとした教示操作量を算出し、その有用性を実証している。しかし、状態フィードバック則を習熟者モデルに用いた場合、運転状況の変容状況により、過大な力覚が発生するという課題を有していた。

そこで本研究では、この状態フィードバック則に1次遅れ要素を加えた習熟者モデルを提案し、力覚教示法の改善を図ることを目的とする。

2. 方法

実験システムを図1に示す。制御対象は、連結車両をパーソナルコンピュータにより模擬した仮想モデルである（図2）。習熟者モデルは、この制御対象の運転に十分習熟した操作者のステアリング操作量から求めた「状態フィードバック則（従来モデル）」と「状態フィードバック則+1次遅れ要素（提案モデル：図3）」とした。初心者10名を2群（A, B群）に分け、A群には提案モデル、B群には従来モデルを習熟者モデルとして用い、以下の習熟実験を連続して行った。制御作業は連結車両を後退運転しながら車線変更を1回行うことである。これを1試行とした。実験Ⅰでは、力覚支援がない条件（直接操作）で5試行を行った。実験Ⅱでは、直接操作と力覚教示による訓練をそれぞれ連続して3試行ずつ行い、これを1セットとして4セット（計24試行）を繰り返した。実験Ⅲでは、実験Ⅰと同様の直接操作による実験（5試行）を行い、実験Ⅰの結果との比較より、力覚教示による訓練効果を確認する。

図1 実験システム

図2 連結車両モデル

図3 習熟者モデル（提案モデル）

3. 結果および考察

図4に習熟者による操作量 (u_n) と最小二乗法により求めた従来モデル, 提案モデルによる近似操作量 (それぞれ u_c , u_p) を示す. ここで提案モデルは習熟者の操作量から直接求めるのではなく, 従来モデルによる近似操作量を用いて求めた. 図4より, 従来モデル, 提案モデルはほぼ一致し, とともに習熟者の操作量を近似していることが確認できた. 従来モデルと提案モデルの差異を明確にするため, 本実験と同様の条件下におけるシミュレーション結果を図5に示す. 図5より, 車線変更 (目標経路がステップ状に変化) 直後において, 提案モデルでは立ち上がりの操作量が従来法に比べて緩やかになることが確認できた.

図6に, 力覚訓練後の実験Ⅲにおける各被験者の平均制御成績を示す. また, 被験者群ごとの平均値を□ (■) で示す. なお, ▽ (▼) は実験Ⅰにおいて5試行中4試行以上で制御が可能であった被験者の平均制御成績を示し, ×は制御不能となった試行回数が3回以上となった被験者を示す. なお, 制御成績の定義式を以下に示す.

$$J = \sum_k (|e_H[k]| + |e_O[k]| + |e_T[k]|) \quad (1)$$

ここで, $e_H[k]$, $e_O[k]$, $e_T[k]$ はサンプリング周期 $dt = 0.02[s]$ でサンプリングされた k 番目の先頭部, ジョイント部, 最後尾の偏差 (図2参照) である. 図6より, 習熟者モデルの差異に係わらず, 実験Ⅰに比べ, 個人差は存在するものの, 全被験者ともに訓練効果がみられた. また, 群間の平均値に有意差は認められなかったが, 被験者A群のほうが平均値, 標準偏差ともに小さくなる傾向が見られた. これは, 車線変更直以外では各習熟者モデルによる教示操作量に大差はなく, 目標経路への収束ぐあいもほぼ同じであったため, 群間の訓練効果に有意差が認められなかったと考えられる. しかし, 実験後の被験者から, 提案モデルにおいては, 教示内容 (力覚の大きさや向き) が感受しやすかったとも感想が得られた.

4. むすび

各習熟者モデルともに力覚教示による訓練効果を示すことができたが, 教示操作量の受け入れやすさや被訓練者の訓練に対する動機付けなどを考慮した場合, 提案モデルはより技能習熟支援システムに適したモデルであると考えられる.

図4 各操作量の比較

図5 習熟者モデルによるシミュレーション結果

図6 制御成績

参考文献

- 1) 末長 修, 井原素三: 人間-機械系における能動操作器を用い習熟訓練に関する研究, 人間工学, vol. 31, No. 1, 1995.