手動制御スキルの再訓練における力覚教示の有用性

○末長 修, 中野目 葵 (静岡大学大学院工学研究科)

Effects of haptic guidance on retraining of manual control skill

Osamu SUENAGA, Aoi NAKANOME (Shizuoka University, Graduate School of Engineering)

1. はじめに

近年, 種々の運転支援システムが実用化されてきている. その一方で, ドライバの運転支援システムへの依存や過信などによる「注意散漫や運転スキルの低下」などが懸念されており¹⁾, ドライバ自身の運転スキルに対する支援システムの構築が重要な問題となる. 筆者らは, 初心者に対する運転スキルの習熟訓練, また運転スキルの固着が要因と考えられる「事故リピータ」に対する再訓練への力覚教示の有用性を検討してきた^{2, 3)}. しかし, 制御対象には模擬されたものではあるが, 後退するトラクタートレーラを用いており, 特殊でかつ高度な運転スキルを研究対象としていた.

そこで, 本研究では, 運転が容易な車両モデルを制御対象とし, より一般的な運転スキルに対しても, 力覚教示による再訓練が有用であるかどうかを実証することを目的とする. ここで, 力覚教示とは, 被訓練者による操作量とその運転状況に対処する教師モデルによる教示操作量との差に応じた力を実時間で操作器を介して, その差が減ずる方向に与えることにより, 教示操作量を被訓練者に教示する手法である.

2. 実験装置及び実験方法

実験システムを図1に示す. 制御対象は簡略化された車両モデル (図2) であり, この状態方程式は式(1)と表される. 本研究では, これを離散時間系に変換し, パソコンにより模擬した.

$$\frac{d}{dt}x = \begin{bmatrix} 0 & v \\ 0 & 0 \end{bmatrix}x + \begin{bmatrix} v \\ v/L \end{bmatrix}u \quad (1)$$

図1 実験システム

図2 車両モデル

図3 目標経路 r と教師モデル $\hat{x}_r$

ここで, $x = [x_r \ \theta]^T$ である (x_r : 後輪部の x 座標, θ : 姿勢角). u は操舵角, L はホイールベース, v は車両速度を表している.

被験者には, 直線道路での車線変更に相当するステップ状の目標経路への追跡制御を課した.

3. 教示操作量 (教師モデル)

本研究における教師モデルを

$$\dot{z} = a_h z + b_h y \quad (2)$$

$$u_h = c_h z + d_h y$$

と設定した. ただし, 本研究においては,

$$y = Cx \quad (C = I). \quad (3)$$

とした.

各係数は, 本実験システムに十分に習熟した操作者による操作量をもとに, 最小二乗法により決定した. このときの制御対象の軌跡 x_r と本教示モデルによるシミュレーション結果 $\hat{x}_r$ を図3に示す (r : 目標経路). その結果, 両者がほぼ一

致することを確認できた。そこで、本モデルによる操作量を教示操作量 $\hat{u}(=u_h)$ とした。

4. 実験方法

本実験は以下の実験からなる。実験Ⅰは被訓練者を本実験システム等に習熟させるための「習熟実験」、実験Ⅱは力覚教示による「再訓練実験」、実験Ⅲは実験Ⅱ終了直後に力覚教示なしで実施する「訓練効果確認実験」、実験Ⅳは実験Ⅲ終了後一週間の期間をおいて力覚教示なしで実施する「訓練効果維持確認実験」である。被験者は9名であり、3名ずつの3群に分けた。3種類の目標経路(①, ②, ③)を作成し、各群、各実験に対して割り当てた(表1)。また、試行回数も併記する。ただし、一試行における目標経路は10回の経路変化を有する(図3参照)。

表1 目標経路

	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ	実験Ⅳ
群A	①	②	③	③
群B	②	③	①	①
群C	③	①	②	②
試行回数	50	10	3	5

5. 結果および考察

車両の軌跡をステップ応答波形と見なし、ステップ応答波形の評価係数を参考に、車両の定常座標(x_∞)の1%, 50%に到達するまでに距離をそれぞれ Z_L , Z_D , さらに10%に到達してから90%に達するまでの距離を Z_R , 車両の定常座標の $\pm 5\%$ 以内に収まりそれ以降その範囲から脱しなくなる距離を Z_S と定義し、解析を行った。

まず、評価係数 Z_L について、2要因(被験者群、実験)分散分析を行った。その結果、交互作用、群間、実験間ともに有意ではなかった。 Z_L は各被験者のむだ時間に相当することから、力覚教示はむだ時間(情報処理速度)への改善には寄与しないことがわかった。 Z_D , Z_S については、 Z_L の影響を考慮して、それぞれから Z_L を減じたものを評価することにした。それぞれに対する2要因分散分析の結果、ともに交互作用は有意ではなく、実験間のみで有意差がみられた。そこで群の区別を設けず、各 Z_L , Z_R , $Z_D - Z_L$, $Z_S - Z_L$ における総平均と標準偏差を図4に示す。また、多重比較の結果も併記する(**: $p < 5\%$)。

図4より、習熟訓練時の目標経路に係わらず、

まず運転スキルは力覚教示により変容し、変容後もある一定期間内では維持されることが確かめられた。また、訓練後、各評価係数の標準偏差は小さくなり、かつ図4中の破線は教師モデルによる運転を行った場合の係数値を示すが、これらと再訓練後の係数は近い値を示すことも確認できた。これらから、被訓練者の個人差による運転スキルにおける差異が軽減され、訓練後は教師モデルと同様な運転スキルを修得したと考えられる。

以上より、運転が簡易な制御対象に対して習得した運転スキルの再訓練においても、力覚教示の有用性を示すことができた。

図4 評価係数の平均と標準偏差

参考文献

- 1) 稲垣 敏之: “人と機械の共生のデザイン”, pp. 75-100, 森北出版株式会社, 2012.
- 2) 末長 修他: “人間-機械系における能動操作器を用いた習熟訓練に関する一研究”, 人間工学, Vol. 31, No. 1, pp. 21-29, 1995.
- 3) 末長 修他: “手動制御系における人間操作者の再訓練のための力覚教示の有用性”, 日本人間工学会第53回大会講演集, pp. 266-267, 2012.