学習型ファジィ制御器を用いた運転者の減速動作のモデル化

澤田東一, ○廣瀬敏也, 竹内昭博, 小口泰平, (芝浦工業大学)

Driver's model in vehicle braking with learning fuzzy controller

Toichi Sawada, Toshiya Hirose, Akihiro Takeuchi, Yasuhei Oguchi (Shibaura Institute of Technology)

1. はじめに

現在, 安全運転の支援を目的とした自動運転システムが注目されている。物理的な危険に対し自動的に減速するシステムが実用化されているが, 運転者の特性が考慮されておらず違和感を与えかねない。これを回避するには, 人間の非線形な制御動作をモデル化し, 機械による制御を人間による制御に適合させる必要がある。

本研究は, 学習型ファジィ制御器を用い, 非線形の制御特性を有する運転者の減速動作のモデル化を行うことを目的とする。

2. 運転者の減速動作

先行車両が減速した場合, 運転者は先行車両と適切な車間距離を保ち, 追突を防止するために減速動作を行う。その際, 運転者は減速に必要な情報を視覚などから得て認知・判断・操作を行う。

図1に, 先行車両の減速時における運転者の走行状態の遷移を示す。

図1 運転者の走行状態の遷移

先行車両の減速を認知した運転者は, アクセルを緩め, エンジンブレーキによる減速を行い, 追従状態から待機状態に移る。待機状態では相対速度を小さい範囲に保つ。安全な車間距離が保たれていない場合は車間距離, 相対速度が大きい場合は相対速度, 相対速度が小さく相対減速度が大きい場合は相対減速度, および自車両減速度が運転者の入力情報となる¹⁾。そこで, 運転者はエンジンブレーキによる減速では不十分と判断した場合, ブレーキによる減速動作を行う。

3. 学習型ファジィ制御器

ファジィ制御は人間の非線形性を含む制御アルゴリズムをif (前件部) - then (後件部) 形式 (ファジィ制御規則) で表現できる。これは, 非線形制御である運転者の減速動作のモデル化が可能であることを示す。しかし, 運転者の減速動作は複雑, かつパラメータの数が膨大であるため, ファジィ変数の調整が非常に困難である。そこでニューラルネットワークの持つ学習機能が有効となる。ニューラルネット

ワークは, 教師信号 (理想の出力) と現状の出力を比較し, 膨大な数のパラメータを自動調整することで, 理想的な出力に近づけるという特徴を持つ。

本研究では, ニューラルネットワークによる学習機能を持つ学習型ファジィ制御器, すなわちファジィ的ニューロ²⁾を構成した。図2は本研究で構成したファジィ的ニューロであり, (1) 式に示すファジィ制御規則 R^i を表現する。

図2 4入力2出力のファジィ的ニューロ

$$R^i: \text{if } x_1 = A_{i11} \cdots x_4 = A_{i44} \text{ then } y_1 = f_{i1} \text{ and } y_2 = f_{i2} \cdots (1) \\ (i = 1, \dots, 2401 \quad i1, \dots, i4 = 1, \dots, 7)$$

但し, i : ルール数 $x_1, \dots, x_4$: 入力

$A_{i11}, \dots, A_{i44}$: 前件部ファジィ変数

y_1, y_2 : 後件部変数 f_{i1}, f_{i2} : 後件部定数

学習法には, 結合荷重を学習により更新させ, 誤差を減少させるバックプロパゲーション学習法を用いた。結合荷重の更新には, 教師信号が与えられる毎に更新するonline学習を用いた。また, 誤差を高速かつ安定に減少させるために, 前件部メンバーシップ関数の間隔設定, 更新量に慣性項の付加, 結合荷重の再初期化, の方法を用いた。

4. 実験方法

実験は被験者の安全を確保でき, 状況の設定を容易に行えるドライビングシミュレータを用いた。

被験者は直線路を走行している先行車両の後を決められた速度および車間距離で追従し, 先行車両が減速する状況において減速動作を行う。表1に実験パラメータを示す。なお, 被験者は普通自動車免許所有者で21~24歳の男性7名とした。

図3 シミュレーション結果
(先行車両減速度 1m/s^2 , sub.A)

図4 シミュレーション結果
(先行車両減速度 3m/s^2 , sub.A)

図5 シミュレーション結果
(先行車両減速度 5m/s^2 , sub.A)

図6 ブレーキ効き始め時間の誤差 (sub.A)

図7 停止時の自車両と先行車両の車間距離 (sub.A)

表1 実験パラメータ

速度 (km/h)	100
車間距離 (m)	20,40,60,80,100
先行車両減速度 (m/s^2)	1,3,5,7

5. シミュレーション結果および考察

ファジィ的ニューロへの入力は、前述した運転者の減速動作に必要な視覚からの情報である車間距離、相対速度、相対減速度、および運動感覚からの情報である自車両減速度とした。出力はアクセル開度、ブレーキ踏力とした。4入力2出力でシグモイド関数を用いた前件部メンバーシップ関数が7種類のファジィ的ニューロを構成し、 10^4 回学習させた。

学習後のファジィ的ニューロから得られたアクセル開度とブレーキ踏力の推論値を用いて、減速動作のシミュレーションを行った。図3～図5にシミュレーション結果を示す。構成したファジィ的ニューロは、教師信号と大局的に同様の操作で減速動作を行うことが確認できる。図6に教師信号を基準とした推論値のブレーキ効き始め時間の誤差、図7に停止時の自車両と先行車両の車間距離を示す。図6の先行車両減速度が小さい場合、ブレーキ効き始め時間に誤差が大きいことが示される。これは、運転者の減速動作に余裕があり、心理の影響を受けて

いることが考えられる。本研究で構成したファジィ的ニューロでは、運転者の心理を入力情報としていないことから、的確に模擬されていないと考えられる。一方、先行車両減速度が大きい場合、ブレーキ効き始め時間の誤差が小さいことが示される。これは、運転者の減速動作に余裕がなく、心理の影響を受けずに減速動作を行うことから、的確に模擬できることが示される。図7においても同様の傾向がみられるが、推論値は教師信号と同様の車間距離で停止できることが示される。また、他のパラメータや被験者についても同様の傾向がみられた。

6. おわりに

本研究により構成した学習型ファジィ制御器は、運転者と大局的に同様な操作で減速動作を行うことが確認できた。今後、運転者の心理を含めた減速動作をモデル化可能な学習型ファジィ制御器の構成が望まれる。

参考文献

- 1) 澤田東一 他:減速動作における知覚メカニズムの研究, 日本人間工学会第29回関東支部大会講演集, 50-51, 1999.
- 2) 堀川慎一 他:ファジィニューラルネットワークの構成法と学習法, 日本ファジィ学会, 4 (5), 906-928, 1992.