

# 類似度ファジィ推論を用いた白線追従制御器の開発と動作検証

## Development and Verification of a Lane-keeping Controller Using Similarity Fuzzy Reasoning

1235124 西山 由華 (Soft Intelligent System on Chip 研究室)  
(指導教員 星野 孝総 准教授)

### 1. はじめに

本研究では、白線を逸脱せず、使用者が挙動を設定でき、なおかつ理想通りに動作する白線追従制御器の実現を目的としている。これらを満たす白線認識および追従技術において、操作者の知識を制御に取り入れられる知的システムが有効であると考え、類似度ファジィ推論を用いた白線追従制御器の開発を行った。一般的にファジィ制御での制御量の調整には、メンバーシップ関数の形状変更か、ファジィルールを用いる方法が考えられる[1]。熟練者にとって、より実際の物理現象に近い各々のファジィ変数のメンバーシップ関数を変更するほうが具体的に容易に理解できるが、最適なメンバーシップ関数の設計は膨大な検証およびチューニングを必要とする。

よって本研究ではメンバーシップ関数を使用せずに同様の動作を実現する手法として類似度ファジィ推論法を提案し、白線追従動作の検証を行った。理想とする動作にメンバーシップ関数を必要とする簡略化ファジィ推論法を用いて走行の再現性について評価を行った。

### 2. 白線追従走行制御器のシステム構成

システム構成の概要を図1に示す。

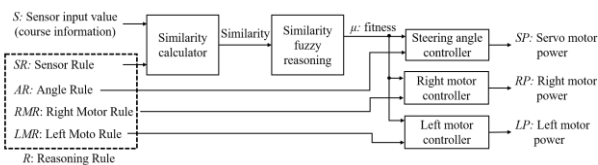


図1 白線追従走行制御器のシステム構成

白線追従走行制御器は8個のフォトフレクタによってコース情報をセンシングし、操舵角と左右モーターの制御を行う1入力3出力のシステムである。

### 3. 類似度ファジィ推論法

提案する類似度ファジィ推論法のアルゴリズムを以下に示す。

1. 推論ルール  $R$  を作成する  
(入力  $SR$  に対する出力  $AR, LMR, RMR$ )
2. センサ入力値  $S$  とセンサールール  $SR$  の類似度 (Overlap coefficient) 演算を行う
3. 2の結果を一般的なファジィ推論で得られる推論結果  $\mu$  (Fitness) として重みつき平均を用いて非ファジィ化し制御量を決定する

本推論法の課題は推論ルール  $R$  の設計である。いくつかの推論ルールで、どのような数値を選択するかが制御に大きく関わる。そこで私たちは最適なルール数と、推論ルールの内容について検証を行った。

### 4. 実験概要

本研究では操作者の理想通りの動作を目的とし、理想通り⇒「操作者の走行の再現」と考えている。よって理想通りの走行にメンバーシップ関数を用いた簡略化ファジィ推論法での走行結果をもとに推論ルールの設計を行った。

#### 4.1 推論ルール数と白線追従性能の関係調査

まず、最適な推論ルール数について検討するために推論ルール数ごとの走行結果を比較し、推論ルール数の変化に伴う走行挙動への影響を検証した。本研究のコースは直線、右カーブ、左カーブの3パターンで構成されている。これらのコ

ースに対応する推論ルール数は、各コースに1つずつの計3個の推論ルールが最小、各コースに3つずつの計9個の推論ルールが最大ルール数とし、3個、5個、7個、9個の4パターンの推論ルールを設計した。推論ルールの内容は簡略化ファジィ推論法の走行データから、主観的に抽出した。

#### 4.2 パラメータ最適化問題

4.1節の実験では人間による主観的な推論ルール設計が、走行時挙動に影響する可能性が浮上した。各パラメータの変数は連続値をとるため、多次元の連続関数最適化問題と帰着できる。よって、本問題をパラメータ最適化問題として扱い、各変数を差分進化法(DE)により最適化したパラメータで実装実験を行った。推論ルール数と前件部のセンサールールは4.1節と同様であり、後件部の3出力ルールのみ最適化し、検証実験を行った。

### 5. 実験結果

走行の再現性を走行時間、平均値、標準偏差、揺れ回数、平均絶対誤差から評価した。

#### 5.1 推論ルール数と白線追従性能の関係調査

実験から3rule(図2(a)), 9ruleでは揺れ挙動が多いことが確認できた。理由としてルールの操舵角設定パラメータと発火するルールの各後件部が相互に影響し、不安定な挙動を生んでいることが考えられる。対して、5rule, 7ruleは挙動への影響が他のルール数より小さいため最適なルールであると考える。

#### 5.2 パラメータ最適化問題

全体的に5.1節の実験結果と比較して、走行再現性が向上した。特に、3rule(図2(b))の推論ルールは揺れ回数、揺れ幅、平均値、速度と各評価項目において最も再現性が高い結果となった。後件部のパラメータにおいて操舵角の出力範囲が手動設計時と比較して $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 狭く、モーターの出力範囲が広がったことで、過剰な出力変化の原因であった隣り合うセンサが白線を捉える回数が減少し、ルールの発火が安定して再現性が高い走行ができていると考える。

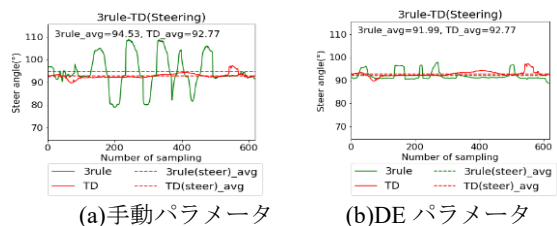


図2 直線走行時の3rule操舵角の出力グラフ

### 6. おわりに

本稿では類似度ファジィ推論法を提案し、白線追従制御器の走行検証を行った。結果から、パラメータの内容により最適な推論ルール数に変化するが、パラメータ最適化により走行挙動の向上が可能であり、類似度ファジィ推論法においてDEによる最適化が有効であることが確認できた。今後は、センサールールの最適化によりさらなる走行挙動の向上が期待できると考える。

### 参考文献

- [1] Y. Hoshino, H. Takimoto: PSO training of the neural network application for a controller of the line tracing car, 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2012