

## 2301

## Fuzzy理論による列車定位置停止制御

日立 システム開発研究所\* 安信誠二 宮本捷二 井原廣一

## 1. まえがき

Fuzzy理論の制御への応用が幾つか報告されている<sup>1)</sup>。我々は、列車自動運転制御へ運転士の動作を定性的に実現できるFuzzy理論を用いた制御を適用している。前報<sup>2)</sup>では、対象を基準パターンの回りで線形化しFuzzy推論によるパターン追従制御について報告した。本報告では、対象システムを非線形のまま扱い、安全性、乗り心地、停止精度等の評価値からFuzzy推論により制御ロジックの選択を行なう列車定位置停止制御方式を開発したので報告する。

## 2. 列車定位置停止制御

列車定位置停止制御とは、停止目標までの距離と速度発電機(TG)による所定時間内の走行距離とからブレーキの制御を行ない、停止目標に停止させる制御である。(Fig.1)

これまで列車定位置停止制御は、予め停止するための距離-速度パターン、時間-速度パターンを設定し、これに追従する様、PID制御、パターンとの比較によるゾーン制御を行なってきた。また最適制御による手法も提案されている。しかし、これらの制御では、その評価関数は、パターンへの追従性(誤差の平方和最少等)であり、列車定位置停止制御における重要な指標である、安全性、乗り心地、停止精度については、パターンの形状又は制御パラメータで間接的に保証し、そのアルゴリズムで実験を行なった結果で、停止精度を求め評価していた。

一方、熟練運転手による運転では、ブレーキ力変動等の対象システムのパラメータが変化した場合でも、上記評価指標を満足する制御を行なっている。そこで我々は、運転手の経験による制御則に基き、ブレーキ制御指令の推論を行なうFuzzy制御により列車定位置停止制御を行なった。

## 3. Fuzzy制御による列車定位置停止制御

従来行なわれているFuzzy制御の方法としては、"If  $x$  is A then  $U$  is  $U$ " と " $x$  is A" とから " $U$  is  $U$ " を推論するFuzzy推論の形式に関するものが多し。ここでは、" $U$  is  $U$ ,  $x$  is A and  $y$  is B' is True" なる形の制御則の集合から最も確からしい制御則を選択し、それによって制御を行なうFuzzy制御の方式を提案する。この方式は、(1)非線形システムを厳密なモデルなしに扱える。(2)評価指標と直結した制御則により学習改変が容易である。等の特長をもつ。

第21回 SICE 学術講演会 (昭和57年7月28日・29日・30日)

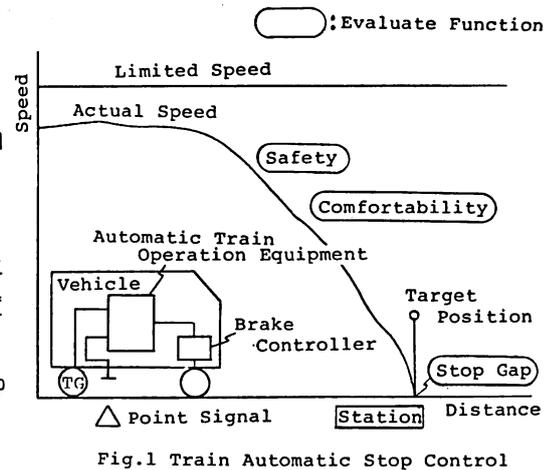


Fig.1 Train Automatic Stop Control

ここで、運転手による列車定位置停止制御を考えて見る。ブレーキ装置への制御入力は、N段階の離散的ノッチ指令  $U \in \{U: u_1, u_2, \dots, u_N\}$  とし、安全性(S), 乗り心地(C), 停止精度(A), を評価指標として用いる。運転手は経験に基づく次の制御則を随時チェックしながら制御している。例えば,

- (1) 「最大ブレーキノッチ ( $u_N$ ) を指令しても危険である。」 is True.
- (2) 「現在のブレーキノッチ ( $u_i$ ) 保持により、安全に、うまく停止できる。」 is True.
- (3) 「現在のノッチを  $\pm n$  変化すれば、安全に、乗り心地良く、正確に停止できる。」 is True.

等である。この各評価値に対応して Fuzzy 台集合を定義する。例えば、停止精度に関しては、制御指令  $u_i$  を出した場合の停止予測位置のメンバーシップ関数  $\mu_{pi}(x)$  と「正確に停止できる」のメンバーシップ関数  $\mu_{q}(x)$  から、 $u_i$  を出した時の停止精度を、

$$\mu_{Ai}(x) = \int_x \{ \mu_{pi}(x) \wedge \mu_{q}(x) \} / x \quad (1)$$

により求める。(Fig.2) 安全性, 乗り心地も同様に評価値  $\mu_{S}(y), \mu_{C}(z)$  を求める。これにより制御則  $R_i$  は、

$$\mu_{Ri}(x, y, z) = \int_{x, y, z} \{ \mu_{Ai}(x) \wedge \mu_{S}(y) \wedge \mu_{C}(z) \} / (x, y, z) \quad (2)$$

となり、この確からしさの値  $r_i$  は、

$$r_i = \sup_{x, y, z \in X, Y, Z} \mu_{Ri}(x, y, z) \quad (3)$$

となる。各制御則  $R_i$  に対し確からしさを  $r_i$  を求め、最も確からしい ( $r_i$  最大) の制御則を選択する。

#### 4. シミュレーション結果

Fuzzy 制御とPID制御を軌道輸送システム用計画設計サポートシステム(TRANSPLAN)<sup>3)</sup>によりシミュレーションを行なった。(Fig.3, Fig.4) Fuzzy 制御はPID制御と比べて、ブレーキ力, 勾配の変化等のパラメータ, 外乱の変化に対しても、無理にパターン直従し乗り心地(ノッチ変化)が悪くなることなく、運転士の経験を取り入れた良い制御を行なっている。

#### 5. あとがき

Fuzzy 制御により、本来の評価関数である安全性, 乗り心地, 停止精度を直接評価に用いた、熟練運転手のノウハウをアルゴリズム化した定位置停止制御が実現できた。

#### 参考文献

- 1) 藤原: 「あいまい論理の制御への応用」計測制御, Vol.18, No.2 (1979-2)
- 2) 安田他: 「Fuzzy 理論による列車自動運転制御」第2回SICE予稿3105(1981-7)
- 3) 宮本他: 「TRANSPLAN」日立評論, Vol.60, No.10(1980-10)

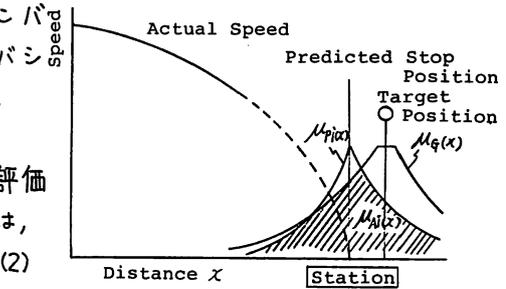


Fig.2 Evaluation of Stop Position

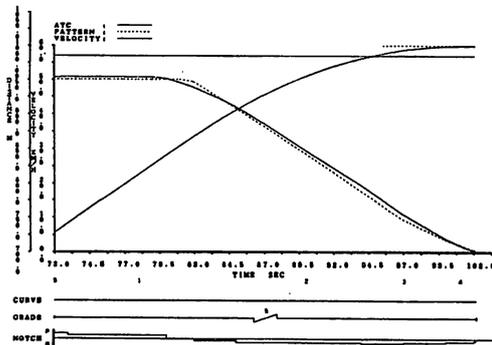


Fig.3 Result of Fuzzy Logic Control

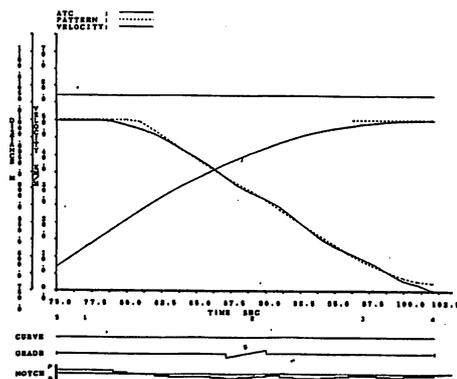


Fig.4 Result of PID Control