

## ファジィ推論を用いた牽引自動車の後退運転制御

その他（別言語等） のタイトル	Backer-Upeer Control of Articulated Vehicles Using Fuzzy Reasoning
著者	山下 光久, 疋田 弘光, 花島 直彦
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	48
ページ	55-60
発行年	1998-11-13
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/172">http://hdl.handle.net/10258/172</a>

## ファジィ推論を用いた牽引自動車の後退運転制御

その他（別言語等） のタイトル	Backer-Upeer Control of Articulated Vehicles Using Fuzzy Reasoning
著者	山下 光久, 疋田 弘光, 花島 直彦
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	48
ページ	55-60
発行年	1998-11-13
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/172">http://hdl.handle.net/10258/172</a>

# ファジィ推論を用いた牽引自動車の後退運転制御

山下 光久<sup>\*1</sup>, 疋田 弘光<sup>\*1</sup>, 花島 直彦<sup>\*1</sup>

## Backer-Upper Control of Articulated Vehicles Using Fuzzy Reasoning

Mitsuhsisa YAMASHITA, Hiromitsu HIKITA and Naohiko HANAJIMA

(原稿受付日 平成10年 5月 8日 論文受理日 平成10年 8月31日)

### Abstract

This paper describes backer-upper control of lorry type articulated vehicles. It is more difficult to back a lorry type articulated vehicle than a trailer truck, since the joint of the tractor and the trailer is not located on the rear wheel axle of the tractor. We propose a path tracking controller to which we apply control algorithm derived to control a car by using fuzzy reasoning. Simulation and experimental results show that the designed fuzzy controllers effectively achieve the backing control of the articulated vehicle.

key words : fuzzy control, articulated vehicles, path tracking control

## 1 はじめに

トレーラトラックに代表されるような牽引車両は、トラクタ(牽引車)とトレーラ(被牽引車両)が一点で連結されている形式の車両である。この車両は輸送内容に応じてトレーラを選択でき、一体型のトラックよりも回転半径が小さく、トレーラの切り離しにより荷物の積み替え時間の影響を受けないという利点がある。

しかし牽引車両の後退運転は、その非線形性と不安定性のためにジャックナイフ現象を起こしやすく、1度ジャックナイフを起こすと前進によってしか車両の体積を立て直すことができないため、熟練した運転手ですえ大変な作業となっている。

これまで後退運転の自動制御を目的として、厳密な線形化や非線形制御理論による方法<sup>(1)(2)</sup>、ファジィ理論やニューラルネットワークを用いた方法<sup>(3)(4)</sup>、ニューロファジィ制御による方法<sup>(5)(6)</sup>等が提案されているが、我々は一般的な自動車すなわち前部に操舵輪をもつ4輪自動車(以後、自動車と略記)の制御則を利用したトレーラトラックの後退運転制御を提案した<sup>(7)</sup>。この制御方法は、人間が普通自動車の運転技術をもとにしてトレーラトラックの運転技術を修得していることを考慮したものであり、制御器にファジィ推論を使用している。

本論文では、この制御方法を一般的な牽引車両へ拡張し、シミュレーションおよび模型車両による軌道追従制御を行い制御器の有効性を示す。

\*1 機械システム工学科

### 3.2 制御器の構成

3.1の制御方策にもとづいて, 自動車の運転制御器を二つ使用する牽引車両の制御器が図5のように構成される。制御部1および2は, 各々, ホイールベースがトレーラおよびトラクタに等しい自動車に対する軌道追従用制御器である。

$F_1$  は制御部2を直列結合する際の補正部であり, トラクタに対する目標軌道の曲率を次式で求める。

$$\kappa_{r1} = \frac{1}{R_{r1}} = \frac{\kappa_r}{\sqrt{1 + \kappa_r^2(L_2^2 - s^2)}} \quad (7)$$

$F_2$  は第5輪オフセット ( $s$ ) に対する補正角度の計算である。

$$F_2(\kappa_{r1}) = \tan^{-1}(s\kappa_{r1}) \quad (8)$$

### 3.3 制御器パラメータ

本研究では制御器1,2にファジィ推論を用いた軌道追従用制御器を用いた。この制御器は図6に示すように目標軌道上の点  $P_r$  での接線の方向  $\theta_r$  とトレーラ中心線方向  $\theta_p$  を一致させるための操作量に, 図2で示した距離誤差  $d$  と目標軌道の曲率  $\kappa_r$  を入力とするファジィ推論から得られた補正角度  $\Delta\alpha$  を加えたものである。

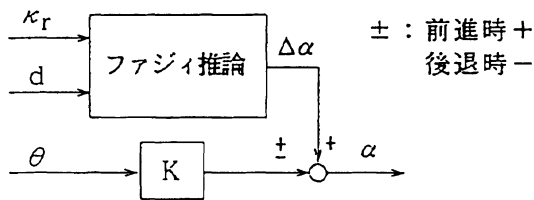


図6: 自動車用軌道追従制御器

$\Delta\alpha$  を求めるためのファジィ規則を図7のように定めた。ファジィ規則の後件部は以下のメンバーシップ関数である,

$$o1 = \frac{1}{2 \tan(\Delta\alpha_{max})} \tan(\Delta\alpha) + 0.5 \quad (9)$$

$$o2 = -\frac{1}{2 \tan(\Delta\alpha_{max})} \tan(\Delta\alpha) + 0.5 \quad (10)$$

制御器1,2のパラメータの適切な値は, 以下のようになる。

制御器1:

$$d_{max} = L_2, \quad \kappa_{rmax} = \frac{\tan(\theta_{1max})}{L_2}$$

制御器2:

$$d_{max} = L_1, \quad \kappa_{rmax} = \frac{\tan(\alpha_{max})}{L_1}$$

ここで  $\alpha_{max}$  はトラクタの最大操舵角であり,  $\theta_{1max}$  はジャックナイフ現象を操舵によって回避できる連結角度の最大値で次式で与えられる。

$$\theta_{1max} = \sin^{-1} \left( \frac{L_2}{L_1} \tan(\alpha_{max}) \cos(\beta_{max}) \right)$$

## 4 シミュレーションと模型車両による実験

シミュレーションと実験に用いた模型車両の形状を図8に示す。車両は自動車にドーリと呼ばれるタイプのトレーラを連結したものである。このような牽引車両はトレーラトラックと比較するとトラクタとトレーラの軸距比 ( $L_1/L_2$ ) と第5輪オフセットが大きく, このことが後退運転をより困難にしている。

目標軌道を直線軌道, 円軌道および直線と円弧からなる8の字軌道の3種類とした。各々の目標軌道に対するシミュレーション結果を図9, 図10, 図11に示す。

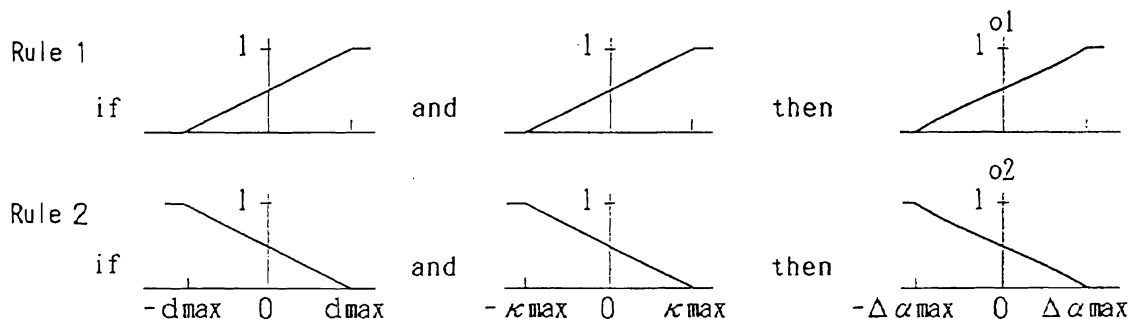


図7:  $\Delta\alpha$  に対するファジィ規則

### 3.1 制御方策

トレーラのキングピンの位置（点  $K$ ）に仮想的な操舵輪を設けて、トレーラを独立した1台の三輪車両とみなす。この車両の点  $P$  を目標軌道に追従させるための制御には、普通の自動車の制御器が利用できる。

トラクタの第5輪にオフセットが無い場合は、得られた仮想操舵角にトラクタの連結角が一致するようにトラクタの姿勢を操作することでトレーラトラックの代表点（ $P$ ）を目標軌道に追従させることができる。

しかし、図3のように第5輪オフセットがある場合、仮想操舵輪は点  $Q$  の位置となる。従って、目標軌道の半径  $R_r$ （あるいは曲率）が与えられた場合、仮想操舵輪の角度（仮想舵角  $\alpha_v$ ）はホイールベースがトレーラのそれと等しい自動車の操舵角  $\gamma$  に第5輪オフセットにより生じた角度  $\beta$  で補正する必要がある。

この補正角はトレーラトラックの定常円旋回の状態すなわち旋回中心点  $O_1$  と  $O_2$  が一致する状態から求められる。

トラクタに関しては連結角度  $\theta_1$  が  $\alpha_v$  となるようにトラクタの操舵角  $\alpha$  を操作すればよい。ただし、図4に示されるように、定常円旋回時のトラクタの旋回半径  $R_{r1}$  はトレーラの旋回半径  $R_r$  と同一ではないので、定常偏差を生じさせないためには、目標軌道の半径に対する  $R_{r1}$  を算出してトラクタの操舵角を求めておくことが必要である。

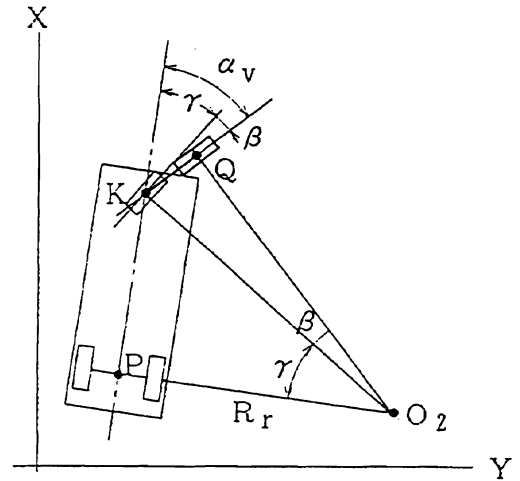


図3: トレーラの仮想舵角

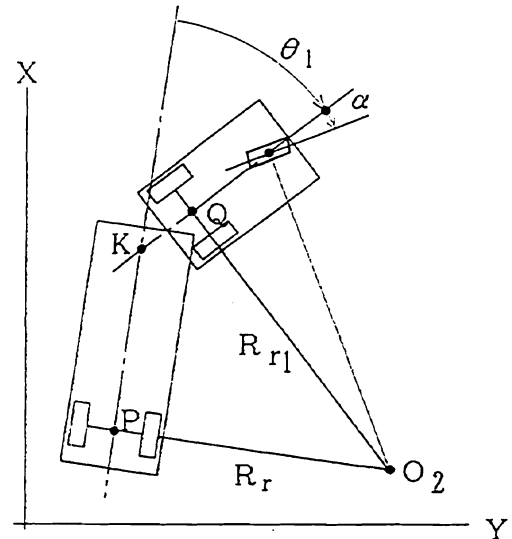


図4: トラクタの操舵角

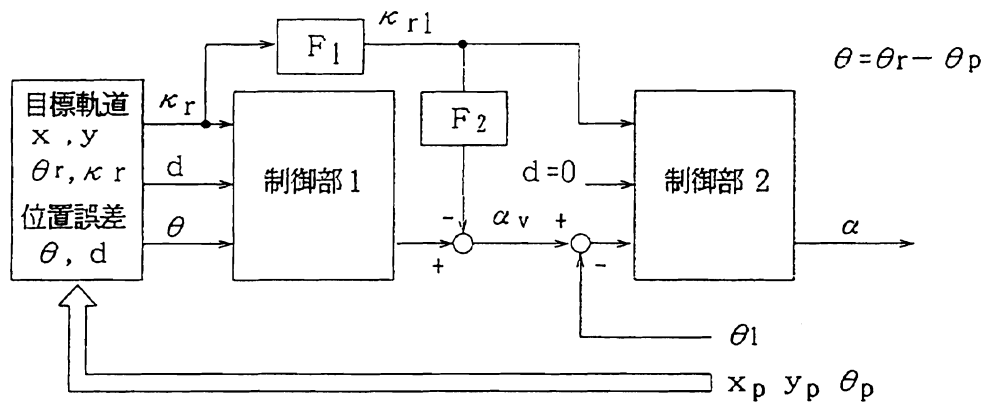


図5: 制御器の構成

## 5 まとめ

本文ではトレーラトラックの第5輪オフセットを考慮し, 車両モデルを牽引車両の一般型へ拡張した. このような車両の運転制御に, ファジィ推論を含む自動車の軌道追従制御部で構成される制御器を提案し, シミュレーションおよび模型車両による実験で良好な制御結果を確認した. ここで用いた制御部のパラメータ設定は容易であり, トレーラとトラクタの組み合わせの変更に対しても柔軟に対応できる.

また, この制御方法は人間が実際に行う運転方法すなわち自動車の運転からトレーラトラックの運転への拡張に似ており, トレーラトラックの後退運転の際のいくつかの要点が確認されている.

今後は, このような制御方法に学習機能を付加した制御器の構成と学習過程について検討する予定である.

本研究を行なうにあたり多大な協力を頂いた, 平成9年度機械システム工学科卒業研究学生の尾池 卓君に感謝する.

## 文献

- (1) 三平満司: 厳密な線形化とそのけん引車両の軌道制御への応用, 計測と制御, Vol.31, No.8, p851-857, 1992
- (2) 三平, 小林: 非線形制御理論を用いた自動車けん引車両の経路追従制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.4, p427-434, 1994
- (3) Seong-Gon Kong and Bart Kosko: Adaptive Fuzzy Systems for Backing up a Truck-and-Trailer, IEEE Trans. on Neural Networks, Vol.3, No.2, March, 1992
- (4) D.Nguyen and B.Widrow: The Truck Backer-Upper: An Example of Self-Learning in Neural Networks, Proc.Int.Conf.Neural Networks, Vol.2, p357-363, 1989
- (5) 大家康良: ファジィニューラルネットワークによるトレーラトラックの径路追従に関する研究, 室蘭工業大学修士論文, 1993
- (6) 徳永, 市橋: ニューロファジィ最適制御によるトレーラトラックの後退運転, 8th Fuzzy System Symposium, p49-52, 1992
- (7) 山下, 他: ファジィ推論を用いたトレーラトラックの軌道追従制御, SICE北海道支部講演会, 1997