

# 盲導犬ロボットのファジィ走行制御

山田 宏\*, 清弘 智昭\*

(平成4年8月31日受理)

## Fuzzy Driving Control of a Guiding Dog Robot for Visual Handicapped Person

by Hiroshi YAMADA\* and Noriaki KIYOHIRO\*

### Abstract

This paper deals with a Fuzzy driving control system for a guiding dog robot for visual handicapped persons. The robot should be controlled to keep a definite distance between a walking person and itself. The robot shouldn't give a sense of uneasiness and that of physical disorders to the walking person during its motion. For this purpose, we apply Fuzzy theory to design a driving control system. The output of controller, the actuating signal, is obtained by using the reasoning applied Mamdani's Fuzzy control algorithm. The optimal Fuzzy rules and membership functions are decided to get a good feeling for a operator of the robot.

### 1. はじめに

我国では視覚障害者に比べ、盲導犬は大変不足している。そのため盲導犬の代わりとなる自立移動ロボット（以後盲導犬ロボットと呼ぶ）の実現が期待されている。

盲導犬ロボットの速度を制御する場合、バイクのステ

ートルや自動車のアクセルのような方法では、人がロボットの速度に合わせて歩行することになる。そのためロボットに引きずられたり、速度の調整が困難となり、視覚障害者が扱うには危険で、慣れるまでに時間がかかると考えられる。そこで、本研究ではロボットの後部に盲導犬のハーネスに相当するレバーを設け、このレバーによりロボットと人との間隔を検出し、これを一定に保つ制御を試みた。また感覚的に良好な走行特性を得ることを目的とし、人間の感覚を取り入れ易いファジィ理論を走行制御に適用している。

### 2. システムの構成

#### 2. 1 車体の構造

本研究で使用した車体の外観を Fig.1 に示す。車体の大きさは盲導犬ロボット<sup>4)</sup>用の車体であることを考慮に入れ、重量80kg、全長1.2m、全幅0.8m、タイヤの直径0.22mとした。車体の上部にはコンピュータやカメラを搭載できるようになっている。車体の中央部には走行用のモータとそのサーボドライバを搭載し、後部にはロボットと操縦者との間隔を測定するためのレ

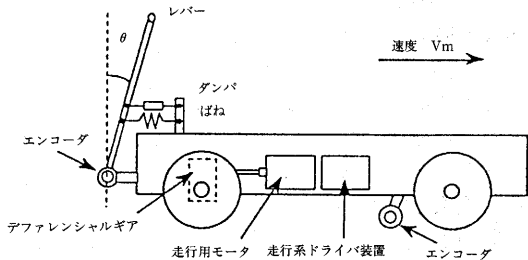


Fig. 1 Outline of the Robot driving system

\* 電子情報工学科, Department of Electrical Engineering and Computer Science

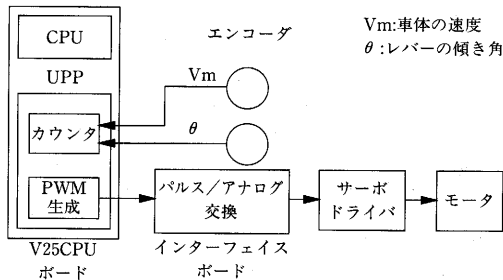


Fig. 2 Construction of the Robot driving system

Table 1 Specification of the dring control

	始動時	歩行時	停止時
制御仕様	レバーを前に倒すとスムーズに動き始め人によく追従する	車体が発振せず安定に走行する	レバーを手前に引くと速やかに停止する

バーとエンコーダを設けている。また走行用モータのエンコーダにより車体の速度の計測を行う。

## 2. 2 ハードウェア構成

ハードウェアの構成図を Fig.2 に示す。車体制御用のコンピュータには V25CPU ボード (V25CPU-A20) を使用している。本システムは CPU ボードとモータ及び 2 つのエンコーダから構成される。各エンコーダの出力パルス数をそれぞれ Up/Down カウンタに入力し、パルス数を計測することによりレバーの傾き角と車体の速度を求める。またモータはサーボドライバにより駆動され、モータの回転速度はサーボドライバにアナログ電圧を入力することにより設定が可能である。アナログ電圧は CPU ボードから出力された PWM 波形を、インターフェイスボードのパルス/アナログ変換回路により変換することにより生成される。Up/Down カウンタ及び PWM 波形の出力には、CPU ボードに搭載されている UPP (Universal Pulse Processor) の計数及び PWM 波形生成の機能を使用している。

## 3. ロボットの操作方法と制御仕様

### 3. 1 ロボットの操作方法

ロボットは基本的には操縦者とロボットとの間隔を一定に保つように制御されており、車体はレバーを前方に倒すと前進し、レバーを手前に引くと後退する。また車体の速度は基本的にはレバーの傾き角が大きければ大きいほど速くなるように制御しているが、“後退するときは前進の時よりもゆっくりである方がよい”とか、“始動するときは大きいトルクが必要である”な

どの感覚的な要求を満足するためには、単なるロボットと操縦者との間隔に比例した速度制御ではなく、車体の速度を制御変数に加えて走行制御した方が、より違和感の少ない安定した走行が実現できると考えられる。

### 3. 2 制御仕様

視覚障害者は盲導犬によって歩行のリズムやバランスをとっているため、盲導犬ロボットは視覚障害者に違和感や不安感を与えない安定した走行が要求される。従ってロボットは操縦者に対して追従性よく動作しなければならないし、急発進したり歩行時に発振しないように制御されなければならない。以上のことを考慮し制御仕様を定める。

盲導犬ロボットを制御する場合に、次の始動時、歩行時及び停止時の 3 点に注目してロボットを制御する必要がある。本研究の制御仕様を Table 1 に示す。

#### (a) 始動時

始動時にロボットが急発進して引っ張られたり、逆に強く押してもゆっくりとしか走行しないという制御では不適當である。従って始動時には人に対する追従性が要求される。レバーを前方に倒すとスムーズに動き始め、人によく追従する動作が必要である。

#### (b) 歩行時

歩行時には操縦者の体の振動や手ぶれなどが車体の走行に影響し、車体が大きく振動してノッキング状態になったり前後に発振し易くなるので、この動作が小さくなるように制御する必要がある。

#### (c) 停止時

レバーを手前に引き車体を停止させる時に、レバーを引き過ぎると一端停止した後、後退したり前後に振動する恐れがあるため、停止時は速やかに停止し後退しないように制御する必要がある。

## 4. ファジィ制御<sup>2)</sup>

### 4. 1 制御変数

車体と操縦者との間隔  $x$  の変化量  $\Delta x$  とレバーの傾き角  $\theta$  との関係は(1)式で表される。また以上までに述べてきたように、車体と操縦者との間隔を一定に保つように制御することが第 1 の目的であることから、 $\Delta x$  が 0 となるように制御する必要がある。(1)式より  $\Delta x$  を制御変数として制御する代わりに  $\theta$  を制御変数として制御する。次に上で述べた制御仕様を満足するために、他の変数も制御変数に加えて走行制御するために、以下に他の変数を制御変数に加えた制御方法を示す。

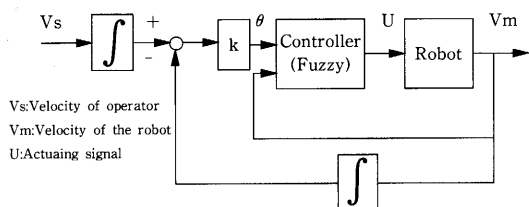


Fig. 3 Block diagram of Fuzzy driving control system

Table 2 The relation between actuating signal and control variable with Fuzzy combination

	ファジィ集合
制御変数 $\theta, v_m$	PO : Positive ZE : ZEro NE : NEgative
操作量 U	PB : PositiveBig, PS : PositiveSmall ZR : ZeRo NS : Negative Small, NB : Negative Big

$$\Delta x = L \cdot \theta \quad (1)$$

$$\int v_s dt - \int v_m dt = L \cdot \theta \quad (2)$$

$$v_s - v_m = \frac{L}{T} \Delta \theta \quad (3)$$

L : レバーの長さ, T : サンプリング間隔

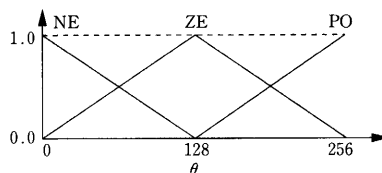
本研究ではレバーの傾き角  $\theta$  と車体の速度  $v_m$  を制御変数として制御する。操縦者の速度  $v_s$  の大きさにより操作量に対する  $\theta$  のゲインを変えれば、制御仕様を満足すると考えられる。ここで  $x$  は車体及び操縦者の移動距離の差に等しいことから、 $v_m$ 、 $v_s$  及び  $\theta$  の関係は(2)式で表される。(2)式を時間微分し離散時間系で表すと(3)式のように表される。ここで、車体と操縦者との間隔が一定になるように制御されている場合、つまり(3)式において  $\Delta \theta$  を 0 としたとき  $v_s$  と  $v_m$  が等しくなるので  $v_s$  と  $v_m$  はほとんど等しいと考えられる。また操縦者の速度は計測できないが車体の速度は計測できるため、 $v_s$  の代わりに  $v_m$  を制御変数に加える。以上のことより  $\theta$  と  $v_m$  を制御変数として車体の走行制御を行う。

#### 4. 2 ブロック図

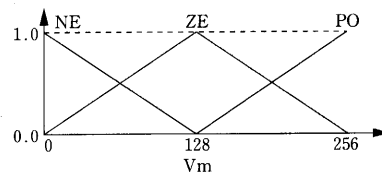
車体の速度  $v_m$ 、操縦者の速度  $v_s$  及びレバーの傾き角  $\theta$  の関係は(2)式のように表される。従って車体のフィードバック制御系のブロック図は Fig.3 のように表される。

#### 4. 3 メンバシップ関数

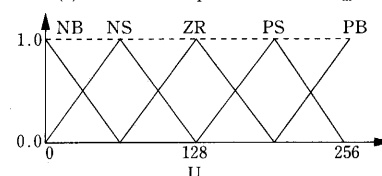
それぞれの制御変数 ( $\theta, v_m$ ) についてのファジィ集合は PO, ZE, NE の 3 集合とし、操作量 U については



(a) Membership function for  $\theta$



(b) Membership function for  $v_m$



(c) Membership function for U

Fig. 4 Membership function for  $\theta, v_m$  and U

PB, PS, ZR, NS, NB の 5 集合とする。ファジィ集合の数が少ないとファジィ・ルールの前件部の組み合わせの数が減り、全体として大ざっぱな制御アルゴリズムとなるが、計算時間が速くなるのでこのように定めた。制御変数及び操作量とファジィ集合との関係を Table 2 に示す。またそれぞれの制御変数及び操作量のメンバシップ関数は計算が容易な三角型のメンバシップ関数とし、これを Fig.4 に示す。

#### 4. 4 ファジィ・ルール

ファジィ・ルールを定める手順として、まず制御仕様からロボットが注目点でどのように動作すべきかを考慮に入れ、おおまかにファジィ・ルールを定める。次にそのルールを用いて走行実験、特性評価を行い、その結果を用いてルールの変更を行う。これらの繰り返しを数人の被験者について何度か行いルールを定める。数人の被験者に対して感覚的走行評価が良好であったルール (以後このルールを基本ルールと呼ぶ) を以下に示す。またファジィ・ルールを見やすくするために制御規則表に表し、それを Table 3 に示す。

- rule11 if  $\theta = PO$  and  $v_m = PO$  then  $U = PB$
- rule12 if  $\theta = ZE$  and  $v_m = PO$  then  $U = ZR$
- rule13 if  $\theta = NE$  and  $v_m = PO$  then  $U = NS$
- rule21 if  $\theta = PO$  and  $v_m = ZE$  then  $U = PS$
- rule22 if  $\theta = ZE$  and  $v_m = ZE$  then  $U = ZR$
- rule23 if  $\theta = NE$  and  $v_m = ZE$  then  $U = NS$

Table 3 The basic control rules table

$\theta$			
$U$			
$V_m$			
	NE	ZE	PO
PO	NS	ZR	PB
ZE	NS	ZR	PS
NE	NS	PS	PB

Table 4 Sensuous estimation due to the basic control rules table

	始動時	歩行時	停止時
感覚的評価	人の動きによく追従し、スムーズに始動する。違和感を感じない。	ノッキングも小さいが、若干違和感を感じる。	急停止する時に車体がバックしたり発振するので、不安にさせられる。

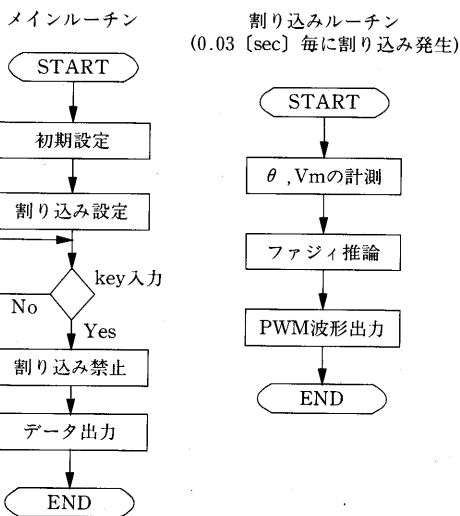


Fig. 5 The flowchart of Fuzzy driving control

rule31 if  $\theta = PO$  and  $v_m = NE$  then  $U = PB$   
 rule32 if  $\theta = ZE$  and  $v_m = NE$  then  $U = PS$   
 rule33 if  $\theta = NE$  and  $v_m = NE$  then  $U = NS$

4. 5 推論結果

以上のメンバーシップ関数、ファジィ・ルールを用いてファジィ推論する。非ファジィ化には計算が簡単な「高さ法」<sup>32)</sup>を用いている。

4. 6 ファジィ制御アルゴリズム

測定したレバーの傾き角と車体の速度から、モータに与える操作量をファジィ推論法により算出し制御を行う。以上の制御アルゴリズムを Fig.5 に示す。制御の間隔を一定にするためタイマ割り込みを使って制御する。また割り込み間隔は0.03sec に設定して制御する。

5. 走行実験

5. 1 走行特性実験

数人の被験者により実際の仕様に模して走行実験を行う。始動時、歩行時および停止時についての走行特性について感想を聞き感覚的な評価を行う。

5. 2 最適ファジィ・ルールと走行特性

基本ルールをもとに各個人に適したルールを定め、そのルールを用いて走行制御を行う。

ある1名の被験者に適したルール（以後最適ルールと呼ぶ）を定めるために、基本ルールをいろいろ変更しそのルールの変更の結果どのように走行特性が変化するかを実験より求め、その実験結果からその人に適したルールを定める。

ルールの変更の仕方は、まず走行特性の変化が分かりやすいように9個のルールの内どれか1つを変更する。次に変更の度合いはファジィ集合のランクを1つ上げるかもしくは1つ下げるものとする。尚、ルールの変更は後件部変数のファジィ集合を変更することにより行う。

6. 実験結果

6. 1 走行特性評価

Fig.3のメンバーシップ関数と、rule11~rule33のファジィ・ルールを用いて走行制御し、その感覚的評価を Table 4 に示す。

始動時において人に対する反応も速く、スムーズに始動し、歩行時にはノッキングも小さく走行制御できた。また停止時において前後に発振することなく停止できた。 $v_m$  の大きさによって  $\theta$  の影響を変化させているため、歩行時に安定した走行が実現できたと考えられる。

6. 2 最適ファジィ・ルールと走行特性

基本ルールを変更しルール変更前後の走行特性を比較する。変更後の感覚的評価をそれぞれ Table 5 に示す。また最適ルールは基本ルールの rule13のファジィ

**Table 5** Sensuous driving estimation in the case of changing one of the basical control rules

(a) Changing the rank of Fuzzy combination to the upper one

$\theta$	NE	ZE	PO
U 前→後 評価 Vm			
PO	NS→ZR 停止時の発振が小さくなった。	ZR→PS 停止時に発振しやすくなる	PB→ /
ZE	NS→ZR 歩行時の発振が減少し、停止時の発振も小さくなった。	ZR /	PS→PB 歩行時に加速しすぎ、停止時に発振しやすくなる。
NE	NS→ZR 変化なし	PS→PB 変化なし	PB→ /

(b) Changing the rank of Fuzzy combination to the lower one

$\theta$	NE	ZE	PO
U 前→後 評価 Vm			
PO	NS→NB 歩行時に後退しやすく、停止時に発振しやすくなる	ZR→NS 歩行時に減速しやすくなる。停止時の発振が小さくなる。	PB→PS 歩行時の加速が小さい。停止時にやや発振しやすくなる。
ZE	NS→NB 歩行時にノッキングしやすく、停止時に発振しやすくなる。	ZR /	PS→ZR 前進しなくなる
NE	NS→NB 変化なし	PS→ZR 停止時にやや発振きみになる	PB→PS 変化なし

集合を NS から ZR に変更し、他はそのままとしたルールである。これを制御変数表で表し、Table 6 に示す。このルールを用いて制御したときの感覚的評価を Table 7 に示す。

最適ルールを用いて制御することによって、制御特性は次のように改善される。歩行時のノッキングも変更前より少なくなり、違和感のない走行ができた。停止時においても発振がほとんどなく安定した走行ができた。歩行時の特性にあまり変化がなかった。

この実験を他の被験者に対して行うことにより、他の被験者の最適ルールも同様な方法で求められる。また、これを複数の被験者に対して行うことによって、ルールに対する走行特性の関係の一般性が求められると考えられる。一般性が求められるれば、各個人に対する最適ルールを求めることも容易になると考えられる。

**Table 6** The basical optimal control rules table

$\theta$	NE	ZE	PO
U Vm			
PO	ZR	ZR	PB
ZE	NS	ZR	PS
NE	NS	PS	PB

**Table 7** Sensuous estimation due to the basical optimal control rules table

	始動時	歩行時	停止時
感覚的評価	人の動きにより追従し、スムーズに始動する。違和感を感じない。	ノッキングがより小さくなり、安定している。	車体がバックしたり発振することがほとんどなく、安定している。

## 7. まとめ

盲導犬ロボット用の車体の製作を行い、走行制御を行った。 $\theta$  と  $v_m$  を制御変数に選びファジィ推論法を用いて走行制御を行い、感覚的に良好な走行特性を得た。

この方法では操縦者によって操作の仕方や感覚が異なるので操縦者に応じてメンバーシップ関数やファジィ・ルールを若干変更する必要があると考えられる。また速度のファジィ集合を増やしたり、制御変数を増やすことにより、走行特性を向上させることができると考えられる。

## 参考文献

- 1) E.H.Mamdani: Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEE, Vol. 121, No.12, pp.1585-1588, 1984
- 2) 菅野：ファジィ制御, pp.67-113, 日刊工業新聞社, 1989
- 3) 廣田, 寺野：コンピュータール NO.28, pp.41-42, コロナ社, 1989
- 4) 森：盲導犬ロボット瞳1号機一概要とナビゲーション, 第1回日本ロボット学会シンポジウム予稿集, pp.79-84, 1991