925 一輪車ロボットの制御に関する研究

The Control Analysis of Unicycle Robot

○学 浮谷 和孝（日大大学院） 正 関根 太郎（日大）
正 岡野 道治（日大）

Kazutaka UKIYA, Nihon University, Kandasurugadai1-8-14, Chiyoda-ku, Tokyo
Taro SEKINE, Nihon University
Michiharu OKANO, Nihon University

This report describes of “the control of analysis of unicycle” by using unicycle robot model that the author suggested. The author study with the intention of explaining how human can ride a unicycle well. So in this study, we took notice of motions. They are pedaling and steering. Then author made a unicycle robot by using fuzzy control theory. The author researched whether the method is valid for controlling the unicycle robot.

Key Words: < unicycle robot, fuzzy control theory >

1. 序論

この研究は、人間の一輪車操縦アルゴリズムに興味を持ち、それを解き明かすことを目的としているが、その過程のひとつとして、人間の動作を模した自立ロボットを製作したものである。一輪車の操縦は前後方向の制御（pitch）と横方向の制御（roll）とからなり、前後方向については駆動力で、横方向については、腰をひねることによる操舵によって行っていると考えられる。前後方向と横方向とが連成していることが特徴である、この動作を模した自立ロボットに3次元Fuzzyルールを適用した結果を報告する。

2. 理 論

2. 1 制御方法

我々が考案した制御方法は、次の通りである。Pitch制御は、駆動力によって、Pitchの角度を立て直す。また、Roll制御は、腰をひねる動作、操舵をすることによって、遠心力を発生させ、それを復元力としてRoll傾斜角度を立て直す。すなわち、Pitchの制御入力として、車輪回転角速度を、Roll制御に操舵角速度を使用する。

2. 2 一輪車モデル

上で述べた制御方法をふまえて一輪車ロボットモデルを考案した。一輪車ロボットモデルをFig2-1に示す。また、設定した主要なパラメータをTable2-1に示す。

Fig2-1 The Unicycle Robot Model

Table2-1 Parameter

	意味
α	操舵角
β	横傾斜角
θ	前後傾斜角
η	車輪回転角度

また、Pitch, Rollへの制御入力値は、それぞれ、 θ , $\dot{\theta}$, η の3つ、 β , $\dot{\beta}$, $\dot{\eta}$ の3つの値により決定する3次元ファジィルールとした。 $\dot{\eta}$ により表を分け、車輪回転角速度を決定するものをTable2-2~4に、操舵角速度を決定するものをTable2-5~7に示す。

Table2-2 Pitch Control Fuzzy Rule 1

$\dot{\eta}=P$		θ		
		P	ZO	N
$\dot{\theta}$	P	0.6	0.2	-0.2
	ZO	0.2	-0.2	-0.6
	N	-0.2	-0.6	-1

Table2-3 Pitch Control Fuzzy Rule 2

$\dot{\eta}=ZO$		θ		
		P	ZO	N
$\dot{\theta}$	P	0.8	0.4	0
	ZO	0.4	0	-0.4
	N	0	-0.4	0.8

Table2-4 Pitch Control Fuzzy Rule 3

$\dot{\eta}=N$		θ		
		P	ZO	N
$\dot{\theta}$	P	1	0.6	0.2
	ZO	0.6	0.2	-0.2
	N	0.2	-0.2	-0.6

Table2-5 Roll Control Fuzzy Rule 1

$\dot{\eta}=P$		β		
		P	ZO	N
$\dot{\beta}$	P	0.5	0.25	0
	ZO	0.25	0	-0.25
	N	0	-0.25	-0.5

Table 2-6 Roll Control Fuzzy Rule 2

$\eta = ZO$		β		
		P	ZO	N
$\dot{\beta}$	P	0.75	0.5	0
	ZO	0.5	0	-0.5
	N	0	-0.5	-0.75

Table 2-7 Roll Control Fuzzy Rule 3

$\eta = N$		β		
		P	ZO	N
$\dot{\beta}$	P	1	0.75	0
	ZO	0.75	0	-0.75
	N	0	-0.75	-1

これらのファジィルールにより重みを決定し、その値に、ゲインを乗ずることによって制御入力を決定する。また、今回はメンバーシップ関数に三角形型を使用している。

3. 実験装置

一輪車ロボットの3つのジャイロセンサから角速度を検出し、これを変換することにより角度 α , β , θ を得る。また、制御システムはロボットの情報を受け取り、2つのアクチュエータ（操舵用モータ、駆動用モータ）に制御入力を与え、各モータに付属のエンコーダーより、実際の回転角度を得るという構成になっている。また、発射台の使用により初期値による誤差を最低限度に抑えている。

4. 結果

Fig 4-1, 2, 3に実験によって得られたデータの一例を示す。以下のグラフでは発射台を出る1973msecより制御を開始している。なお、ここで駆動指示電圧は η と、操舵指示電圧は α と比例関係にある。

Fig 4-1 Running Data

Fig 4-2 Pitch Control

Fig 4-3 Roll Control

5. 考察

・操舵

まず、操舵に関していえば、Fig 4-3の2000msecから3500msecの間に β , $\dot{\beta}$ ともに振幅が減少し、操舵指示電圧も減少していくことから、ここで提案した3次元のファジィルールが有効である事がわかる。一旦収束に向かった横方向の制御が4000msec付近で乱れているのは前に倒れていったことによる影響である。

・駆動

Fig 4-1より、ここでは前に倒れていることがわかる。4-2で、 θ , $\dot{\theta}$ と、駆動指示電圧の振幅が大きくなってきていることからpitch制御に問題があるということが分かる。振幅が大きくなる原因は η 上昇にともない、 $\dot{\eta}$ の上昇を抑制しようとするために制御力が不足するためである。ここで、駆動指示電圧が振幅を大きくしながら、徐々に上昇して、最大値に達してしまう事により、それ以上加速できなくなることが一輪車ロボットの倒れる直接の原因となっている。

・問題点

pitchには車輪回転角加速度を与えることで制御している。このため、前に傾いたらその分だけ速度が上昇した点に釣り合いの中心が移動することになる。これを繰り返すことで、モータの限界速度に達してしまう。これを緩和するために、高速度では減速気味に、低速度では加速気味のルールにしてみたが、中速度を離れるほど、制御力が不足することになった。仮にモータの限界速度が上がったとしても、限界速度に達しないように速度を抑制する必要があることには変わりはない。

6. 結論

1. Roll制御にはここで提案した3次元ファジィルールが有効である。
2. Pitch制御は、今回のルールでは制御力が不足することがわかった。

7. 参考文献

- ファジィ制御 菅野道夫 著 日刊工業新聞社
アドバンスドファジィ制御 田中一男 著 共立出版
インテリジェント制御システム 田中一男 著 共立出版