

ファジィ理論を用いた走行ロボットの試作

大北 正昭・宮田 仁志・前田 繁幸*¹
神井 敏宏*²・小林 康浩*³

電気電子工学科・*¹富士通株式会社・*²シャープ株式会社・*³知能情報工学科

(1990年9月1日受理)

A Prototype of Travelling Robot Controlled by The Fuzzy Theory

by

Masaaki OHKITA, Hitoshi MIYATA, Shigeyuki MAEDA*¹
Toshihiro KAMI*² and Yasuhiro KOBAYASHI*³

Department of Electrical and Electronic Engineering

- * 1 Fujitsu Limited
- * 2 Sharp Corporation
- * 3 Department of Information and Knowledge Engineering

(Received September 1, 1990)

A travelling robot controlled by the fuzzy theory has been designed and constructed. This is a self-reliant travelling robot with four wheels. Its hardware consists of three microcomputer systems for performing the fuzzy reasoning and determining its travelling direction, six supersonic distance meters for recognizing the location and position of the robot, an infrared remote controller for its travelling instructions, a pulse motor for determining the travelling direction of front wheels, and a direct-current motor for its rear-wheel driving.

In this paper, its hardware architecture and how to control this travelling robot by the fuzzy reasoning are described.

Key words : Travelling robot, Travelling control, The fuzzy reasoning, Self-reliant travelling

1. はじめに

これまで我々人間が行ってきた様々な制御を、自動化しようとする試みが最近盛んに行なわれている。その制御の方法は多種多様であるが、なかでも1965年にカリフォルニア大学パークレイ分校の L. A. Dadeh 教授によって提唱されたファジィ理論 (Fuzzy theory) は、これらの種類の制御に適した理論として最近特に注目されている。ファジィ理論の応用分野は広範囲にわたっているが、中でも最も早くから注目され、かつ応用の進んでいるのは「制御」の分野である。セメントキルンの制御、列車の制御、浄水場の制御などすでに実用化されているものもある^{1)~3)}。

M. Sugeno と M. Nishida は、ファジィ理論を Model car のクランク型コースの走行制御に応用し良好な結果を得た⁴⁾。

著者等は、ファジィ制御の中で実用化の待たれる「自動車の無人運転制御」に着目し、ファジィ制御により自動運転可能な四輪自律型走行ロボット (仮称 DREAM-1) を試作した。本報告では、初めに計算機シミュレーションの例を示し、次にこの結果を基に設計試作した走行ロボットのハードウェア・アーキテクチャについて述べる。

2. 走行制御の原理

本報告では、ロボットの走行制御にファジィ理論を用いることにする。具体的には、ファジィの推論法を用いてロボットの位置、姿勢よりロボットの進行方向を決定している。ファジィ推論法には、種々の方法が提案されている^{5)~6)}。ここでは、比較的推論計算の容易な「普通の多値論理にファジィネスを導入した推論法」⁵⁾を用いる。以下にその概略を述べる。

この推論法では、単調減少または単調増加のメンバーシップ関数が用いられる。ファジィ変数を、 $P(x)$: Positive, $N(x)$: Negative とすると、メンバーシップ関数は、

$$\begin{aligned} P(x) &= (1/2)x + (1/2) \\ N(x) &= P(-x) \end{aligned} \tag{1}$$

また

$$\begin{aligned} P(x) &= (1/\pi) (\tan^{-1} ax) + 1/2 \\ N(x) &= P(-x) \end{aligned} \tag{2}$$

のように表される。ここで、 a は正の値である。

いま、2つの制御規則

$$\begin{aligned} R^1: & \text{if } x_1 \text{ is } N_{11} \text{ and } x_2 \text{ is } P_{12} \text{ then } y \text{ is } N \\ R^2: & \text{if } x_1 \text{ is } P_{21} \text{ and } x_2 \text{ is } N_{22} \text{ then } y \text{ is } P \end{aligned}$$

を考える。ファジィ制御部の入力 $x_1 = x_1^0, x_2 = x_2^0$ のときの R^1 に対する適合度を求めると、

$$W_1 = N_{11}(x_1^0) \wedge P_{12}(x_2^0) \tag{3}$$

または

$$W_1 = N_{11}(x_1^0) P_{12}(x_2^0) \tag{4}$$

となる。つぎに、後件部において

$$\begin{aligned} W_1 &= N(y_1) \\ W_2 &= P(y_2) \end{aligned} \tag{5}$$

となるような y_1 と y_2 を求める。 $N(y), P(y)$ は 1 対 1 の関係だから、

$$\begin{aligned} y_1 &= N^{-1}(W_1) \\ y_2 &= P^{-1}(W_2) \end{aligned} \tag{6}$$

となり、これが R^1, R^2 の推論結果となる。

全体の推論結果を y^0 とすると y^0 は y_1 と y_2 の適合度 W_1, W_2 による重み付き平均値で与えられる。

$$y^0 = \frac{W_1 y_1 + W_2 y_2}{W_1 + W_2}$$

$$= \frac{W_1 N^{-1}(W_1) + W_2 P^{-1}(W_2)}{W_1 + W_2} \quad (7)$$

例として、Fig. 1 に示すような「左折」コース内での四輪ロボットの走行制御について考える。ファジィ制御規則は

R¹ : if x₁ is LONG and x₂ is LONG
then θ is to be LEFT

R² : if x₁ is LONG and x₃ is LONG
then θ is to be RIGHT

R³ : if x₁ is SHORT
then θ is to be LEFT (8)

となる。ここで、x₁、x₂ および x₃ は、Fig. 1 に示すように、走行ロボットからコース壁面までの距離を示す。具体的には、x₁ は走行ロボット前面中央点から対向する壁面までの距離、x₂ は走行ロボット左側面中央点から内壁までの距離、x₃ は走行ロボット右側面中央点から内壁までの距離である。θ は前輪方向切り角であり、同図に示す走行ロボット自体の方向角 φ とは区別する。走行ロボットがごく低速度で移動する場合を考えると、前輪方向切り角 θ に対して、走行ロボットは、Fig. 2 に示すように同心円の軌跡を描きながら移動しその方向を変える。

Fig. 2 より明らかなように前輪方向切り角 θ を与えれば、同心円の曲率半径は走行ロボットの軸距（ホイールベース）L を用いて

$$R_1 = L / \sin \theta \quad (9)$$

として与えられる⁷⁾。同様にして走行ロボットの前後の旋回半径 R₂、R₃ および R₄ (=R₃+B_r) も

$$R_2 = L / \sin \theta'$$

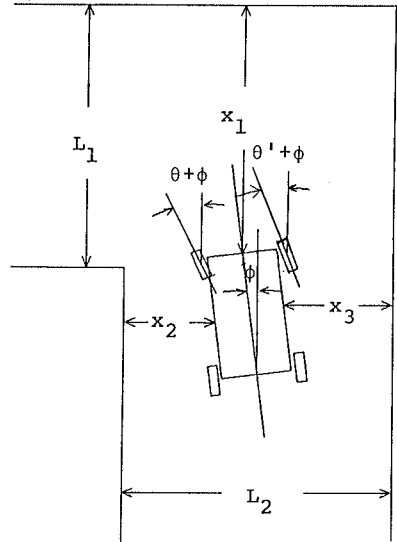


Fig. 1. Definition of input variables.

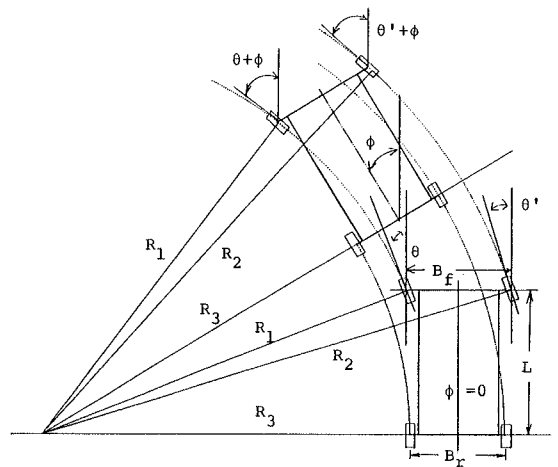


Fig. 2. Relation between a steering angle and direction of a travelling robot.

$$\left. \begin{aligned} R_3 &= R_1 \cos \theta - (B_r - B_f) / 2 \\ R_4 &= R_2 \cos \theta' + (B_r - B_f) / 2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

のように決まる。ここで θ' は前輪車のうちの外輪車の切り角を示し、内輪車の切り角 θ を用いて

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{L}{B_r + L \cot \theta} \quad (11)$$

により与えられる。また、 B_r は後輪車の輪距（トレッド）、 B_f は前輪車の輪距（トレッド）を示す。

走行ロボットの前方輪方向切り角の推論の例をFig.3

に、その推論計算の手順を Fig.4 のフローチャートにより示す。得られた計算機シミュレーションの例を Fig.5(a)-(c) に示す。

なお、このモデルでは、走行ロボットが移動して左折した場合、入力変数 x_1 は大きくなり値が定まらなくなるので走行ロボットの車体の傾き ϕ を変数 x_1 の代わりに用い制御規則を作成し組み込んで使用した。即ち「走行ロボットの車体の方向角 ϕ が大きいときは前輪方向切り角 θ をそのままにし、 ϕ が小さいときは徐々に θ の切り角を元に戻す」ことにした。

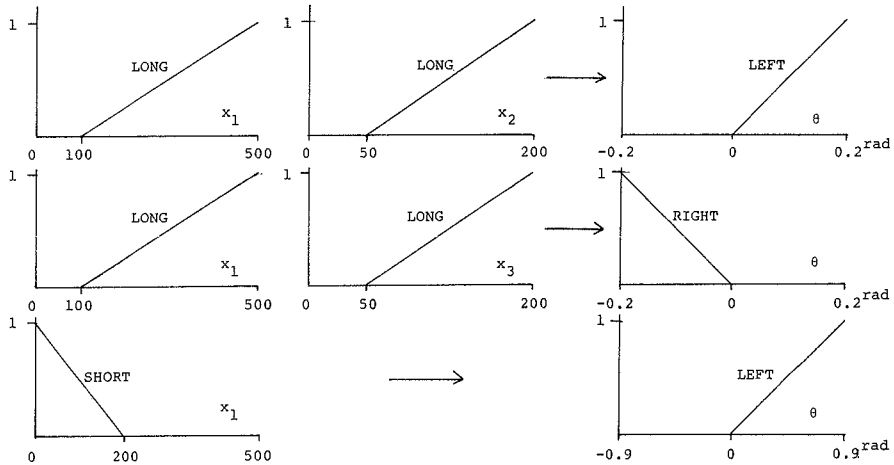


Fig. 3. Fuzzy variables to infer a steering angle for turning to the left.

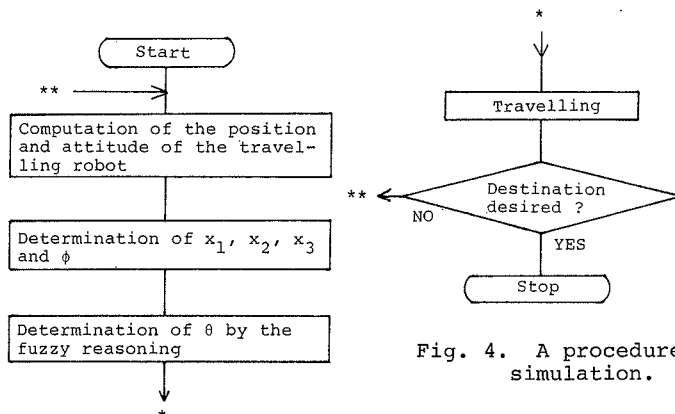


Fig. 4. A procedure to a computer simulation.

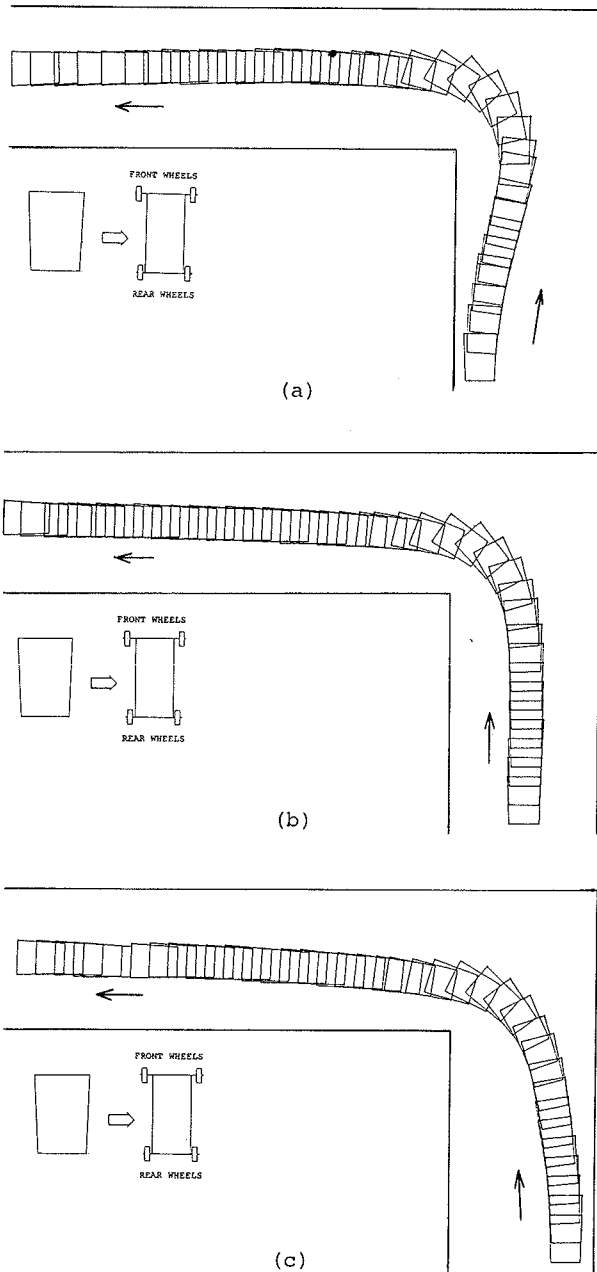


Fig. 5. Results of the computer simulation for turning to the left. A robot starts (a) in the vicinity of the inner wall, (b) near the center of the walls, and (c) in the vicinity of the outer wall.

Table 1. Specification of a travelling robot.

Size of the body	600x390x439 mm Tread of front wheels 340 mm Tread of rear wheels 300 mm Wheelbase 472 mm
Weight of the body	12 kg
Computation and Control	CPU ... Z80(clock 2MHz) x3 ROM ... 32x3 KB RAM ... 32x3 KB
Sensors	Sensors with 40 KHz supersonic transducers for measuring distance and direction Infrared sensor for sending travelling instructions to the robot
Driving force	Front wheel control : Pulse motor Two-phases and 1.8 deg./step Rear wheel driving : DC motor with a reduction gear and a differential gear
Power supply	Batteries : 12V4AH and 6V2AH Dry cell : -12 V

3. 走行ロボット

3・1 走行ロボットの概要

試作した走行ロボットは4輪型とし、実際の乗用車と相似になるように考慮して、そのトレッド及びホイールベースの値を決定した。Table 1 に走行ロボットの主な仕様を、Fig. 6 および Photo 1 に外形図を、Fig. 7 にハードウェア・アーキテクチャを示す。

本走行ロボットに関しては、回路部、機構部の調整及び変更が容易なように、基板等を収納するカードラックと、車輪等の取り付けがある台車とを分離出来るように設計した。

電源としては、CPUおよびその周辺回路・アナログスイッチの動作、モータの駆動のために、12V、6Vの単車搭載用バッテリーと乾電池-12Vを併用

した。

また、走行ロボットの走行指示は赤外線リモートコントローラで行い、送信機から送られてくる、「走行開始」・「停止」・「右折」・「左折」等の指示を受信機で受信して走行ロボット側でそれぞれに対応した処理を指示し、走行方向を決める。

3・2 走行ロボットの構成と機能

走行ロボットは主として、演算・制御部、センサ部 (Photo 2 参照)、駆動部により成り、ファジィ制御のための各種処理及び動作を行う。これらの各部の機能を以下に示す。

1) 演算・制御部

演算・制御部を構成するCPU # 0, CPU # 1及

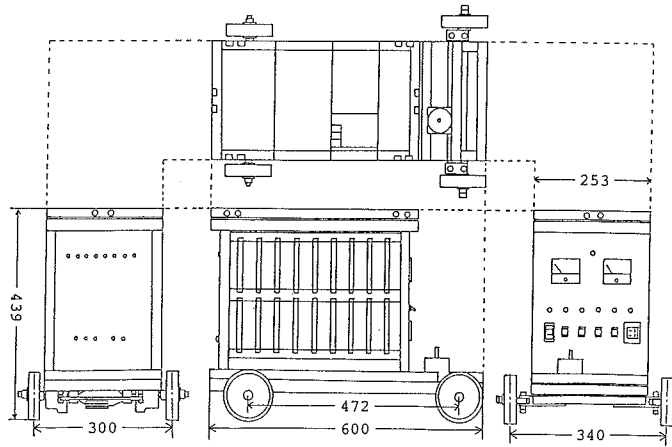


Fig. 6. Configuration of a travelling robot.

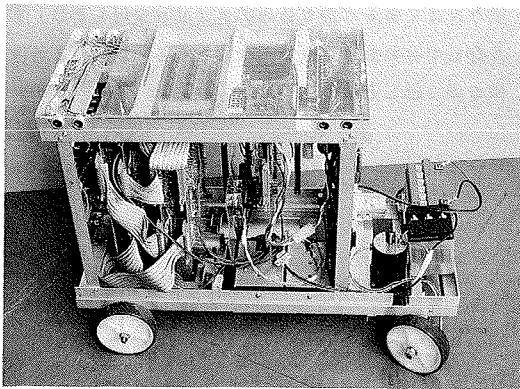


Photo 1. Outside view of a travelling robot.

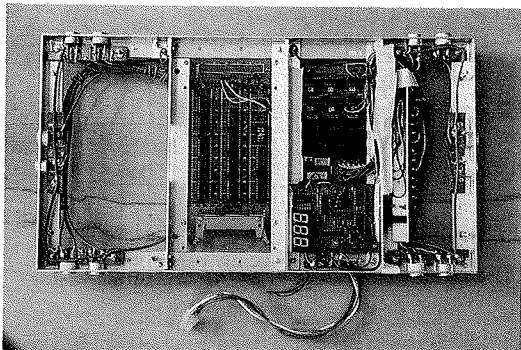


Photo 2. Configuration of supersonic sensors.

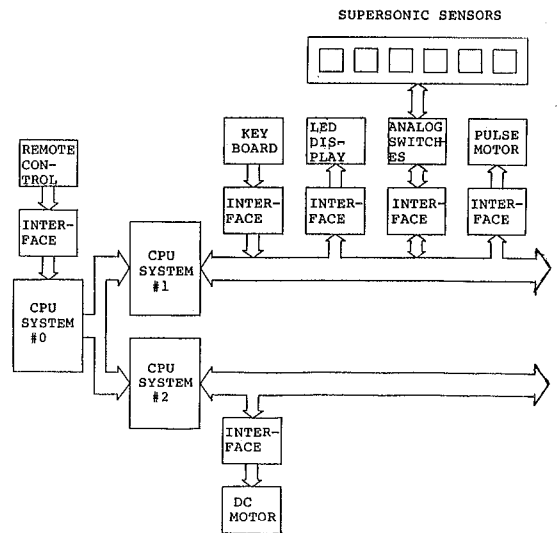


Fig. 7. Hardware architecture of a travelling robot.

びCPU # 2をそれぞれ搭載した3枚のCPUボードと、それぞれが直接関係している付属回路をまとめると、Table 2 のようになる。以下にそれぞれのボードの回路機能を示す。

Table 2. I/O circuits attached to CPUs.

CPU	I/O circuits
#0	Infrared remote controller with an interface
#1	Keyboard and LED of seven segments with an interface Supersonic sensors with an interface Pulse motor and its driving circuit
#2	DC motor and its driving circuit

i) CPUボード#0

CPUボード#0は、Fig. 8に示すように、Z80-CPU (2MHz), ROM (32KB), RAM (32KB)及び4個のZ80-PIOにより構成されている(そのうちの1個は予備である。)

CPUボード#0において、赤外線リモートコントローラを介して送られてくるロボットの走行指示データを取り込みこのデータを解釈してCPU #1及びCPU #2へ割り込みをかける。このとき3つのZ80-PIOをそれぞれ赤外線リモートコントローラ受信部のインターフェースからのデータのとり込み、CPUボード#1及び#2への割り込み信号送出時のポートとして使用する(Fig. 9参照)^{2),3)}。一方、これらの一連の動作が終了すると、カードラック背面に取り付けてある「割り込みアクリリッジ用LED」を点灯して次の割り込み待ち状態となる。以後はこの動作の繰り返しとなる。

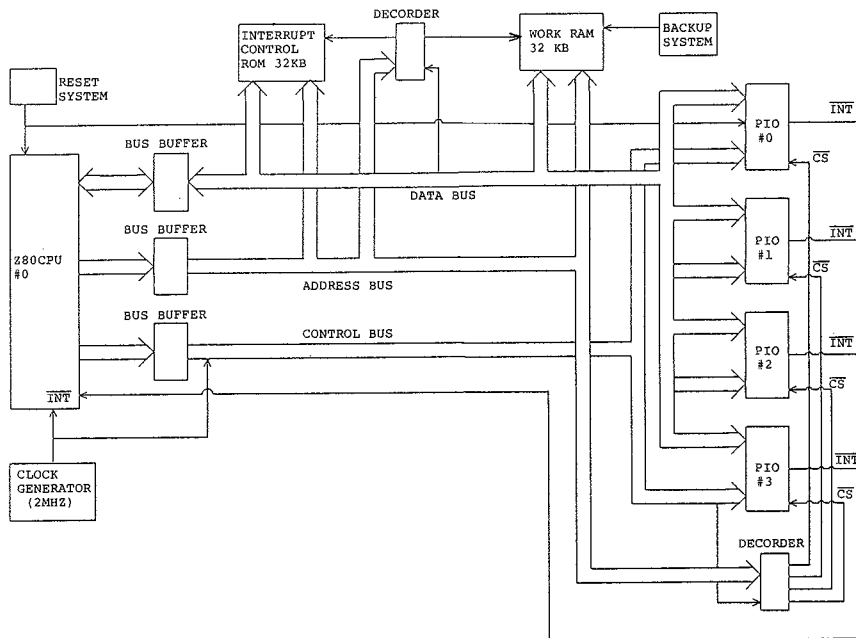


Fig. 8. Schematic of the CPU#0 system.

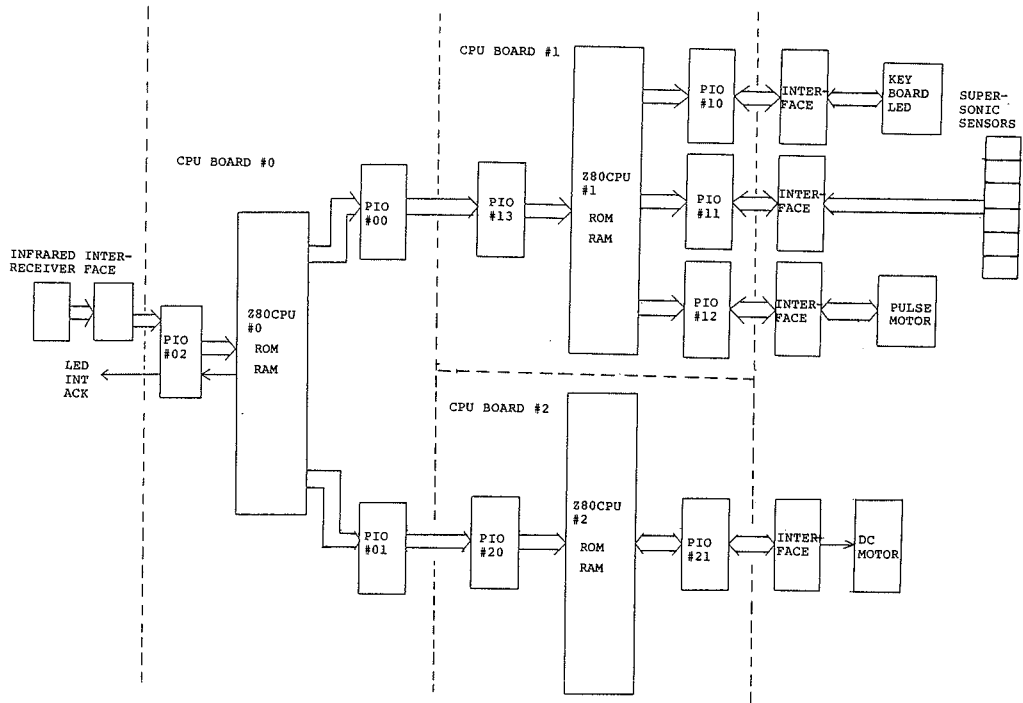


Fig. 9. Connection between three CPUs.

ii) CPUボード#1

基本構成は、CPUボード#0と同様である。CPUボード#1は4つのZ80-PIOをもち、そのうちの1つをCPUボード#0からの割り込み信号受信ポートとして使用している。他の3つはそれぞれ、モニターボード（LEDディスプレイを備えたキーボード）、超音波距離センサ、パルス・モータの各インターフェースとつながっている（Fig. 9 参照）。このCPUボード#1は、走行ロボットの制御における中心的役割を受けもち、そのためのプログラムや、データの調整に便利のように、ROMにはモニタープログラムが書き込まれている。これにより、専用のキーボード、LEDディスプレイ（これらは同一基板に実装されている）を接続すれば、プログラムを直接16進数で入力し、RAMに書き込むことができる。同様に、超音波距離センサの測定開始パルス発生タイミング等のデ

ータも自由に変更することができる。

iii) CPUボード#2

基本構成はCPU#0基板と同様である。

また、PIOの位置の1ヶ所に、Z80-CTCを取り付けている。従って、2個のZ80-PIOと1個のZ80-CTCを装備している。

ROMには後輪駆動用のDCモータの制御プログラムが書き込んであり、CPUボード#0からの割り込みによって直流モータを制御している。

2) センサ部

本走行ロボットでは、ファジィ制御規則の前件部変数の検出に、超音波センサを使用している。

6個のセンサをPhoto 2に示すように取り付け、それぞれの位置から距離測定を行い、得られた6つの距離データから走行ロボット自体の位置と姿勢を検出するという方法を採用した。

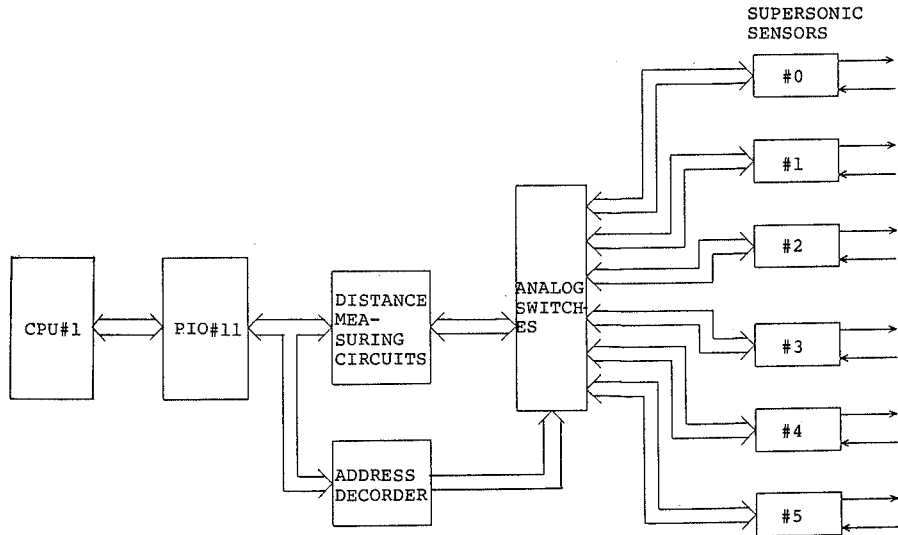


Fig. 10. Measuring the distance values from supersonic sensors and entering them into the CPU#1.

このセンサにより得られた距離データは、あらかじめ設定されているファジィ制御規則の前件部変数に割りあて、このファジィ制御規則に基づいてファジィ推論を行い、推論結果によって前輪の方向制御用のパルス・モータの回転角を決定する。超音波センサからの距離データのCPUボード#1上のCPU#1への取り込み回路のブロック図を Fig. 10 に示す。

また、走行ロボットの「走行開始」、「左折」等の走行指示はあらかじめ赤外線リモートコントローラで行うが、走行中はコントローラは不要である。本ロボットは、「自律型走行ロボット」であるので、このコントローラはあくまで補助的なものである。

3) 駆動部

駆動部は、台車に取り付けられた後輪駆動用直流モータ、減速歯車装置、前輪方向制御用パルス・モータ及びブラック内に収納されているこれら2つのモータの駆動回路より成る。また、後輪駆動用直流モータの駆

Table 3. Functions of each CPU.

CPU	Functions
#0	Processing travelling instructions
#1	Entering values of distance into the corresponding CPU Fuzzy reasoning Manipulating a steering angle
#2	Driving rear wheels

動軸は、カーブでの「前進」、「後退」をスムーズに行わせる為に差動歯車を装備した。

4. 走行ロボットの制御

走行制御に必要な機能としては、赤外線リモートコントローラからの走行指示の受信、処理、前輪方向制御、後輪駆動がある。これらの機能を Table 3 に示すように各CPUボードに分担させた。

Table 4. Programs for travelling control.

Programs	CPU	Main functions
Monitor Program	#1	Displaying contents of the memory address Writing data into memory address Executing user programs
Program for travelling instructions and processing	#0	Entering data into the CPU Sending data to each CPU circuit
Program for driving rear wheels	#2	Taking out a control signal to a driving circuit to rear wheels
Program for control of front wheels	#1	Entering values of distance Fuzzy reasoning Taking out a control signal to a driving circuit of a pulse motor for front wheels

走行ロボットの走行制御のために、モニタ、走行指示処理、後輪駆動、および前輪コントロールを実行するプログラムを作成した。これらのプログラムの概要を Table 4 に示す。以下において、Fig. 7 のハードウェア・アーキテクチャをもとにして、Table 4 に示した各プログラムについてその機能を説明する。

4・1 走行指示処理プログラム

本プログラムの主な機能は「赤外線リモートコントローラからの走行指示を受けて、それぞれのCPUボードに動作命令を出す」ことである。赤外線リモートコントローラのキーによりあらかじめ走行指示を Table 5 のように定義しておく。次に、本プログラムの処理の流れについて説明する (Fig. 9 参照)。

CPU # 0 をリセットすると、P I O の初期設定、割り込み準備などの処理をして、割り込み待ち状態にはいる。この状態で、リモートコントローラ (送信機) のキー 0 ~ 7 を押すと、Fig. 9 の P I O # 0 2 が CPU に割り込み要求を出す。割り込みが受けつけられると、P I O # 0 2 に入力されたデータが CPU に送られる。CPU はこのデータの内容によってどの CPU

ボードに対する指示かを判断し、それぞれの CPU ボードデータを送出する。最後に車体後部に取付けられているアクリル用 LED を点灯して終了し次の割り込み待ちとなる。次に、リモートコントローラのキー 0 ~ 7 に対応した 8 個の受信機出力を 8 ビットのデータとして P I O に入力させる。P I O はビット制御モードに設定しておき、ポートのどれかのビットに "1" が入力されれば割り込みがかかる。

4・2 前輪方向制御プログラム

本プログラムの主な機能は、「CPU # 0 からの指示により、距離データ入力、ファジィ推論、前輪方向制御の処理をある決められた回数 (任意に設定できる) 繰り返して終了する」ことである。

プログラム作成にあたり、機能別にサブルーチン形式で別のプログラムとして構成し、マイクロソフト社の「Link-80」を用いて各サブルーチンを連結して構成した。Fig. 11 に、CPU ボード # 1 を制御するプログラム構造を示す。以下に主なサブルーチンについて説明する。

Table 5. Travelling instructions by the infrared sensor.

Key number of the remote controller	Input data in hexadecimal	Functions
0	01	--
1	02	Go straight ahead
2	04	--
3	08	Turn to the left
4	10	Stop
5	20	Turn to the right
6	40	--
7	80	Go backward

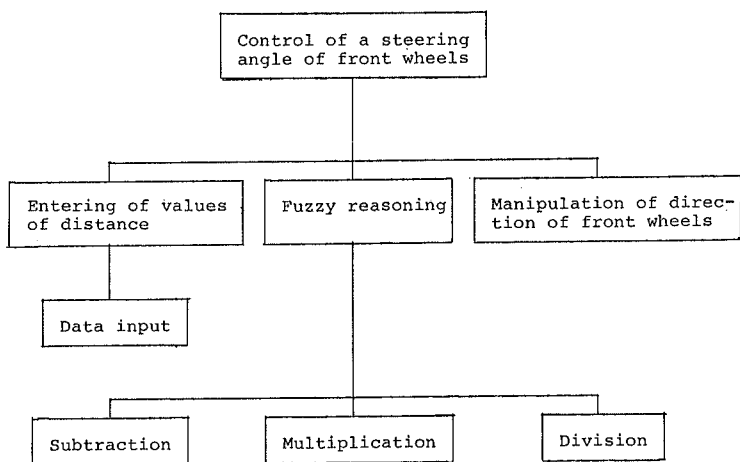


Fig. 11. Program structure for the travelling robot.

1) 距離データ入力ルーチン

走行ロボット本体から壁面までの距離を超音波距離センサで測定するためのルーチンである。動作を以下に説明する。

まずどのセンサを使用するかという信号をCPUから送ると、インターフェースに内蔵されているアナログスイッチによってセンサが1つ選択される。次に距離測定のきっかけとなるスタートパルスをCPUから

送ると、センサは壁面までの距離を1回測定し、結果を16ビットのデータとしてインターフェース内のフリップフロップに格納する。つぎにCPUからのポート入力命令によって用意したデータの下位8ビットが、CPUに送られ、メモリに格納される。この手順をFig. 12に示す。この手順をサブルーチンとし、Dレジスタに選択するセンサ番号、HLレジスタにデータを格納するメモリ番地を設定して呼び出す。センサ番

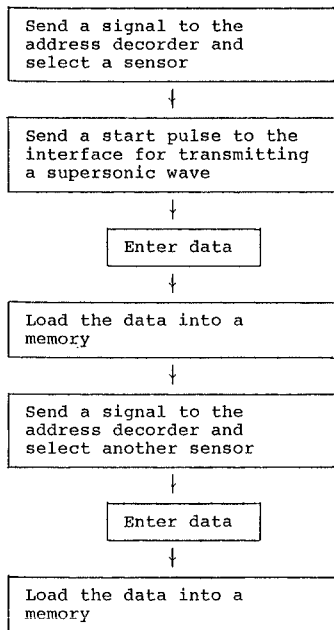


Fig. 12. A procedure to enter distance values into the CPU#1.

号は Fig. 13 のように決めてある。

2) ファジィ推論ルーチン

距離データ入力ルーチンで入力されたデータをもとに、ファジィ推論によってハンドル操作量を決定するルーチンであり、前輪方向制御の中心となる重要な部分である。入力として左右及び前方壁面までの距離、出力として前輪方向操作作用のパルス・モータの回転角を割り当てている。

本ロボットの試験走行のために、計算機シミュレーションで挙げた例：「左折コースを壁にぶつかることなく左折する」を考えた。入力としてロボットから前方壁面までの距離 x_1 及び左方の壁面までの距離 x_2 と、右方の壁面までの距離 x_3 を測定し、ファジィ推論規則に適用した。規則は、計算機シミュレーションにより

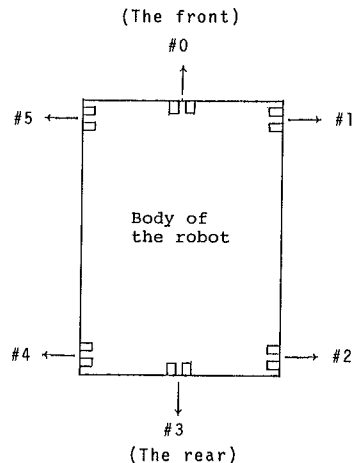


Fig. 13. Numbering of supersonic sensor position.

得られたものを超音波センサーの特性を考慮して用いた。非ファジィ化による前輪方向切り角 θ の決定には、(7) 式を拡張して用いた。この切り角 θ よりパルス・モータの回転角 ψ を決めたがモータを回転させるためにこの値を変換して用い、変換後の値を

$$\psi > 0 \text{ の場合 } Q = 8000 + \psi$$

$$\psi < 0 \text{ の場合 } Q = 8000 - \psi$$

とし、この Q の値をパルス・モータの回転角として使用した。

3) 前輪方向操作作用ルーチン

ファジィ推論ルーチンで得られたパルス・モータの回転角 Q の値によって前輪操作作用のパルス・モータを駆動するルーチンである。メモリに格納されている Q の値を呼び出して、最上位ビットが 0 の場合は右に、1 の場合は左に回転するようなパルスを駆動回路に送る。パルスの個数は Q の値の最上位ビットをマスクした値としてある。

以上、前輪方向制御プログラムについて説明した。本プログラムは、CPU # 1 の RAM 領域 9000H 番地より記憶させてある。CPU # 1 ではモニタ・プログラムによってキーボードを用いたプログラム修正が可能であるため、メンバーシップ関数の傾き、推論速度、推論回数などの諸定数が容易に変更できる。

5. 走行実験

第4章で構成した走行制御プログラムを、実際に、CPUボード#0～#2のメモリに書き込み、ロボットに搭載して走行させた。本章ではロボットを走行させる場合の操作手順および走行させた結果について述べる。

5.1 操作手順

まず、走行ロボットの電源を投入し、CPUボード#0～#2をリセットする。CPU#0はROM内の走行指示処理プログラムが、またCPU#2では後輪駆動プログラムが実行され、共に割り込み待ち状態に入る。CPU#1では、ROM内のモニタ・プログラムが実行され、LEDディスプレイに9000H番地の内容が表示されるので、前輪方向制御プログラムで使用する諸定数をキーボードから入力し、準備が出来たところで実行させる。以上で準備は完了である。後は赤外線リモートコントローラから指示を与えればよい。

5.2 走行実験

実験室内に幅120cmの「左折」の走行路を用意して実際に走行させてみた。左右の壁面は平らでなければならないので、ベニア板を使用した。実験の結果、走行路を壁に衝突することなく走行するという動作を確認することができた。

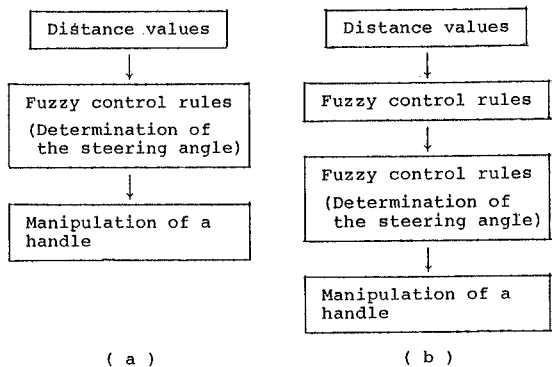


Fig. 14. Procedures of the fuzzy reasoning.

6. 検討

6.1 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションでは、試作した走行ロボットの寸法に相似な形で走行ロボットを模擬し、ファジィ推論の結果からハンドルを切る角度を決めた。この方法は単に車体の傾きを推論する方法に比べて、その走行の制御がよりスムーズに実行でき、実際に車を運転する場合に似た感覚でシミュレーションできる。

6.2 走行制御プログラム

走行をスムーズに制御させる場合に問題となるのが、ファジィ推論の方法である。Fig. 14にファジィ推論の手順を示す。今回用いたのは、同図(a)の方法である。この方法は、測定した距離データをそのまま推論規則に適用し、1段の推論でハンドル操作量を決定しているが、これでは、入力となる距離データが微妙に変動すると、出力となるハンドル操作量もかなり敏感に反応して変動するために、ロボットが蛇行する結果につながる。これを改善するには、同図(b)のようにすればよい。この方法は、測定した距離データを、人間の感覚を用いたあいまいな表現にしておいてから規則に適用する、つまり、ファジィ推論を2段にする、

というものである。この方法を用いると、距離データが微妙に変動しても規則の入力は大きく変動しないので、安定した出力が得られる。

走行ロボットの走行実験においては、この機能を有効に活用し、試行とデータの変更を繰り返して、満足のいく結果が得られるようなファジィ制御規則、測定開始パルス発生タイミングを導き出すことができる。

6・3 センサ部

距離測定に使用した超音波センサの個数は、センサの素子1組がカバーできる範囲、つまり測定対象である壁面に対して素子がどの程度傾くまで距離測定が可能であるかという特性に基づいて決定しなければならない。そこで実際に走行に使用したセンサについて、前述のような特性を調べた。実験は、素子に指向性を良くするための音響ホーンをつけた場合とつけない場合との両方について行った。

この実験結果によると、このセンサは壁に対して、音響ホーンをつけない場合で、ほぼ40°の角度までは測定可能であることが分かった。

この結果をもとに、計算機シミュレーションを再度行い、Photo 2 及び Fig. 13 に示すように、6つのセンサを装備した。

6・4 駆動部

前輪の方向制御には、パルス・モータ(2相、1.8°/ステップ)を使用している。これは、このモータがその構造上マイクロプロセッサ制御に適しており、取り扱いが比較的簡単であるという理由による。特に、その回転角が入力パルス数に比例し、位置決め制御においては、フィードバックループなしで正確な結果が得られるという性質は、ロボットの前輪制御に都合がよい。

一方、走行ロボットは後輪駆動とし直流モータを使用し、減速機構を付加した(減速比1:20、走行速度120cm/min)。これは小型で高いトルクが得られる点で有利である。直流モータを使用して、位置決め等の

制御を行う場合には、その制御回路が複雑になるのであるが、この場合、ロボットの走行開始、停止という単なるON-OFFの制御だけであるのでその駆動制御回路も簡単に構成できる。

7. おわりに

走行ロボットの走行制御をファジィ理論を用いて計算機上でシミュレーションし、実際に四輪自律型走行ロボットを試作し、走行制御プログラムを作成、搭載して走行させた。実際に試作して様々な問題点が生じたが、「自動車の無人運転」という問題を、特別な運動方程式を解く必要もなく、制御可能なことを確かめた。

本報告では主として走行ロボットのハードウェアについて述べたが、走行実験の詳細については別稿において述べる予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、走行プログラム調整上の助言を賜った本学工学部電気電子工学科の松岡節講師に深謝致します。また、走行ロボット駆動部の機械加工に御協力をいただいた本学工学部機械実習工場の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) L.P.Holmblad and J.J.Ostergaard, Control of a cement kiln by fuzzy logic, in "Fuzzy Information and decision Processes" (M. M. Gupta and E. Sanchez eds), North-Holland, P. 389-399, 1982.
- 2) 安信他、Fuzzy制御による列車定位置停止制御、計測自動制御学会論文集, 19巻, 11号, 873-880頁, 1983.
- 3) 柳下他、ファジィ理論の浄水場薬品注入制御へ

- の応用、システムと制御，28巻，10号，597-604頁，1984.
- 4) M.Sugeno and M.Nishida, " Fuzzy control of model car ", Fuzzy Sets and Systems, vol.16, pp.103-113, 1985.
- 5) 菅野道夫：「ファジィ制御」，日刊工業新聞社 1988.
- 6) 寺野、浅居、菅野：「ファジィシステム入門」，オーム社，1987.
- 7) 下田茂：「自動車工学」(大学講座機械工学21) 共立出版，1975.
- 8) 横山直隆：「Z-80,8085,8086のプログラミング実験による割り込み技術入門」，技術評論社 1988.
- 9) シャープ株式会社：「Z-80ファミリーテクニカル・マニュアル」，1977.