自律移動ロボットのファジイ誘導制御[†]

竹内 俱佳^{*1} 永井 豊^{*1} 登 一生^{*2} 榎本 穰^{*2}

屋内環境において単一カメラを視覚に使用して、床面と障害物や壁との境界線を検出して通路を発見し、壁や障害物を回避しながらファジイ制御により自律的に移動する走行ロボットを既に報告した。

自律移動ロボットの誘導制御の目的の一つにある地点から希望の地点まで地図上で指定された経路に沿って移動させることがある。本論文では、直交する直線経路のみからなる室内環境において、この障害物回避のファジイ制御法を応用してある地点から目的とする地点まで地図上で指定された経路に沿って自律的に移動させることを検討したものである。制御法は交差点等において仮想障害物を置く画像処理によって指定された方向へ誘導するようにするもので、パソコン上でのC言語によるシミュレーションと実験によってその有効性を確かめた。シミュレーションで開発された制御プログラムはロボットに移植され、移動経路は通過交差点の順番とそこでの進行方向を指定することで行われる。

キーワード：ファジイ誘導制御、自律移動ロボット、CCD カメラ、画像処理、仮想障害物。

1. はじめに

移動ロボットを自律的に移動できるようにするためには、環境を認識し、ロボット自身の判断に基づいて移動する能力をもたせることが必要となるが、このためには視覚センサを使って環境情報を収集し、その分析による移動経路の決定とそれに従った移動のできる制御機構が必要不可欠となる。制御機構には、指定された地点へ移動する自己誘導制御と経路上の障害物を回避する制御が必要である^{1),2),3)}。視覚センサはこれ等の制御に必要な環境情報を獲得するために使われる。ロボットの視覚が果たすべく役割を障害物を回避しながら目的地へ移動する制御に必要な情報の獲得に限定

すると、人間の移動からわかるように移動中の各点において自己の位置を正確に知る必要はなく、シーンの細部の理解も必要ではない。障害物の回避にはロボット自身が経路を通過できるか否かの情報があれば十分である。目的地への誘導には、一本道であれば目的地であるか否かを判断できる目印を与えるだけで十分であり、道が複数ある場合には道の分岐点で選択すべき道を決定すればよい。従って、なるべく扱う情報を限定し、簡素な処理で自律的に移動する制御にはファジイ制御が適合しており^{4),5)}、菅野等による音波を使って壁からの測距による情報に基づいたモデルカーの自動運転のファジイ制御がある^{6),7)}。著者等も CCD カメラからの画像情報から通路上の障害物の境界線を検出して移動する自律移動ロボットのファジイ制御について検討してきた^{8),9),10)}。しかし、床面と障害物の境界線の検出をアナログ波形の直接微分によるエッジ検出で行っていたため、床面上の細線(タイル等の縁による線)を誤って検出すること

[†] Fuzzy Control of a Mobile Robot for Guidance
Tomoyoshi Takeuchi, Yutaka Nagai,
Kazuo Nobori and Yuzuru Enomoto

^{*1} 電気通信大学
University of Electro-Communications

^{*2} 電気通信大学 大学院
Graduate School of Univ. of Electro-Communications

があり、自律移動に必要な進行方向の抽出などに問題があった。

自律移動ロボットの目的の一つに既知の環境下において、ある地点から目的とする地点へ適当な経路をたどって移動させることがある。この場合には道の分岐点で指定された経路を選択するように誘導できれば指定経路に沿ってロボットを移動させる目的を達成することができる。本論分は、著者らが開発した障害物回避のファジィ制御を応用して分岐点においては仮想障害物を設定する画像処理によって希望の経路選択するように誘導する制御法について検討したものである。この方法はロボットの障害物回避と誘導制御が同じ一つのコントローラで実現できるので都合がよい。このため視覚処理法をデジタル画像処理に替え、障害物回避のファジィ制御法の改善をはかり、屋内環境で障害物を回避しながら指定経路に沿って自律移動する車輪走行ロボットの誘導制御について検討した。指定経路は分岐点を表す節と通路を表す枝から成るグラフで表した地図上節の座標と向かうべき節を示すことによって与えている。

2. 改良された視覚画像処理による障害物回避のファジィ制御

自律移動ロボットの制御システムのブロック線図を Fig.1 に示す。視覚システムは CCD カメラとその処理系から構成され、駆動システムは DC モータとその速度制御系から構成されている。ファジィコントローラは視覚システムと駆動システムを関係づける構成になっている。

Fig.1 Block Diagram of Fuzzy Control System of the Mobile Robot.

2.1 デジタル画像処理による環境情報の抽出

ロボットの移動経路と前方の障害物に関する情報は Fig.2 のようにロボットの頭上にある単一の

Fig.2 Side View of CCD Camera Geometry.

CCD カメラから得ている。ここでは、1/60 秒で取り込まれた 256×256 の画素を間引いて 64 階調の画素から必要な情報を得る。画像処理は以下のように行う。Fig.3 a) の様な原画像が CCD カメラから取り込まれると、まずメジアンフィルタをかけることによって Fig.3 b) のように床面のタイルの縁のような細線等含む不必要な情報や雑音を取り除く。次にソーベルフィルタをかけてエッジを抽出する (Fig.3 c))。この画像を下から走査してゆき、濃度差が一定値を越えるところまでの長さを求め Fig.3 d) のようなデータ列を得ている。この図の黒い部分がロボットの通過可能領域となる。ロボットの制御には 256×256 画素の細かい分解能は必要でないので荒い画素で行い処理時間の節約を計って端を除き 60 (横) $\times$ 59 (縦) 画素に対応したものを得ている。このままでは、雑音によって乱れがあるので経路の交叉点から誘導に必要な

Fig.3

角の位置を推定するのに問題となる。それ故、メジアンフィルタをかけて Fig.3 e) のような棒グラフ状のデータ列を得ている。CCD カメラは固定しているので広角なレンズが必要である⁸⁾。Fig.4 はカメラから見た視野の範囲(扇形状の内部でカメラは下から上を見ている)を示しているが、広角レンズ(90°)を使っているので遠方(図の上側)程歪んでいる。ロボットは CCD カメラによって

足下(図の下側)で約 1.4 m、遠方(図の上側)で約 4 m の幅の床面を見ていることになり、画面が歪んでいるので補正が必要になる。これはロボットの通過できる経路の決定の処理で考慮すれば十分である。Fig.3 の画面の縦方向の黒い像の高さがロボットから最も近い位置にある障害物までの距離を表している。画面の底辺を X 軸、左辺を Y 軸にとる (Fig.5 参照)。この画面からロボットの前

Fig.4 Visual Field Viewd from CCD Camera.

Fig.5 Illustration of Permissible Passageway Width(W) and Advance Direction(P) Using Threshold LT_1 and LT_2

方の視野角内にある最も近い障害物の位置が求められる。障害物を回避するには障害物の位置が一番遠い、即ち最大の Y の方向にロボットを進めるようにすればよい。この画面からロボットの移動可能な経路の幅を決定するために実験から決めたスレッシュホールド値(ロボットの前方の一点までの距離を示す)を使っていたが⁸⁾、一本では狭い通路や障害物が複雑に配置されているようなときにはロボットの通行が難しいことがわかった。従って、本論文では Fig.5 のようにロボットの進行方向を局所的に経路を考慮して決めるためにロボットの前方ある距離の 2 点における通路の幅を考える。この 2 点までの距離を決める二本のスレッシュホールド値 LT_1, LT_2 を次式から決め、通過の可能となる通路の幅 W を求める。

$$LT_1 = C_1 \frac{\sum y_k}{N}, \quad (1)$$

(N : $y_k > 0$ を満足する y_k の本数)

$$LT_2 = C_2, \quad (2)$$

(ロボットの足下に相当する前方の位置)

C_1, C_2 は実験的に求めてそれぞれ 1, 4 とした。 LT_1 はロボットの前方の通過可能な領域の中心的位置を示し、障害物の様子によって変わる。 LT_2 はロボットの前方 0.6 m の位置に対応する (Fig.2)。 $y_k > LT_1$ を満足する、即ちロボットの通過可能な幅 W を持つ経路が複数ある場合は最大の幅を持つ経路を選択し、これを W_1 とする。次に、同じ経路において $y = LT_2$ における幅 W_2 をもとめる。画面上では遠近に関係なく同じ画素数になっているので幅を示す数値は同一になる。実際には Fig.4 からわかるようにこの数値は遠近によって表す幅が異なることになる。従って、 W_1 を W_2 との遠近関係を考慮して次のように修正する。

$$W_1' = \frac{W_0 - \frac{7}{12} LT_2}{W_0 - \frac{7}{12} LT_1} W_1 \quad (3)$$

ここで W_0 は $y = 0$ の通路幅で画面上の値は 55.33 (実際の幅で 1.4 m に対応) である。この値

は $y = 4$ のときの幅を 53 とし、7/12 を使って逆算したものである。7/12 は画面上の y の値で 1 だけ増せばつまり遠くなれば小さくなる幅の割合で Fig.4 から線形化して求めた値である。この W_1' と W_2 を比較して小さい方を W とする。即ち、

$$W = \min \{ W_1', W_2 \} \quad (4)$$

この図で W の両端の座標を x_{11}, x_{12} とするとロボットの進行方向 P は目標値として通路の中心を考えて

$$P = \frac{x_{11} + x_{12}}{2} \quad (5)$$

から決める。即ち、通過可能な幅を持つ通路の中心を進行方向とする。但し、画面の LT_2 上の何処かに障害物が見えるときは $W = W_2$ とする。このように W を決めることはロボットと障害物の関係を考慮して W_1 に向かうか W_2 に向かうかの経路の選択によってロボットの進行方向を決めることになっている。視覚システムからファジィ制御器への入力は進行方向 P と通過可能となる経路の幅 W である。

2.2 ファジィ制御器の構成

通路の幅と進行方向の情報および左右両輪の速度情報に基づいてロボットが障害物を回避しながら移動するようにファジィ制御が行われる⁸⁾。ファジィ制御器は Fig.6 のように移動方向の制御と移動速度の制御の非干渉化された 2 系の制御器から構成されている。ロボットの重量は約 100 kg、高さ 1.1 m、幅 0.5 m でその入力を電圧、出力を速度とする伝達関数は実測から

$$\begin{aligned} G_f(s) &= \frac{K}{1 + 0.31s} \text{ (直進)} \\ G_r(s) &= \frac{K}{1 + 0.17s} \text{ (回転)} \end{aligned} \quad (6)$$

が得られる。 $k_1 \sim k_6$ はスケーリングファクタでパソコンを使ったシミュレーションによって調整し、決定されたアルゴリズムはロボット上のパソコンにそのままディスクから移植できるように構成されている。

Fig.6 Block Diagram

a) 方位制御

ロボットの進行方向の制御は前章で求められた P と現在のロボットの曲がり方の状態を表す左右動輪の速度差 Δv から次の曲がる方向の修正量 dv を制御規則 (Table 1 b)) を使ったファジィ推論から求める。 P 、 Δv 、 dv は Table 1 a)) のように 13 段階に規格化された離散集合上で定義し、真直ぐ (ZR)、左折または右折が少し (NS or PS)、中位 (NM or PM)、大きい (NB or PB) の 7 ファジィラベルで表し、推論結果を重心法を使って Table 1 c)) のような入出表を求め、この表を参照してスケーリングファクタ k_3 を考慮して dv を出力する。

Table 2

a) Membership function

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ZR	1.0	0.7	0.3	0					
PS	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0			
PM			0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0
PB					0	0.3	0.7	1.0	

b) Control rules of traveling speed

		Traveling speed			
		ZR	PS	PM	PB
Passageway width	ZR	ZR	ZR	ZR	ZR
	PS	PS	PS	PS	PS
	PM	PS	PM	PM	PM
	PB	PM	PM	PB	PB

Table 1 Fuzzy Direction Control

a) Membership function

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NB	1.0	0.7	0.3	0									
NM	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0							
NS		0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0					
ZR				0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0			
PS						0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0	
PM								0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3
PB										0	0.3	0.7	1.0

b) Control rules of traveling direction

		Difference between left and right wheel speed						
		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
Traveling direction	NB	ZR	NS	NM	NB	NB	NB	NB
	NM	PS	ZR	NS	NM	NB	NB	NB
	NS	PM	PS	ZR	NS	NM	NB	NB
	ZR	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB
	PS	PB	PB	PM	ZS	ZR	NS	NM
	PM	PB	PB	PB	PM	PS	ZR	NS
	PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZR

c) Input/output table for traveling direction control

		Difference between left and right wheel speed											
		0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-6
Traveling direction	0	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-6
	1	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5	-6	-6
	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6
	3	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5
	4	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-5
	5	4	3	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5
	5	5	5	4	3	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3
	6	6	5	5	4	4	3	2	1	0	-1	-2	-2
	6	6	5	5	5	4	3	3	2	1	0	-1	-1
	6	6	6	6	5	5	4	4	3	2	1	0	0
	6	6	6	6	5	5	5	4	3	2	1	0	0

b) 速度制御

ロボットは前章で求められた通路幅 W や曲がり方に応じて移動速度 $v (= (v_L + v_R) / 2)$ を制御するため制御規則 (Table 2 b)) を使った推論から得られた u_f を使って修正量 du を次のように計算する。

c) Input/output table for traveling speed control

		Traveling speed							
		0	0	0	0	0	0	0	0
Passageway width	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	4	4	4	6	6	6	6	6	6
	4	4	4	6	7	7	7	7	7
	5	5	5	6	7	7	8	8	8

$$\begin{aligned}
 u - u_f > a &\rightarrow du = a \\
 u - u_f < -a &\rightarrow du = -a \\
 \text{otherwise} &\rightarrow du = 0
 \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 a はロボットがソフトな加減速を行うように決める。ロボットが曲がっている場合には等価的に通路幅が狭くなったとして通路幅を $(1 - b | 30 - P | / 60) W$ に修正して観測情報とする。これは画面の幅が b は実験的に 0.4 と決めた。これは $P=30$ のときはまっすぐ進むのでそのままの通路幅を使い、それからのずれに応じて曲がる曲率が大になるので通路幅を狭く見積ることを意味している。通路幅と速度は 9 段階に規格化した離散集合上で定義し、0 (ZR)、小さい (PS)、中位 (PM)、大きい (PB) の 4 ファジイラベルで表し、推論結果を重心法を使って Table 2 c) のような入出力表を求め、この表を参照してスケーリングファクタ k_6 を考慮して u_f を求め式 (7) から du を計算して出力する。

以上のように得られた出力 dv と du から左右両輪の速度指令 u_L, u_R を次式から計算して左右動輪の速度制御系の入力として与えている。

$$\begin{aligned}
 u_L(k+1) &= u_L(k) + dv + du \\
 u_R(k+1) &= u_R(k) - dv + du
 \end{aligned} \quad (8)$$

W が小さい場合にはロボットは停止するようにしている。

3. 誘導制御と走行実験

3.1 仮想障害物回避を使った誘導制御

自律移動ロボットの誘導制御の目的の 1 つは既知の環境下において、ある地点から目的とする地点へ適当な経路を通して移動させることである。ロボットの移動する経路については何らかの形で例えば“最短経路を取る”等指定する必要がある。ここではロボットの移動経路を指定するための地図を前提としたロボットの誘導について考える。ロボットの移動する経路は、直角に交わる直線的な通路のみからなる屋内のような環境にあるものとする。このような環境でのロボットの誘導は、通路の交叉点とそこから進むべき方向を指示して

やることによって可能となる。

地図は節と枝からなるグラフで表現し、節に番号をつけ、Table 3 のように表す。ロボットの移動経路はあらかじめ Fig.7 のように指定しておく、

Table 3 Means of Expressing Branching Points in the Computer.

X	Y	N n	N e	N w	N s
---	---	-----	-----	-----	-----

(X, Y) : position of the node on a map.
Nn, Ne, Nw, Ns: node number of adjoining north, east, west and south respectively.

Fig.7 Designated Path on a Map.

その経路に沿った誘導を考える。ロボットの移動経路は節(分岐点)の番号列として Table 4 のように記憶させておく。ロボットは通路上の障害物を避けながら移動し、節に到達したら、その節での進行方向の指示にしたがって曲がり、次の節へ向かう、このとき指示方向へロボットが自律的に走行するために、画面上に仮想障害物を設けて指示方向の通路へ進めるように処理する。

Table 4 An Example of Indicating a Designated Passageway in the Computer.

An example of map data for guidance of robot.

S	1600,	200,	*	*	1,	*
1	1320,	200,	8,	S,	2,	14,
8	1320,	480,	9,	13,	7,	1,
7	910,	480,	10,	8,	6,	2,
6	630,	480,	*	7,	5,	3,
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

Passageway width is 1.4m.

a) 分岐点における処理と仮想障害物の設定

地図上においてはL字の通路も節としておいた方が処理上都合がよい。各節においては、それに応じて進行方向にたいして直進、左折、右折のどれかであるかの相対的な指示に変える処理を先ずロボットが行っておく。節は、左右の対称性を考慮すると Fig.8 a) のような6種類になる。

a) Images Obtained from the Visual Sensor ;
A, B, and C Show Corner,

b) Different Kinds of Passageway Branching Points.

Fig.8

これらの節に到達するとロボットに節の情報と経路指定の情報からこの6種類のどれであるかを判断してそれぞれ指示に応じて仮想障害物の設定の処理を行う。それらは多少異なるが、大略同じであるので十字路の場合を例にとり説明する。仮想障害物は角 (Fig.8 b) の A 又は B 参照) を検出し、この点から画面の左下隅または右下隅に直線を引いて設ける。Fig.8 において、TS-L, TS-R, LL-L, LR-R の場合は角がないので画面の中央から結ぶ。角の検出は画面上 y の変化率の一定の y の先端を結ぶ直線を左側から右側へ最小 2 乗法を使って求め、隣合う傾きの異なる直線の交点を角の点とする。角が複数個あるときには下に凸(これは傾きの変化の符号で判別可能)のうち大きな y の点を角とする。交差点においてロボットを左折させる場合を考える。このときの処理過程は次のようになる。即ち、ロボットは a, b, c, d, e のように移動し、それぞれに応じて CCD カメラから画像を処理して Fig.9 の右側のような画が得られる。ロボットは a において交差点に近づいたものと判断し、次の b で地図上の指令に基づいて左折のための仮想障害物処理に入る。左側から 4 本の y を使って最小 2 乗法で傾きを求め、直線を右側に延長して y が一定の誤差内 (± 3) で直線上に乗るかどうかを調べる。引き続く 4 本の y が直線上に

Fig.9 Processing to Set Up Virtual Obstacles on the Screen in Order to Turn the Robot to the Left.

ない場合角とする。次にその角から出発して同様な処理を繰り返す。角をすべて検出したらその角が下に凸の角か否かを傾きが大的方向に変わるかどうかによって判断する。下に凸の角のうち中央から左側最初の角から右下隅に直線を引いて仮想障害物を作る (Fig.9 b,c,d)。仮想障害物処理に入ってからロボット方位角 θ が大体 90° 変化したら処理を終了する (Fig.9 e)。ロボットの現在位置と向きは WB を左右動輪の間隔として次式より計算して推定し (Fig.10 参照)、節に到着したことおよび曲がり終わったことを判断する。

Fig.10 Steering of the Mobile Robot.

$$\Delta\theta = \frac{V_L - V_R}{WB} T, \quad \Delta D = \frac{V_L + V_R}{2} T$$

$$\theta(k+1) = \theta(k) + \Delta\theta \quad (9)$$

$$x(k+1) = x(k) + \Delta D \cos(\theta(k) + \frac{\Delta\theta}{2})$$

$$y(k+1) = y(k) + \Delta D \sin(\theta(k) + \frac{\Delta\theta}{2})$$

このとき誤差が蓄積するが、各節ごとの地図情報に基づいて修正される。

b) 行き止まりの処理

ロボットは走行している途中で行き止まりになるような、例えば L 字通路の隅が通路と誤って判断することがある。このような場合画面上は下に凹形な図になるのでその方向へロボットが行かないように仮想障害物を設定する。これによりロボットの立ち往生をふせぐことができる。

3.2 走行実験とシミュレーション

以上述べた制御システムを持つロボットを構成して移動ロボットの誘導制御のシミュレーションと走行実験を行った。この結果の一例を Fig.11 a), b) に示す。両者は障害物が同じような配置にあり、シミュレーションと実走行の結果がかな

Fig.11 Robot Guidance Simulation a) and Experiment b) at 4-way Intersections.

り良く対応した動きをしているのがわかる。走行実験の結果、実線は(9)式を使ってロボットの車輪の回転速度から推定した位置から求めたもので、点線が実際走行した軌跡である(ビデオから推定)。図では実線が壁に接触しているように見えるが、実際には接触しないで走行している。この実際の位置と車輪の回転から(9)式による推定位置との差はロボットの車輪の回転のときのすべりによる誤差が蓄積したものであり、この誤差はロボットが止まった位置のずれ(Fig.11 b)の○)から推定できよう。

Fig.12 はロボットを指定経路に沿って巡回させた例を示している。S が出発点、E が終点で、経路は Fig.7、Table 4 のように指定している。ロボットは障害物を回避しながら指示経路に沿って移動していることがわかる。

Fig.12 Robot Guidance Simulation Following a Designated Passageway.

4. おわりに

室内環境において単一のカメラから得られる限定した画像情報に基づいて指定経路に沿って移動ロボットの自律巡回誘導がファジィ制御によって有効に行われることを示した。動的な障害物にたいする対応や更に複雑な経路における自律移動も同様な方法が利用できるものと考えが視覚範囲の拡大を含む画像処理と制御規則の検討が必要である。CCD カメラによる視覚センサは床面と障害

物の境界の検出のとき、床に描かれた太い線や影による明暗によって誤る問題が残されている。これらに対する画像処理は今後の課題と言えよう。

参考文献

- 1) 広瀬茂男：移動ロボット技術、計測と制御 VOL.21, NO.12, 41-46(1982).
- 2) 辻三郎：室内環境自律移動ロボットの視覚、日本ロボット学会誌, Vol.15, No.6, 470-474 (1980).
- 3) 小林重信：自律形移動ロボットにおける知識処理、計測と制御 Vol.26, No.2, 128-133(1987).
- 4) 戸貝方規：知能ロボットシステム、マグロウヒル (1986).
- 5) 廣田薫：あいまい制御知能ロボット、マグロウヒル(1986).
- 6) M. Sugeno, and M. Nishida : Fuzzy Control of Mobile Car, IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas (1984)
- 7) M. Sugeno and K. Murakami : An experimental Study on Fuzzy Parking Control Using a Model Car, Industrial Application of Fuzzy Control M. Sugeno (ed.) 125-138, Elsevier(North-Holland)(1985).
- 8) T. Takeuchi, Y. Nagai and N. Enomoto : Fuzzy Control of a Mobile Robot for Obstacle Avoidance, Information Science, 45, 231-239(1988).
- 9) 竹内俱佳、永井豊：自律型移動ロボットのファジィ誘導制御シミュレーション、IFSA 第3回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、55-60 (1987).
- 10) 竹内俱佳：自律型ファジィ移動ロボット、日本ロボット学会誌, Vol.6, No.6, 549-556(1988).

(1989年 9月1日 受付)
(1989年 11月2日再受付)

[問い合わせ先]

〒182 調布市調布ヶ丘1-5-1
電気通信大学 電子工学科
竹内 俱佳
TEL : 0424-83-2161(内)3452
FAX : 0424-84-6890

 著者紹介

竹内 俱佳 (たけうち ともよし)

電気通信大学 電子工学科

昭和39年電気通信大学電子工学科卒業。同年同大学助手、昭和51年電気通信大学短期大学部助教授、昭和55年電気通信大学助教授現在に至る。海洋の計測・制御などの研究に従事。工学博士、電気学会、計測制御学会、日本ファジイ学会、日本音響学会、日本造船学会等の会員。

登 一 生 (のほり かずお)

松下電器産業株式会社 中央研究所

平成元年電気通信大学電気通信学研究科修士課程修了(電子工学専攻)、同年4月松下電器産業株式会社に入社。現在中央研究所知能科学第5研究室に於て画像処理の研究に従事。

永 井 豊 (ながい ゆたか)

電気通信大学 電子工学科

昭和57年電気通信大学電子工学科卒業。昭和59年電気通信大学電気通信学研究科修士課程(電子工学専攻)修了。同年電気通信大学電子工学科助手現在に至る。工学修士。画像処理、ロボット、ファジイ制御等の研究に従事。テレビジョン学会会員。

榎 本 穰 (えのもと ゆずる)

ファナック株式会社 商品開発研究所

平成元年電気通信大学電気通信学研究科修士課程修了(電子工学専攻)、同年4月ファナック株式会社に入社。現在ファナック株式会社 商品開発研究所二部二課に於てロボットの研究に従事。