サービス用知能移動ロボットの開発*

(第3報, ハエの行動に倣った生物学的実時間画像抽出法と ハンドアイシステムへの応用)

田中孝之^{*1}, 大井純司^{*2}, 山藤和男^{*1}

Development of Intelligent Mobile Robot for Service Use (3rd Report, Biological Real-time Pattern Extraction Method Emulating Fly's Behavior and its Application to Hand-Eye System)

Takayuki TANAKA, Junji OHWI and Kazuo YAMAFUJI

We have developing an intelligent mobile robot for service use which can be utilized as a "secretary or helper robot" during the day and "security guard or maintenance including floor-cleaning robot" at night in office buildings. When the service robot works or moves autonomously in an environment including human beings, it should be able to recognize its environment on real time. In this paper, new biological object extraction method is developed. In order to extract objects from a frame image taken by a camera, many Virtual Flies (VFs) scattered in the CRT display are utilized. An individual VF composed of 3×3 pixels can freely fly in the display. Fundamental object extraction method is to detect objects just like flies sensing foods and swarming around them. Methodology and experimental results together with its application of Hand-Eye system using a robot manipulator are described in detail.

Key Words: Biological Pattern Recognition, Object Extraction, Robotic Vision, Hand-Eye System

1. 序 論

筆者らは, 1992 年 4 月からビル内における各種サービス業務を代行するサービス用知能移動ロボット (Intelligent mobile robot for service use, 以下, IS ロボット) の研究開発を行ってきた^{1)~4)}。

第1報²⁾では, 移動ロボットに対して絶えず変化する環境情報を多数のセンサによって検出し, それに基づいてロボットの移動戦略を変化させるために, ファジィ・ニューラルネットワークを用いた環境適応型自律移動システムを提案し, その有効性を述べた。

第2報³⁾では, 画像処理によって 2 つの非常灯および 1 つの消火栓ランプを移動環境内に既存のランドマークとして検出し, 三角測量によりロボットの絶対位置を計測する局所的自己位置認識と, 部屋番号表示板の認識による大域的自己位置認識からなる, 視覚センサを用いた IS ロボットの自己位置認識システムを提案した。

人間と環境を共有するロボットにおいては視覚による認識は非常に重要であり, 本ロボットには作業腕上に CCD カメラを搭載している。

従来の画像処理法の多くは, 取得した画像データ全体について画素単位で処理を行うために時間がかかりすぎている。そのため特殊なハードウェアによる高速化や画像圧縮などの方法が用いられてきたが, 問題が多い。

本報では, 従来の画像処理手法とはまったく異なった原理に基づいた革新的な実時間画像処理手法として生物学的画像抽出法を提案し, 実験によりその有効性を実証するとともに, 応用例として本手法を用いた IS ロボットの

ハンドアイシステムについて述べる。

2. 概 要

2.1 従来の画像処理手法の問題点

一般に画像処理速度が遅い主な原因は, 取得した画像データ全体に対してノイズ除去や色変換などの処理を画素ごとに行っている点にある。そのため, 処理時間を短縮するには画素数を減らす以外に方法がなかった。しかし, 画素数を減らせば当然のことながら精度が犠牲になる。従来の画像処理では, 図 1 に処理過程の一例を示すように, 各種の処理を順次行うために最後まで処理が終わらなければ結果が出ず, さらに途中で処理が失敗すると最後までその影響が残るなどの欠点があった。

2.2 ハエの行動に倣った新画像処理法

従来の画像処理手法の欠点を補うため, 本研究では昆虫の本能的行動に注目した。昆虫は点在する多数の物体の中から, 自分の餌となる物の匂いや色などを感覚器で検出して, それに向かって集まるという習性をもっている。また, ある昆虫は餌を見付けると, フェロモンを発するなどして仲間に餌のある場所を教える能力をもつものもある (図 2)。本手法にはこれら 2 つの本能的行動を取り入れており, 以下のような特徴を有する。

本手法では, 取得した画像データ全体を処理するのではなく, 点在する微小領域のみを処理することにより高速化を実現し, その微小領域 1 つ 1 つを処理結果に応じて個別に移動させることで, 精度の向上と形状の判別を

Fig. 1 Conventional image processing system

* 原稿受付 1998 年 1 月 26 日。

^{*1} 正員, 電気通信大学(〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1)。

^{*2} 学生員, 電気通信大学大学院。

E-mail: tanaka@mce.uec.ac.jp

Fig. 2 Instinctive motion of insects, swarming around a food

実現した。この微小領域の1つ1つが CRT 画面上で生物のハエと同様なふるまいをして食物、つまり対象物を探索することから、この移動する処理単位を仮想的なハエ、すなわち Virtual Fly (以下、VF) と呼ぶ。

各 VF は色判別部を持ち、現在自分のいる場所の色があらかじめ記憶させられた対象物の色かどうかを判別してレベルを設定する。そのレベル情報を用いて後述するような単純な行動規則に従って移動する。その結果、VF は対象物と背景の境界上に集まり、閉じた多角形を形成する。この VF の集団をコロニーと呼ぶ。VF の座標とレベルは、形状の判別を行う形状判別部と位置計算部に渡され、対象物の中心座標が出力される。

図 3 に示すように、位置計算部から出力される対象物の座標が各 VF にフィードバックされ、ハエの集団の行動を模している点が従来の画像処理法の情報の流れとは大きく異なっている。

3. 生物的画像抽出法

3.1 1匹のハエに相当する VF の行動規範

VF は CCD カメラより取得された画像上を画像処理を行いながら移動する処理機構であり、色を判別する色判別部と、処理結果によって移動方向や速度を決定する行動決定部からなる。1個の VF は 3×3 ピクセルよりなり、画面全体では数十個の VF を使う。行動決定部は色判別部の結果によって設定されるレベル情報と複数の VF が集まって形成するコロニーの中心座標をもとにして自分が移動すべき次の位置を決定する。

一つの VF の行動は、VF 個々の状態とシステム全体の状態によって決定される。各状態に対して次のよう

VF: Virtual Fly, PD: Pattern Discrimination, LC: Location Calculation

Fig. 3 Biological pattern extraction system

にレベルを設定する。VF 個々のレベルは、

レベル 0: 一定時間以上対象物を見失っている状態、

レベル 1: 直前まで対象物らしきものを見ていたが、現在は見失っている状態、

レベル 2: 現在対象物らしきものを見ている状態の3段階とし、システム全体のレベルは以下の2段階とする。

レベル 0: すべての VF がレベル 0 の状態、

レベル 1: 1つ以上の VF がレベル 1 以上の状態

Table 1 Rule of a VF's behavior

System's level	VF's level	VF's behavior
0	0	random & VF repulsion
1	0	colony attraction & VF repulsion
1	1	colony attraction & VF repulsion
1	2	colony repulsion & VF repulsion

各 VF は上記のレベルの組合せにより、表 1 に示すルールに従って行動を決定する。表中における各行動の意味は次の通り。

random: ランダムに動く、

VF repulsion: 最も近い VF から離れる、

colony attraction: 最も近いコロニーの中心に集まる、

colony repulsion: 最も近いコロニーの中心から離れる

以上のようなルールによって各 VF は対象物の輪郭に群がり、図 4 のようにコロニーを形成する。まず、あるレベル 1 以上の VF(a) が最も近いレベル 1 以上の VF(b) に連結する。さらに、(b) は (a) を除く最も近いレベル 1 以上の VF(c) に連結し、(c) は (b) を除く最も近いレベル 1 以上の VF に連結する。これを繰り返して1つのコロニーを形成する。ここで、すでに連結されている VF には連結することはできないものとする。コロニーは処理ループ1回ごとに再形成され、図示するように閉じた多角形となり、対象物の輪郭線とほぼ一致する。これにより対象物を抽出することが可能となる。

3.2 対象物抽出方法

生物的画像抽出方法では、以下の2種類の判別法により対象物の抽出を行う。

○ **色による対象物抽出**: 前述したように各 VF は、色を判別する機能を有している。この機能を果たす部分を色判別部と呼ぶ。VF は、すべて同じ色判別部をもち、あらかじめ記憶した特定の色集合とその他の色を判別す

Fig. 4 Colony formation by attracted VFs

Fig. 5 Color discrimination part

る。記憶する色集合は複数の色が混在してもかまわない。

色判別部では、図5に示すように、まず前処理として色変換を行い、0～255の整数値をとるRGB信号からHue（色相）、Sat（飽和度）、Y（輝度）信号に変換した後、メモリマップ（後述、3.3）を参照して判別を行う。輝度Yはカラーテレビ放送用の標準表色系として知られるYIQ表色系のY信号を用いる。

このように、まず各VF個体は記憶した色情報をもとに対象物（餌）であるか否かを判断し（個別判断）、前述の行動規範により、対象物でない場合には餌を探すように画面上を飛び回り、対象物を見付けた場合には他の対象物を見付けたVFとともにコロニーを形成する。

○形状による対象物抽出：コロニーを形成するVF同士の距離を計算し、最も距離の離れた2つのVFを探索する。その2つのVFを結ぶベクトルの方向に ξ 軸を取り、そのベクトルの大きさを1とする $\xi-\eta$ 座標系を考え、これをコロニー座標系と呼ぶ（図6）。原点はコロニー座標系において、コロニー内の最左端のVFの ξ 座標を $\xi=0$ 、最上端のVFの η 座標を $\eta=0$ と定める。各VFの接続ベクトルと ξ 軸とのなす角を θ とする。

形状判別部は、各VFの座標をコロニー座標系に変換した後、 ξ, η, θ の3つの値から対象物らしさの値（0～1の値）を図7に示すように、あらかじめ記憶してある情報、つまりメモリマップをもとに決定し、コロニー全体の出力の平均値によって対象物であるか否かを判別する（集団的判断）。

このようにして対象物（餌）であると判断した場合には、そのコロニーを形成しているVF集団は他のVFに対して対象物の場所を知らせ、ついにはすべてのVFが対象物の輪郭上に集まる。また、個別判断によって一時的に対象物であると判断したVFも、集団的判断により形状が対象物と異なった場合には、他の対象物らしきものを探して画面上を飛び回る。つまり、VFは個体意識よりも集団意識を重視する傾向をもつ。

3.3 メモリマップ

色判別部と形状判別部では、あらかじめ色や形状を記憶し、実行時には記憶した内容を参照する処理が必要となる。そのような処理を実現する方法として、最も単純で高速処理が可能なメモリマップ方式を採用した。メモリマップ方式とは、コンピュータのメモリ上に入力数と同じだけの次元をもつメモリ空間を作り、入力値とメモ

Fig. 6 Colony coordinates (ξ, η)

Fig. 7 Pattern discrimination part

リ内の値とを対応付ける方式である。色判別部では Hue, Sat, Y, 形状判別部では ξ, η, θ の組み合わせに対応する対象物らしさの程度を 0～1 の値で表し、メモリマップに記憶する。値が大きいくほど対象物である確率が高い。

各メモリマップにおける対象物らしさは、次のように求める。まず、対象物画像を取り込み、対象物上のある点での Hue, Sat, Y の組み合わせにおける対象物の度合いを1増やし、数十回試行を繰り返した後、最大値で割り、正規化することによって色に対する対象物らしさを求める。次に、同じ対象物画像を用いて、色情報のみによる対象物抽出を行い、そのときの ξ, η, θ の組み合わせにおいて色情報と同様の過程により、形状に対する対象物らしさを求める。

4. 生物的画像抽出法の実験的検証

生物的画像抽出法の能力を検証するために、いくつかの実験を行なう。実験装置として、Pentium 120MHz CPU搭載のパソコンを使用し、CCDカメラにはCCDカラービデオカメラML-310を、画像処理ボードにはカラービデオ信号デジタイジング&スーパーインポーズボードSuper CVIを用いた。さらに、すべての実験で画素数を320×200、VFの数を32とした。

4.1 静的対象物の抽出

対象物がカメラに対して静止している場合について、対象物の抽出を行った実験結果を示す。

○異色同形状の対象物がある場合： CCDカメラの前に色の異なる4枚の紙を固定して実験を行った。CCDカメラより取り込んだ画像データを図8(a)に示す。左上

が黄色、右上が緑色、左下が青色、右下が赤色の正方形の紙で大きさはすべて一辺 75 [mm] で、カメラとの距離は 1000 [mm] である。対象物として赤色の正方形を記憶させて実験を行った。

図 8(b) ~ (d) に処理過程を示すが、CCD カメラで取り込まれた画像の中の対象物を目指して、画面内に散らばった VF が集まってくる。0.27 秒後には対象物の境界近くに 5 個の VF が集まり、次第にその数を増やして、0.67 秒後には対象物である右下の正方形の境界にすべての VF が集まり、異色同形状のものが存在する中で抽出に成功していることが分かる。これは、パソコンレベルの画像処理では十分に高速であると言える。

○ 同色異形状の対象物がある場合 : CCD カメラの前に形の異なる紙を固定し、色に関する実験と同様に実験を行った。CCD カメラより取り込まれる画像データを図 9 (a) に示す。図中の三角形、正方形ともに色は赤である。対象物として、正方形だけを記憶させて実験を行った。その際の処理過程を図 9 (b) および (c) に示す。最初は両方の物体でコロニーを形成しているが、0.8 秒後には正方形にだけ VF が集まり、形状の異なるものが存在しても抽出できることが分かる。

○ 同色同形状の対象物が 2 個ある場合 : CCD カメラの前に赤色の正方形の紙を 2 枚固定し、上の 2 つの実験と同様の実験を行った。画像データを図 10 (a) に、処理過程を (b)、(c) に示す。図示するように、VF が 2 個の物体のいずれにも集まり、約 2 秒後には 2 つのコロニーを形成する様子が分かる。さらに、2 つの正方形の向きは異なっているが、同じ形状として認識されており、対象物の方向には影響されないことも分かる。

4.2 動的对象物の抽出

本手法は画像データを取り込んでから対象物の座標を出力するまでの時間が短いので、対象物が移動している場合にも速度が大きくなければ追跡できる。以下に、動く対象物に対する追跡能力を調べた。

○ 対象物が画面の水平方向に移動する場合 : 一辺 75 [mm] の赤い正方形の紙を壁面に固定し、壁から 1000[mm] 離れて平行に、カメラを移動ロボット上に固定して移動させた。移動速度に若干のばらつきが見られたため、車輪に取り付けられたエンコーダの値とコンピュータに内蔵されたタイマーの値から速度を計算し、等速区間における平均値をもってカメラの移動速度とした。レンズの向きは壁に平行で、カメラの移動方向は壁に向かって右方向とした。カメラの移動速度を 0.04[m/s] として実験を行ったときの実験結果を図 11 (a) ~ (c) に、出力された対象物の x 座標の時間的変化を (d) に示す。

同図の処理過程結果より、対象物が画面上で移動している場合でも抽出できることが分かる。カメラが対象物に対して平行に移動するため、画面上での対象物の x 座

Fig. 8 Test of color detection

(a)Original image, (b) ~ (d) Experimental result

標の時間変化はある傾きの直線、つまり等速直線運動となることが期待されるが、図示するように、多少の振動はあるもののほぼ等速直線運動を示している。これにより、対象物の追跡に成功していることが確認できる。対象物の速度が大きい場合には、形状の判別はできていな

Fig. 9 Test of pattern discrimination
(a) : Original image, (b)&(c) : Experimental results.

ものの、VF はつねに対象物を追跡してはいるので、大まかな位置は検出できる。一時的に速い速度で移動しても、その後速度が遅くなれば、すぐに形状判別を行うことができる。

○ 対象物がカメラに近付く場合 : 接近速度を $1.06[\text{m/s}]$ として実験を行った。対象物にカメラが近付いていくため、対象物の見掛けの大きさは変化し、対象物の y 座標は一定値となることが予想される。処理過程を図 12 (a) ~ (c) に、対象物の y 座標の時間的变化を (d) に示す。移動中にコロニーがうまく形成されていないため、 y 座標が振動しているところもあるが、全体として良好な結果が得られた。対象物からカメラが遠ざかる場合にも、同様に良好な結果が得られた。

4.3 実環境における対象物の抽出

IS ロボットは通常のオフィスビル内を作業環境としているので、環境にはロボット導入のために手を加えることはしない。そのため、視覚センサによる認識においても環境に既存するものの特徴量を抽出しなければならない

Fig. 10 Extraction of two objects of same color and shape
(a) : Original image, (b)&(c) : Experimental results.

い。前述の実験において、背景に対して特徴的な色および形状をもつ対象物を抽出することによって、本手法の基本的能力を検証し、その有効性を示した。ここでは、エレベータ操作のための操作パネルの抽出実験によって、実環境における対象物抽出能力の評価を行う。

本実験では、図 13 (a) に示す実環境画像からエレベータ操作パネル内の階数表示領域を抽出する。操作パネルは銀色、階数表示領域は黒、背景の壁は白である。実験結果を図 13 (b) と (c) に示す。図示するように、1.17 秒後には対象物の輪郭線上にほとんどの VF が集まり、対象物を抽出できている。つまり、前述の理想環境での実験同様に、実環境においても環境に既存の特徴量を十分高速に認識できることが分かる。

5. 生物的画像抽出法を用いた ハンドアイシステム

本画像抽出法によりパソコンレベルでの高速な画像処理が可能となった。これにより、低コスト化を目指す IS

(a)

(b)

(c)

(d)

Fig. 11 Tracking of a moving object
(Moving speed = 0.04 m/s)
(a)~(c) Experimental results,
(d) Change of object position

(a)

(b)

(c)

(d)

Fig. 12 Tracking of an approaching object
(Approaching speed = 1.06 m/s)
(a)~(c) Experimental results,
(d) Change of object position

ロボットにおいても、実時間で対象物を認識しながらマニピュレータを用いて各種作業を行う、つまりハンドアイシステムを構築することができる。

しかし、画像情報はノイズを多く含み、不確実性が高い。図 11, 12 に示すように、移動物体を追跡中には出力の変動が大きくなり、不連続となる可能性がある。モー

Fig. 13 Extraction of an elevator control panel
(a) : Original image, (b)&(c) : Experimental results.

タの制御法として PID 制御を用いる場合、その指令値は時間に関して連続な関数であることが望まれる。なぜなら、指令値との差が大きいとモータのトルクが不必要に大きくなり危険を伴うためである。

ここでは、計算量が少ない PID 制御を用いることを前提として、PID 制御器への無理のない指令値を算出するサーボシステムを提案し、生物的画像抽出法を用いたハンドアイシステムを構築する。

5.1 不連続目標値のためのサーボシステム

本手法は、サーボシステムへの入力をそのまま PID 制御器への指令値とはせずこれを目標値と考え、その目標値とある時刻 t での指令値から Δt 秒後の無理のない指令値を決定するものである。

目標角度を θ_{goal} 、現在の指令値を θ_{ref}^N として、以下のように δ を定義する。ただし、 δ_{max} は定数とする。

$$\delta = \begin{cases} \theta_{goal} - \theta_{ref}^N & (|\theta_{goal} - \theta_{ref}^N| < \delta_{max}) \\ -\delta_{max} & (\theta_{goal} - \theta_{ref}^N < -\delta_{max}) \\ \delta_{max} & (\theta_{goal} - \theta_{ref}^N > \delta_{max}) \end{cases} \quad (1)$$

Δt 秒後の指令値 θ_{ref}^{N+1} を以下の式より求める。

$$\frac{d^3\theta_{ref}^{N+1}}{dt^3} = K\delta - C_1\frac{d^2\theta_{ref}^N}{dt^2} - C_2\frac{d\theta_{ref}^N}{dt} \quad (2)$$

ここで、各項の定数を $K = 10860$, $C_1 = 200$, $C_2 = 3000$ とし、初期角度を $0[\text{rad}]$ 、目標角度 θ_{goal} を 0.5 秒まで $\pi/6[\text{rad}]$ 、その後 $-\pi/6[\text{rad}]$ とした場合に、指令値 θ_{ref} の計算結果を図 14 に示す。図示するように、途中で目標値が急激に変化しても指令値は滑らかに変化しており、本手法を用いることで、画像抽出出力のように不連続かつ不安定な値を入力としてモータの制御を行う際に、安全性を向上できることを確かめた。

5.2 ハンドアイシステムによる対象物とロボット間の距離測定

IS ロボットは 5 自由度マニピュレータ上に CCD カメラを搭載しているため、前述のサーボシステムと生物的画像抽出法を用いたハンドアイシステムによって、容易に対象物追跡を行うことができる。対象物追跡とは、対象物をつねにカメラの視野中央にとらえるようにカメラを動かすことを言う。

ここでは、本手法による対象物追跡を利用して単眼立体視を行い、対象物までの距離を測定する手法を提案する。測定方法は、マニピュレータを動かす、その上に搭載した CCD カメラの位置を変えて三角測量を用いる方法を採用。カメラの位置が移動してもつねに注目する対象物を視野の中心に保つために生物的画像抽出法を用い、ある 2 点でのマニピュレータ関節角から距離を計算する。本手法の概要を図 15 に示す。図において、アームの第 2 関節角を θ_{2a} から θ_{2b} に変化させ、生物的画像抽出法を用いて対象物が画面の中央にとらえるように第 3 関節角を調整する。カメラの視線の交点から対象物の距離を求める。第 3 関節角が θ_{3a} から θ_{3b} に変化したとすると、

Fig. 14 Calculated results of reference value θ_{ref}

Fig. 15 Concept of measuring distance

カメラの視線と x 軸のなす角 ϕ_a, ϕ_b は次のようになる。

$$\phi_a = \theta_{2a} + \theta_{3a} - \pi/2 \quad (3)$$

$$\phi_b = \theta_{2b} + \theta_{3b} - \pi/2 \quad (4)$$

図中の h, l は、以下のように与えられる。

$$h = L_2(\cos \theta_{2a} - \cos \theta_{2b}) + H_c(\cos \phi_a - \cos \phi_b) \quad (5)$$

$$l = L_2(\sin \theta_{2b} - \sin \theta_{2a}) + H_c(\sin \phi_b - \sin \phi_a) \quad (6)$$

これより距離 d は以下のように求められる。

$$d = \frac{h - l \tan \phi_b}{\tan \phi_a - \tan \phi_b} \quad (7)$$

これより第1関節基底から対象物までの距離 x は次式で与えられる。

$$x = L_2 \sin \theta_{2b} + H_c \sin \phi_a + d \quad (8)$$

5.3 対象物との距離測定実験

対象物には一辺 75[mm] の赤い正方形の紙を用い、ロボットの第1関節から 1000[mm] 離れた位置に固定する。実験は以下の手順に従って行う。なお、マニピュレータの制御には前述したサーボシステムを用いる。

- (1) 第3関節を $\pi/2$ [rad] 回転させ、生物的画像抽出法を起動する。
- (2) 生物的画像抽出法から出力される対象物の y 座標が画面の中心座標になるように第3関節を調節する。
- (3) 第3関節の角度 θ_{3a} を記録する。
- (4) 第2関節の角度を $\pi/4$ [rad] だけ回転させながら、(2)と同様の作業を行う。
- (5) 第3関節の角度 θ_{3b} を記録する。
- (6) 式(8)より対象物までの距離を算出する。ここで、 $\theta_{2a} = 0$ [rad], $\theta_{2b} = \pi/4$ [rad] とする。

表2に実験結果を示す。誤差は最大7%となり、超音波センサのような測距用のセンサと比較すると誤差が大きい、そのようなセンサが使用できないような状況下で、それほど精度の必要ない場合には有効である。例えば、人間が手に持ったものをロボットが取りに行く場合などに、対象物までの距離を測定するために利用できる。

Table 2 Experimental results of measuring distance

No.	distance[mm]	results[mm]	error[mm]
1	1000	990	10
2	1000	950	50
3	1000	970	30
4	1000	950	50
5	1000	930	70

6. 結論

実用的ロボットの実時間での環境認識のために、新しい原理に基づく生物的画像抽出法を提案し、理想環境および実環境での対象物抽出実験を行なうとともに、これをハンドアイシステムに利用して距離測定を行なった。

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 従来の画像処理法にはない、昆虫(ハエ)の本能的な行動に倣った原理に基づく新しい画像処理法として生物的画像抽出法を提案した。
- (2) 注目する対象物の色や形状をあらかじめ記憶しておくことで、カメラで取得された画像の中から対象物の輪郭だけを検出することができる。
- (3) 本手法では対象物の見掛けの大きさや方向に関わらず認識が可能であり、複数個の対象物でもほぼ実時間での画像抽出が可能となった。
- (4) 移動する物体の画像をパソコンレベルでリアルタイムで処理できる。本手法を用いたハンドアイシステムによる対象物とロボット間の距離測定において良好な結果を得ることができた。
- (5) 以上により、本研究で提案した生物的画像抽出法は、実用的ロボットの実時間環境認識のみならず、移動物体のトラッキングや距離測定などにも有効に利用でき、応用範囲が広い。

参考文献

- 1) 山藤, 他, サービス用知能移動ロボットの開発研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'92講演論文集 No.920-33, Vol.B, 269-270 (1992).
- 2) 田中, 他, サービス用知能移動ロボットの研究開発(第1報), 日本機械学会論文集, Vol.63, No.605C, 211-218 (1997).
- 3) 田中, 他, サービス用知能移動ロボットの研究開発(第2報), 日本機械学会論文集, Vol.64, No.628C, 172-179 (1998).
- 4) 大井, 他, ハエの行動にならった生物的画像抽出法とロボットマニピュレータを用いた距離測定への応用, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97講演論文集 No.97-22, Vol.B, 1083-1086 (1997).