

触覚をもつ多関節指による 物体の形状認識

塚本 幸雄* 山本 健司*

*岡山理科大学電子工学科

(昭和62年 9月30日 受理)

1. まえがき

ロボットは視覚情報処理を可能とする環境に、常に依存するとは限らず、また、触覚情報により物体と指との相対距離、接触による物体の形状認識により制御を行うことが有益である場合が多い。本論文で提案する方法は触覚センサーとして加圧導伝性ゴムを用いて、閾値変化法による加圧導伝性ゴムの圧力分布によって形状認識を行う。このとき、何度か物体をハンドリングして、その間の相対的位置関係、曲率、振率および第2微分形式の曲面に関する情報処理により物体の形状認識を行う。

現在試作したロボット・ハンドでは、その機構、接触圧変化の読み取り誤差等によって、完全なる物体のパターン認識は非常に困難である。このため、この誤りを避けるためにホロンの概念を導入して、素情報にホロビジョン回路を導入することにより、より確実なパターン認識を行わせようとしたものである。

2. システムの構成

多関節指としては総数3本で8自由度をもち、さらに多関節に28~32ビットの接触情報を取り出せるように設計している。その構成図を図1に示す。

ここで、親指に相当するものを第1指とし、各部の関節部をA, B, ..., Iと名づけ、これらの各関節での要素A(i, j), B(i, j), ..., I(i, j)等のように細胞分割する。

ここで用いた触覚センサーとしては、加圧導伝性ゴムを利用している。このゴムの特性としては、

- (1) 加える圧力に応じて絶縁状態から導通状態へと変化するとき、その抵抗値が漸次減少する。その特性を図2に示す。
- (2) 加圧部分が点状態の場合は、その点でのみ導通し、無加圧部分は絶縁状態が保持さ

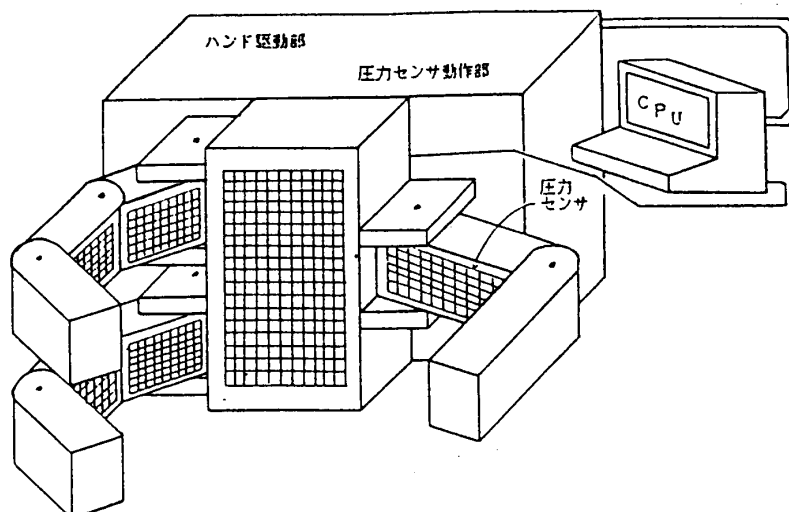


図1 システムの構成

Fig.1 Structure of the gripper system

れる。

等が挙げられる。図2は厚さ1 mm程度の加圧導伝性ゴムシートを3層に重ね合わせたときの、加圧力と抵抗値の関係をグラフにプロットしたものである。各点は各加圧力に対する抵抗値の測定値、実線（滑らかな曲線）は最小二乗法により求めた曲線である。しかし、接触面が点でなく面の場合にはその周辺が相互干渉を受ける欠点をもつ。このため接触データの読み取り誤差を生じることになる。そこでこの誤差を軽減させるために、単位感覚領域を決め、アルミ箔を用いて相互干渉を除去する。図3にこれら触覚センサの構成を示す。

加圧導伝性ゴムの両面に格子状に配列した電極を並べ表・裏の電極が交叉した単位感

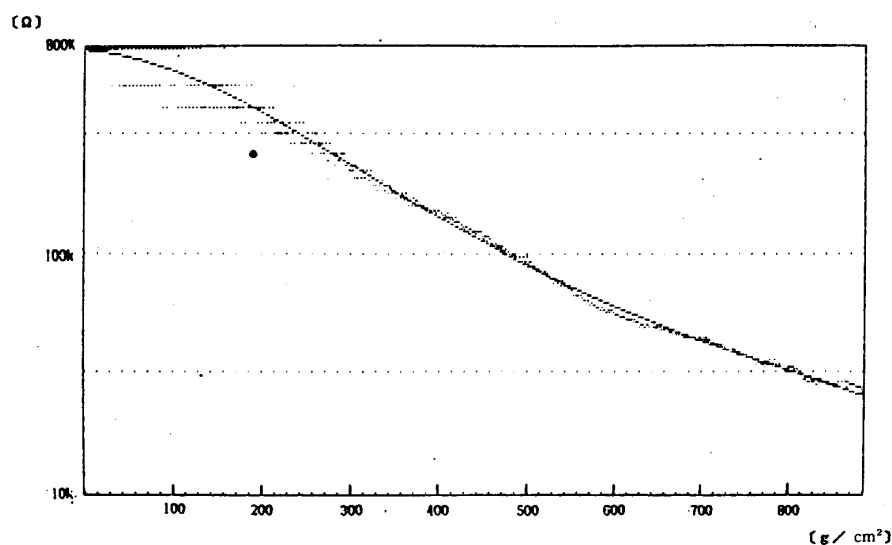


図2 圧力と抵抗の特性

Fig.2 Characteristic of pressure and resistance

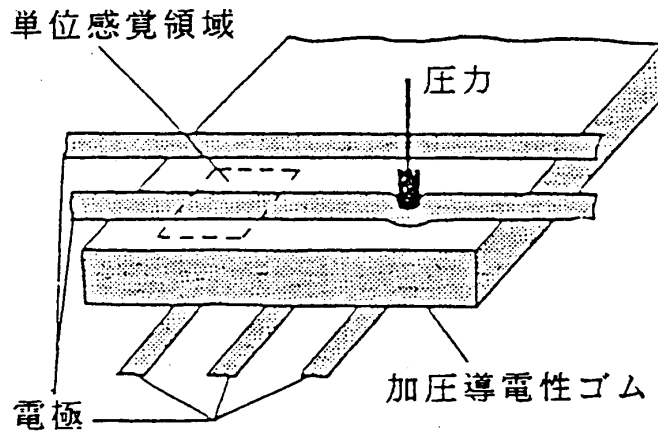


図3 感覚センサの構成

Fig.3 Structure of tactile sensor

覚領域を1つの触覚センサに相当させ、総計376個の触覚センサを使用している。

このような触覚センサを用いて、物体との接触情報を取り入れる。これは三次元的な情報であり、物体の表面座標として取り扱うことが可能である。このことを図4に示す。このような加圧導伝性ゴムをセンサとして利用すれば、閾値変化法によって曲面の形状をある程度把握することができる⁽¹⁾。我々は、計測データにより閾値を変化させて、計測面上で三次元データとして処理を行っている。しかし、ここでは、このことについては触れないことにする。一般的な物体の形状認識については、数回の握り換えによる局所情報より物体全体の大域的形状を把握する必要がある。これらについては微分幾何学的

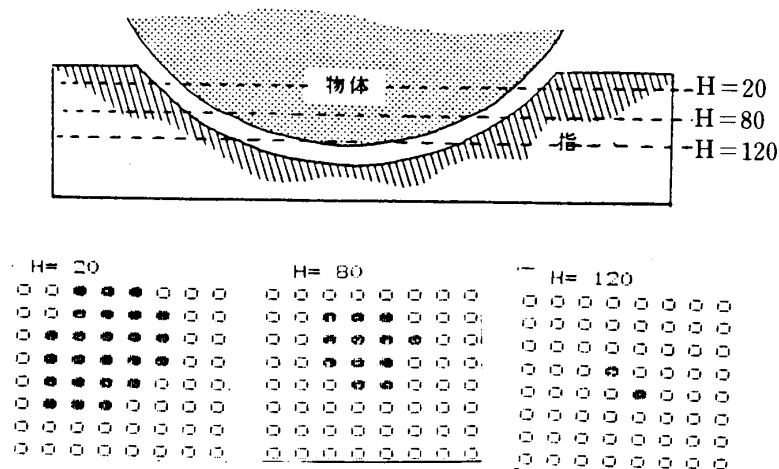


図4 接触センサとパターンの例

Fig.4 Example of the pattern and the tactile sensor

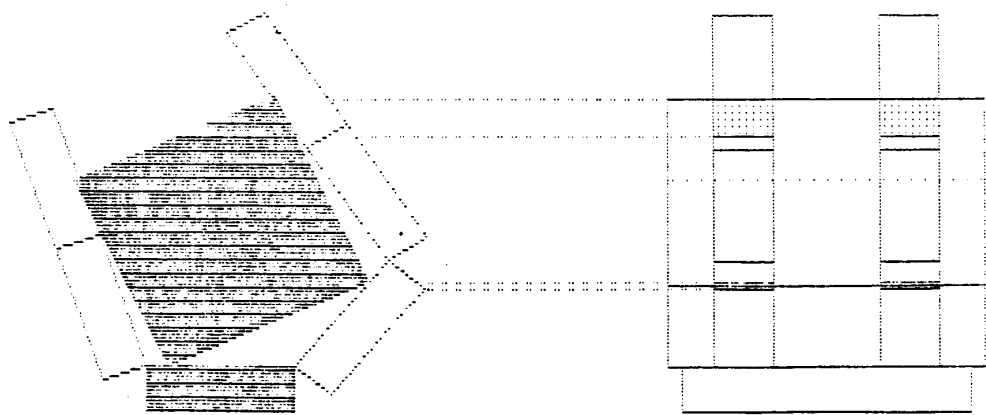


図5 物体の把握例

Fig.5 Example of grasping an object

な考察が必要である。ここでは、その一部として曲率に着目し、計測データにより、その計算を行った。このため、まず物体の表面座標を求める。この表面座標というのは、ロボットハンドの作業座標系での物体と触覚センサとの接触位置のことを意味する。この表面座標は、各指の回転角、触覚センサの取り付け位置および物体の局部的形状である接触データにより計算することができる。実際にハンドが物体を把握している様子を図5に示す。この座標点を物体の握り換えなどにより入手し、この点の集合を物体の表面の方程式として取り扱い、微分幾何的な処理を数値計算で行う。しかしながら、この座標点の集合だけでは、連続な関数として計算できない。そこでこの座標点の隙間を補間することにより、連続な関数とみなす。

このようにして得られた座標点を

$$\mathbb{X}(s) = \mathbb{X}(x_1(s), x_2(s), x_3(s))$$

として表わす。ここで媒介変数 S は弧長とする。

曲率とは、弧の長さに比べて曲線の接線の向きの変化が大きいほど曲線の曲がり方が大きい訳であるから、曲線の曲がり方を示す量と定義する。すなわち曲率は、曲線の二次微分の大きさに等しく、

$$\text{曲率} : K = \left| \frac{d^2 \mathbb{X}(s)}{ds^2} \right|$$

となる。

この曲率は、四角柱のような角点が生ずる場合には、重要な情報となり、形状認識を可能とする。図5は、四角柱を実際にロボットハンドに把握させ、得られた計測データを処理した結果である。この結果を見てわかるように、曲率の値が突然変化している点

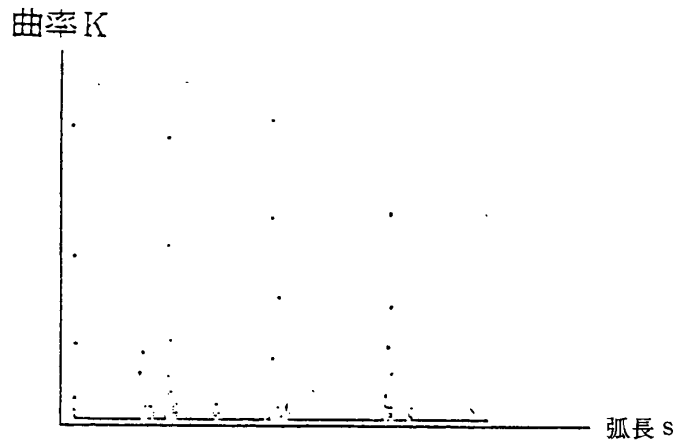


図 6 曲率の計算値 (四角柱)

Fig.6 Calculation value of carvetur

が4箇所認められる。この4箇所が、四角柱の4つの角点であることがわかる。このような性質を形状の認識に利用している。

3. ホロニック回路とその応用

すでに述べたように物体との接触情報には、かなり読取り誤差を生ずる。このため、本説ではこれらを素情報としてホロビジョンを用いてデータの改善を行う^{(3),(4)}。

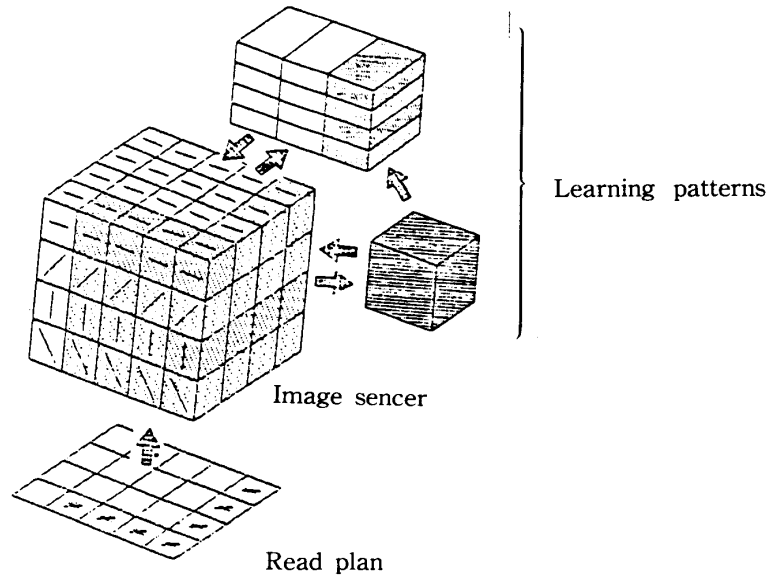


図 7 ホロンの構成

Fig.7 Construction of holovision

まず、ホロビジョンの概念として図7に示すように、ホロビジョンには3つの主要部分が考えられている (i)素情報格納面, (ii)線のイメージが生成される部分, (iii)パ

ターンの意味記憶から成り立っている。ここでは、ホロンのシステムとして触覚センサ、ホロン素子及び排他素子とから構成する。触覚センサから得られた接触情報は、ホロン素子の各層に伝送される。ホロン素子は、4層から成り、それぞれの、接触情報の、横、縦、右斜め、及び左斜めの繋がり状態を、調べる機能をもつ。

即ち、触覚センサの各点における触覚情報から、各点で他の点との情報の繋がりかたを調べ、より鮮明な接触パターンを得ることになる。ところで、ホロン素子では、各点で4方向ごとに点の繋がりを見て、よりつながりの大きな層が最も強められることになる。次に、ホロン素子内で得られた情報は、排他素子へと処理を移し、各点でどの層が最も強調されているかを見て強調されている層を、その点での方向とし採用する。

現在、使用している触覚センサでは各点で空間情報をも把握できるが、とりあえず奥行の空間情報を考えずに接触している点を1、接触なしの場合を0と2ビットで考察する。この場合、読み取り誤差によって情報を落とすことが多い。このため、自律的、自己組織能力を用いて、より正確な接触情報を得ることを考える。点で0、1の情報が真に存在するかは明確でないが、ここでは、得られた計測点の周りの様子を調べて修正を行い、より鮮明な接触パターンが得られた。具体的に用いた回路では、点の両側に1の情報があれば0情報を1と判定した。

これは今後よりよい規準評価で判定すべき問題と考える。

4. 計測データの検討

図8-A、B球及び円柱に対する計測データであり、上図がR平面に取り入れられた素情報、中間の図は素情報を直接ホロン素子に入力して処理した結果であり、下図は、触覚センサの読み取り誤りを自己修正して改良した処理結果である。球の場合、指先に1点、パターンの誤認があるが、この点はパターンの他の3点と繋がりが薄いためであり、下図の改良型ホロン素子では修正されて出現しなくなる。また、四角柱の場合の指先きや手の平には平パターンの欠落したところが見られる。この場合も、その点にデータがなくても、両側にデータが入力されれば、その3点は繋がりが強いと判断し、修正された処理が行われる。このように、パターンの欠落や誤認を他のパターンと繋がりという意味から本来得られるはずの接触パターンを自己組織化することが可能である。

最後に、このように自己組織化したパターンより、物体の形状認識を行うために、微分幾何学における第二基本微分形式を利用する。例えば、図8-aのような球面を把握させたときに、手の平に相当する所に渦を巻く様な特徴的なパターンが現れる。このとき、この接触部に新しい座標 x_1, x_2, x_3 を導入し、任意の接触点を $P(x_1, x_2, x_3)$ とする。また、これを x_1-x_2 面に射影した点を $\tilde{P}(x_1, x_2)$ としよう。ここで、 $r = \overline{OP}$ 、 u_1 は

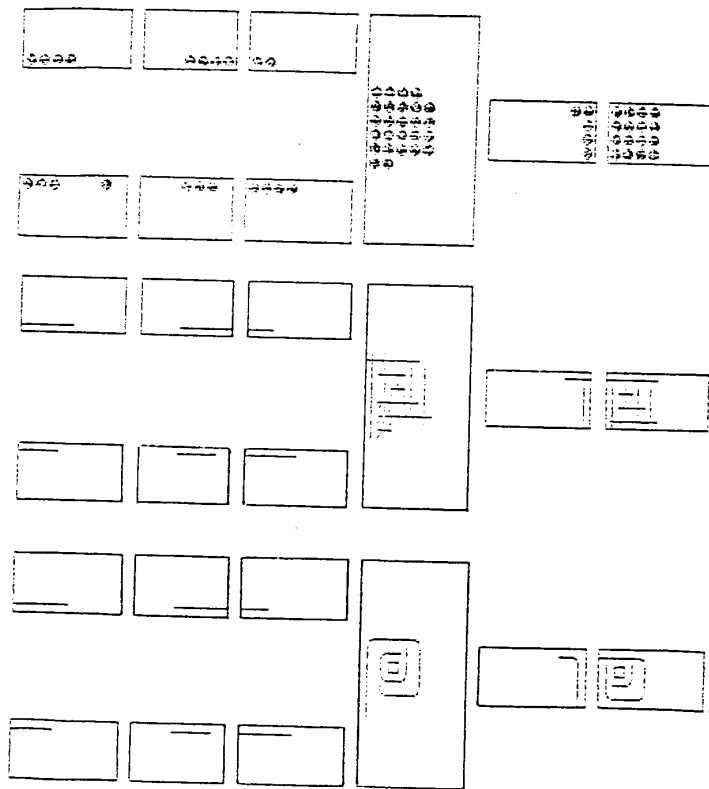


図8-A 計測データ (球)

Fig.8-A Pattern recognition grasping sphere

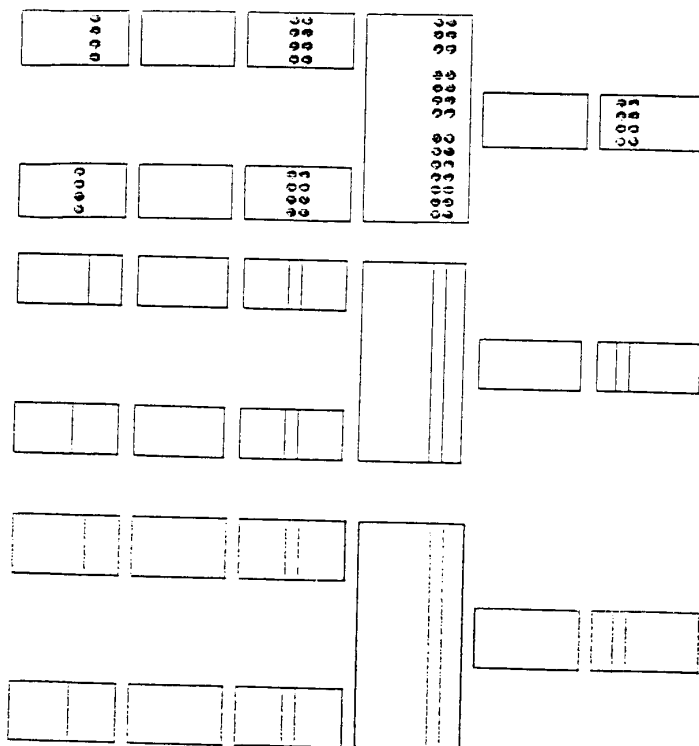


図8-B 計測データ (四角柱)

Fig.8-B Pattern recognition grasping squarely

OP と $O\hat{P}$ とのなす角, 及び u_2 を x_1 軸と $O\hat{P}$ とのなす角とし, x_1, x_2, x_3 を球面座標で表示して第二基本微分形式を求めると,

$$\begin{aligned}\varphi &= \sum_{i,j=1}^2 H_{ij} du_i du_j \\ &= r du_1^2 + \cos^2 u_1 du_2^2\end{aligned}$$

を得る。ここで第二基本微分形式 φ は x_1-x_2 面と球面上の点との距離の $(1/2)$ を示している。この x_1-x_2 面は手の平であり, 球面は把握している物体を示すこととなる。今, φ を適当な値で固定させたときに, u_1 というパラメータを 0 とすれば, この球面上の点が x_1-x_2 面に射影され円となる。射影された曲線により, ホロンより最終的に出力されたパターンと第二基本微分形式とが関係付けられる。他の関節についても同様の処理を行なう。また, 物体の全体像を把握するために, 数回の握り換えを行ないこれらを総合的に判断して物体の形状認識が可能となる。

5. むすび

ホロン素子の導入により, ある程度の精度の改善を見た。現在, 機構の制限により複雑な物体の形状認識は困難であるが, さらにホロン機構の改善, 回路としての記憶ホルンの自己組織化の方法を見出したい。さらに, このような方式に対する, 情報の生成がより最適になっているのかエントロピーの計算を行う必要がある。

終りに, 資料提供をして頂いた横浜ゴム株式会社技術課の方々, 並びに日頃からロボット及びグリッパの製作に協力してくれている, 本研究室のゼミ生に深謝する。

参考文献

- (1) 木下, 岡田徳次: 触覚をもつ多関節のつかみ情報による物体の形状認識, 計測自動制御学会論文集 Vol.10, No.2 pp.228~237
- (2) 塚本, 山本: 触覚をもつ多関節指による物体の形状認識, 第37回電気四学会中国支部連大(前刷) pp.212 (1986)
- (3) 清水, 山口: 知覚における神経興奮の自己組織, 第1回生体・生理工学シンポジウム, pp.162(1986)
- (4) 山田: ホロビジョン実用化検討, 第1回生体・生理工学シンポジウム, pp.166 (1986)
- (5) 塚本, 山本: 自己組織系を用いた把握形状認識, 第2回生体・生理工学シンポジウム, pp.25 (1987)

Pattern Recognition by Grasping an Object with Artificial Fingers

Sachio TSUKAMOTO* and Kenji YAMAMOTO*

**Department of Electronic Engineering*

Okayama University of Science

Ridai-cho 1-1 Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1987)

This paper introduce a new method to recognize three-dimensional patterns by grasping an object with artificial fingers.

An error in reading by the tactile sensor can be corrected by the self organized systems.

These self organized systems are each composed of the Read plane, the Image sensor and the Learning patterns.

The pattern recognition of an object is performed by analyzing the distributed pattern of the sensor in contact.