

# 多層構造の柔軟指を用いた触行動による物体識別

## Object Identification by Haptic Exploration with Multi-layer Soft Fingertip

正 多田 泰徳 (阪大)                      種治 芳尚 (阪大)  
正 細田 耕 (阪大, 阪大 FRC)   正 浅田 稔 (阪大, 阪大 FRC)

Yasunori TADA, Osaka University, tada@er.ams.eng.osaka-u.ac.jp  
Yoshihisa SHUJI, Osaka University  
Koh HOSODA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center  
Minoru ASADA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center

The soft finger which has many tactile receptor is useful to improve the sensing ability of the finger. Our previous work showed that the soft finger can discriminate four objects by comparing the output of three tactile receptors when the finger pushes and rubs the objects. However, the designer has to consider all combination of receptors to select the utilized receptors. This paper proposes a method for discriminating the objects by statistical data operation. Experimental results demonstrate that the finger can discriminate the objects by the proposed method.

**Key Words:** soft finger, tactile sensor, material discrimination, distributed receptors

### 1 はじめに

従来の多くのロボットハンドは硬い素材で作られ、物体を掴んだり操ったりするような、力覚センサで把持力を検出することで実行可能なタスクを行っている [1]。また、一様に並べた触覚センサを用いて、接触部位や接触力を計測するというも行われている [2]。しかし、対象物体のテクスチャや、滑りといった細かな接触状態を検出することは難しかった。

一方、柔軟な素材で作ったロボットハンドの研究が最近盛んに行われている。山田ら [3] は人間の皮膚構造を模した触覚センサで滑りを検出できることを報告している。また、村上、長谷川 [4] は爪をつけた柔軟指でエッジを検出している。しかし、対象物体の表面状態を検出できるような触覚センサは少ない。著者らの先行研究 [5] では、2層構造の柔軟指にランダムに埋められた2種類の触覚素子の出力を組み合わせることで、物体を識別可能なことを示した。しかし、識別に用いる触覚素子を決定するのに、全てのセンサ出力の組み合わせを設計者が考慮する必要があった。そこで本研究ではセンサ出力を統計的手法で処理することで、全触覚素子の出力を物体識別に利用できるようにした。

### 2 柔軟指の構造

図 1 に柔軟指の構造を示す。柔軟指は金属棒と、コア層、内部層、外部層という3層のシリコンゴムからなる。そして触覚センサ素子として、 piezo効果により歪の速度に反応する PVDF (polyvinylidene fluoride) フィルムと静的な歪を計測する歪ゲージが各層の様々な位置、方向に埋められている。この構造のため、設計者がセンサ素子の出力を接触力の大きさのような意味のある情報に変換することは非常に難しい。なお、著者らの先行研究より層を増やしたのは、触覚素子の埋められる深さに偏りが生じないよ

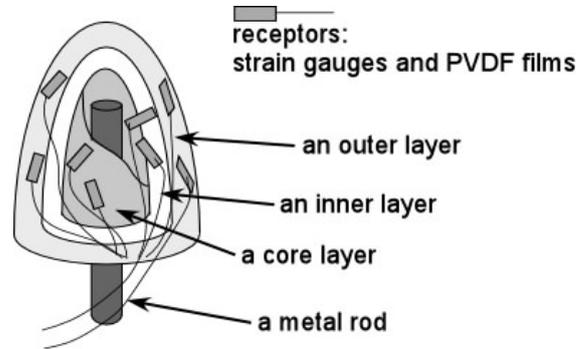


Fig.1 A cross sectional view of the soft fingertip

うにするためである。図 2 は作成した柔軟指で、直径は 25[mm]、長さは 45[mm] である。この柔軟指のコア層に 2枚ずつ、内部層に 4枚ずつ、外部層に 6枚ずつの歪ゲージと PVDF フィルムが埋められており、合計で 24枚のセンサ素子を持つ。

センサ素子が異なる位置、方向に埋められていることで、同種のセンサ素子であっても、ある接触状態に対し、それぞれが異なる応答を示すようになると期待できる。例えば、柔軟指の表面近くにある歪ゲージは、柔軟指と物体間の局所的な静的歪を計測するが、内部層の深い位置にある歪ゲージは柔軟指全体にかかる力を計測する。また、PVDF フィルムは歪の速度に反応し、静的な歪は計測できないという特性があり、さらに PVDF フィルム間のシリコンゴムにより振動が減衰することから、同じ振動に対して異なる信号を出力する。このようにそれぞれのセンサ素子が異なる応答をするために柔軟指のセンシング能力が高くなることを期待できる。

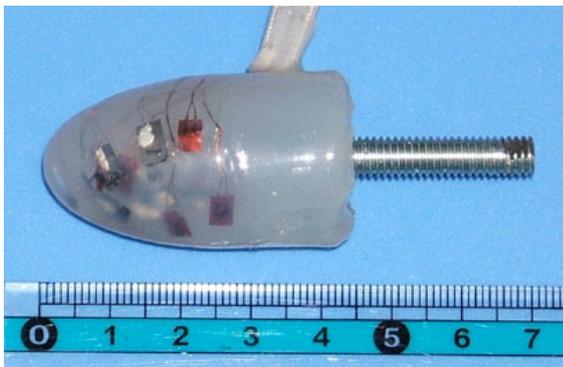


Fig.2 A developed soft fingertip

### 3 物体識別実験

#### 3.1 線形判別法

本研究で用いる柔軟指は 24 枚の触覚素子を持っており、物体識別に有効な触覚素子を選択するために、設計者がそれらのセンサデータの全組み合わせを評価することは非常に手間がかかる。そこでフィッシャーの線形判別法 [6] を用いることで全触覚素子を物体識別に利用可能にする。

フィッシャーの線形判別法は、特徴空間上の 2 クラスのパターンの分布からこの 2 クラスを識別するのに最適な 1 次元軸を求める手法で、式 (1) で表される判別の評価値  $J_s$  を最も大きくするような 1 次元への変換を行なうものである。この評価値はクラス間変動とクラス内変動の比であり、この値が大きいほど、クラス間の距離が離れており、判別が容易になると考えられる。

$$J_s = \frac{(\tilde{m}_1 - \tilde{m}_2)^2}{\tilde{\sigma}_1^2 + \tilde{\sigma}_2^2} \quad (1)$$

ここで  $\tilde{m}, \tilde{\sigma}^2$  は 1 次元への変換後のそれぞれクラス内の平均、分散の値である。

#### 3.2 触覚素子の種類と数による判別率および評価値の変化

作成した柔軟指をロボットハンドに取り付け、これをアクリル、紙、ラバー、ケミカルウッドに一定力で押し付け、擦る動作を各 30 回行った。そして、押し付けているときの歪ゲージの値、擦っているときの PVDF フィルムの値を使って物体を識別する。

PVDF フィルムのみ 12 枚、歪ゲージのみ 12 枚、全ての触覚素子 24 枚を使った場合の判別率と評価値を表 1 に示す。表の 1 行目の a:p, a:r, a:w はアクリルと紙、アクリルとラバー、アクリルとケミカルウッドを示している。後の 3 項も同様である。この表より PVDF フィルムのみ、歪ゲージのみでは完全に判別できない場合もあるが、両方用いることで完全に判別できることがわかる。また、評価値も、1 種類の触覚センサを用いるよりも両方用いたほうが評価値が高く、判別しやすいことがわかる。

次に、物体識別に使用する触覚素子を増やしていったときに、判別率および評価値がどのように変化するかを示す。図 3 は識別に使用する PVDF フィルムを 1 チャンネルから 1 つずつ増やしていったときの、紙とアクリルの判別率と評価値を示している。また図中の棒グラフはそのチャンネルのみ使用した場合の評価値を示している。この図の 3 チャンネルのみの評価値は比較的大きいが、破線で示した

Table 1 Comparing the sensors with  $J_s$

|              |       | a:p  | a:r  | a:w   | p:r  | p:w   | r:w   |
|--------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|
| PVDF film    | ratio | 0.99 | 0.96 | 1.00  | 0.91 | 1.00  | 1.00  |
|              | $J_s$ | 36.2 | 13.5 | 82.8  | 18.0 | 187.7 | 46.9  |
| strain gauge | ratio | 0.99 | 1.00 | 0.98  | 1.00 | 0.99  | 0.98  |
|              | $J_s$ | 13.9 | 21.1 | 12.2  | 15.8 | 24.4  | 15.4  |
| all          | ratio | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
|              | $J_s$ | 55.9 | 55.2 | 134.1 | 83.5 | 265.4 | 111.9 |

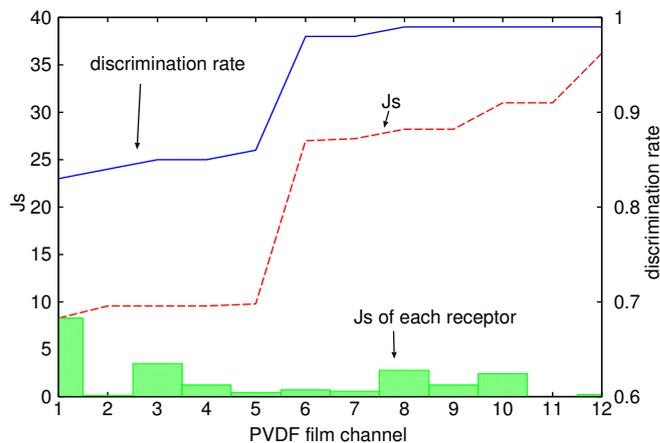


Fig.3 Comparing the number of receptor with  $J_s$

評価値にはほとんど影響を与えていない。逆に 5 チャンネルのみの評価値は小さいのに破線の評価値を大きく増加させている。このことから、物体識別に有効な触覚素子の組み合わせがあることがわかる。

### 4 おわりに

本研究では 3 層構造の柔軟指を物体に押し付け、擦るという動作を行ったときの触覚素子の出力から対象物体をした。物体識別に線形判別法を用いることで、設計者による触覚素子の選択が不要になり、全触覚素子を識別に利用することが可能になった。また、触覚素子には物体識別に有効な組み合わせがあることが分かった。

### 参考文献

- [1] Matsuoka, Hasegawa, and Honda: "A dexterous manipulation system with error detection and recovery by a multi-fingered robotic hand", In Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 1, pp. 418-423, 1999.
- [2] Tajima, Kagami, Inaba, and Inoue: "Development of soft and distributed tactile sensors and the application to a humanoid robot", Advanced Robotics, vol. 16, no. 4, pp. 381-397, 2002.
- [3] 山田, 前野, 山田: "指紋により接触 / 非接触・固着 / 滑り分布を検出する弾性ロボットフィンガの開発", 日本機械学会論文集 C 編, vol. 70, no. 690, pp. 560-566, 2004.
- [4] 村上, 長谷川: "器用な多関節多指ロボットハンドのための柔軟被覆と爪を有する指先", 日本ロボット学会誌, vol. 22, No. 5, pp. 616-624, 2004.
- [5] Tada, Hosoda, and Asada: "Sensing Ability of Anthropomorphic Fingertip with Multi-Modal Sensors", In Proceedings of the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems, pp. 1005-1012, 2004.
- [6] 石井健一郎, 上田修功, 前田栄作, 村瀬洋: "わかりやすいパターン認識", オーム社, 1998.