

分布型触覚センサを持つ人間型柔軟指の触覚能力

多田泰徳 細田耕 浅田稔 (大阪大学大学院知能・機能創成工学専攻)

Sensing Ability of Anthropomorphic Soft Fingertip with Distributed Tactile Sensors

*Yasunori Tada, Koh Hosoda, and Minoru Asada

(Dept. of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University)

Abstract— This paper presents a unique design for tactile sensing: embedding as many receptors as possible randomly in soft material so as to provide different kinds of sensing modalities. Based on this design principle, an anthropomorphic fingertip has been developed. The fingertip consists of two silicon rubber layers of different hardness containing two kinds of receptors, strain gauges and PVDF (polyvinylidene fluoride) films distributed randomly as receptors. The experimental results are shown to demonstrate its sensing ability such as object discrimination.

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

1. はじめに

人間は様々な物体を器用に適応的に操ることができる。ロボットハンドにそのような器用さや適応性を持たせるためにたくさんの研究が行われてきたが、満足のできる能力を持たせることができたとは言えない。この理由として、物体との接触状態を知るために重要な触覚能力が不足していることが考えられる。

ほとんどのロボット指は硬い材料で作られ、ロボット表面だけに取り付けてある触覚レセプタを使って接触状態を観測している。一方、人間は柔軟な指の内部に分布している数種類の触覚受容器を利用して物体との接触状態を敏感に知覚している。ロボット指を柔軟な材料で作る、内部の様々な位置に触覚レセプタを配置すれば、それらの情報を組み合わせることで、ロボット指表面に触覚レセプタを取りつけたものよりも、より有用な情報を得ることが期待できる。

いくつかの研究では柔軟な材料に触覚レセプタを埋め込み、滑りや摩擦係数といった有用な情報を獲得している [1]~[3]。篠田ら [4] は柔軟な材料にランダムに分布させた触覚レセプタについて議論しているが、彼らの研究では一つの触覚レセプタの特性についてのみ研究しており、複数の触覚レセプタの位置と得られた信号の関係について言及していない。

本研究では、分布型触覚レセプタを持つ人間型柔軟指のユニークな設計を提案し、作成した柔軟指の触覚能力を実験で示す。ここで人間型とは2つの意味がある。一つは柔軟指の構造を人間に似せてあるという点、もう一つは人間が行うように、滑りや物体のテクスチャといった意味のある情報を、ロボット自身の経験を通して触覚レセプタの出力から学習で獲得する必要があるということである。

2. 人間型柔軟指の構造

Fig.1に人間型柔軟指の構造を示す。柔軟指は人間の指のように、骨の役割を果たす金属棒と、皮下組織となる内部層、皮膚となる外部層からなる。これらの層は

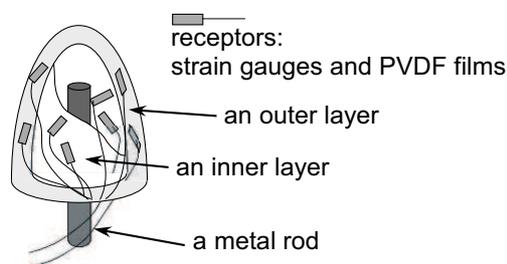


Fig.1 A cross sectional view of the developed anthropomorphic fingertip

シリコンゴムで作られており、また外部層に使っているシリコンゴムは内部層よりも少し硬くしてある。触覚レセプタとして歪ゲージとピエゾ効果を持つPVDFフィルムを内部層、外部層それぞれにランダムな位置、方向に埋めてある。この構造のため、設計者が触覚レセプタの出力を意味のある情報にキャリブレーションすることは非常に難しい。したがって、ロボットは人間が行うのと同じように、環境とインタラクションしながら、触覚レセプタの出力を滑りや物体表面のテクスチャといった意味のある情報に結び付けるための学習をしなくてはならない。なお、本研究で作成した柔軟指には内部層、外部層それぞれに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枚の触覚レセプタを持つ。

3. 物体の識別実験

柔軟指の触覚能力を調べるために、柔軟指を3自由度ロボット指に取り付け、木材(2種類)、紙、コルク、ビニルに押し付けたり、擦ったときの触覚レセプタの信号からこれらの物体の識別を試みる。

3.1 押し付けによる物体識別

[3]の文献では柔軟な触覚センサを物体に接触させたときに発生する歪の違いにより、物体の摩擦係数を推

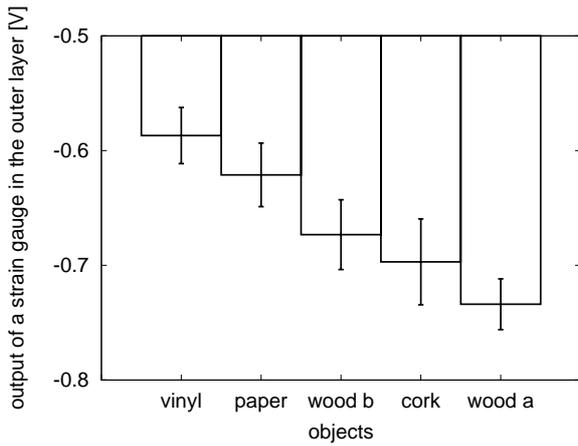


Fig.2 Results of pushing experiments

定できることを報告している．この報告に基づき，作成した柔軟指を物体に押し付けたときの，物体識別能力を試す実験を行った．

押し付け力を一定にするため，内部層に埋められた，ある歪ゲージの出力が0.1[V]になるようにフィードバック制御を行った．そして，先に示した5つの物体に対して，柔軟指を押し付ける実験をそれぞれ50回行った．Fig.2に外部層に埋められたある歪ゲージの出力の平均と標準偏差を示す．この結果では標準偏差に重なりが生じており，物体を識別することは難しい．

3.2 擦りによる物体識別

次に，物体を擦ったときのPVDFフィルムの出力から物体の識別を試みる．この実験において，柔軟指の押し付け力は制御せず，あらかじめ決めた軌道に沿ってロボット指を位置制御することで擦り動作を実現している．この実験を5つの物体に対してそれぞれ50回行った．Fig.3に内部層と外部層に埋められた2枚のPVDFフィルムの標準偏差の分布図を示す．

図中の記号は各物体を示し，楕円は各物体の標準偏差の分布の分散楕円を示す．この図より，分散楕円は紙と木材aを除いて重なりが生じていない．よって，2つの触覚レセプタの出力を組み合わせることでコルク，ビニル，木材bと紙または木材aの4種類の物体を識別することができる．ここで注意すべき点は，外部層または内部層の1枚の触覚レセプタだけでは2種類の物体しか識別できないということである．このことから，異なる層に埋められた2つの触覚レセプタによって，1つの触覚レセプタよりも物体についての多くの情報を得られることがわかる．

3.3 押し付けと擦りを組み合わせた物体識別

前節の実験のように物体を擦るという動作を行うには，当然，押し付けという動作も行うことになる．したがって，柔軟指を物体に押し付けたときと，擦ったときの両方の情報を使って物体識別することが考えられる．Fig.4は一定力で押し付けたときの内部層のある歪ゲージの出力を垂直軸に，擦ったときの内部層および外部層のPVDFフィルムの出力の標準偏差を水平軸にプロットした図である．この図より，5つの物体を識別できることが示された．

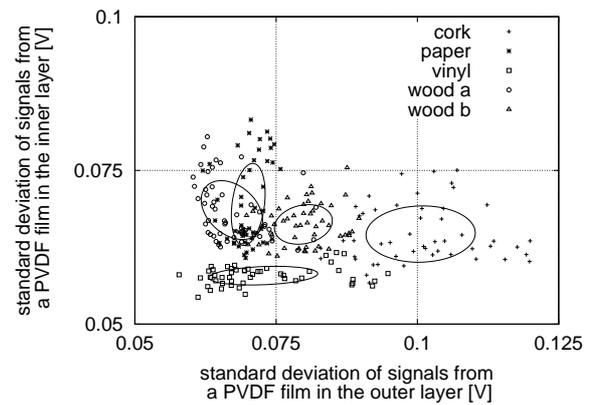


Fig.3 Results of rubbing experiments

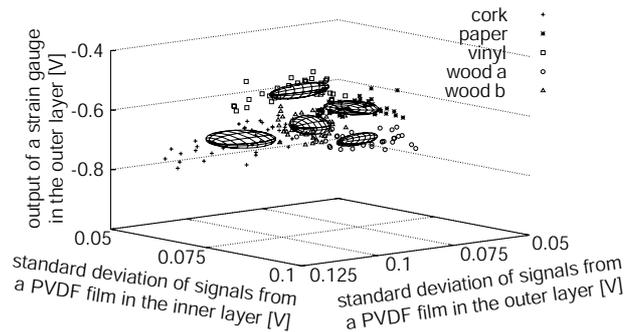


Fig.4 Results of pushing and rubbing experiments

4. おわりに

本論文では人間型柔軟指の新しい設計を提案した．柔軟指の触覚能力を示すため，柔軟指をコルク，紙，ビニル，2種類の木材に対し押し付けと擦る実験を行い，複数の触覚レセプタの出力からこれらの物体を識別できることを示した．

ここでは触覚レセプタ出力を物体ごとに分類したが，ロボットが様々な物体に対してタスクを行う場合，物体ごとに分類するのではなく，そのタスクを行うのに適した分類方法をロボットが自律的に獲得すべきである．これは今後の課題である．

参考文献

- [1] D. Yamada, T. Maeno and Y. Yamada: "Artificial finger skin having ridges and distributed tactile sensors used for grasp force control", Proc. of the 2001 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.686-691, 2001.
- [2] Y. Yamada, T. Maeno, I. Fujimoto, T. Morizono and Y. Umetani: "Identification of incipient slip phenomena based on the circuit output signals of PVDF film strips embedded in artificial finger ridges", Proc. of the SICE Annual Conference 2002, pp.3272-3277, 2002.
- [3] K. Nakamura and H. Shinoda: "A tactile sensor instantaneously evaluating friction coefficients", Proc. of TRANSDUCERS '01, pp.1430-1433, 2001.
- [4] M. Hakozaiki, K. Nakamura and H. Shinoda: "Telemetric artificial skin for soft robot", Proc. of TRANSDUCERS '99, pp.844-847, 1999.