

意図的触覚センシングシステム

東京大学工学部 ○黒川 朋也 阪口 豊 中野 馨

Intentional Haptic Sensing System

Faculty of Engineering, University of Tokyo ○T. Kurokawa, Y. Sakaguchi, and K. Nakano

Abstract: In order to investigate the mechanism of intentional perception, the authors constructed intentional haptic sensing system which has 5 sensor units and recognizes materials not only by unifying sensing informations from the sensors but also by choosing sensor intentionally and iteratively. In this article, the authors describe the experimental results of this system and discuss intentional perception and learning.

1 はじめに

人間は単一の感覚受容器からの情報だけでなく複数の感覚受容器からの情報を組み合わせることによって対象の認識を行なっている。また、その場その場により、認識のためにどのような観測を行えば一番良いかを学習によって身につけていると思われる。

一例として、触覚について考えてみると、受容器の密度が最も高いは指先でさえ、その数は百数十個/cm²程度であるにもかかわらず¹⁾、我々は対象を触ってみて驚くほど細かい点まで認識できる。これは、人間の受容器が高密度高性能ではないが、種々の受容器がそれぞれ得た情報を融合することによって対象の様々な側面を認識できること、また対象を識別するにあたって必要な情報を意図的に入手しているためであると思われる。

本研究では、触覚を題材としてとりあげ、人間の触覚を参考にして実際に種々のセンサユニットを作成し、それらの情報を融合して材質感を認識する触覚センシングシステムを構成した。さらにこのシステムを情報量基準に基づき意図的に動作させ、実際に認識を行なわせた。その結果、識別率、効率が向上することが分かったので、ここに報告する。

2 意図的触覚センシングシステムの構成

本実験では5種類の触覚センサを用いて材質感を認識する意図的触覚センシングシステム (Fig.1) を構成した²⁾。以下、実際に作成したセンサについて説明する。

(1) 温度センサ

人間の温冷覚を考慮したセンサ。シリコンゴムで人工皮膚を作り、その中にサーミスタを三層に埋め込んだものである。最深部をヒータで一定温度に保ちながら、人工皮膚を対象物に触れさせたとき、サーミスタ電圧がどのように変化するかを計測する。

(2) 圧覚センサ

人間の圧覚を考慮した触覚センサ。圧力センサとポテンショメータを用いて、対象を押しつける強さと対象の変形の関係を得る。

(3) すべり覚センサ (加速度センサ)

人間のすべり覚を考慮したセンサ。可動部分をもった棒

を対象に接触させて一方向に動かし、進行方向、上下方向とこの二つに垂直な方向の棒の振動を加速度センサを用いて計測するものである。

(4) すべり覚センサ (マイク)

(3) と同じくすべり覚を考慮したセンサであるが、エレクトレットコンデンサマイクを対象物に接触させてすべらせ、その振動をマイクで拾うというものである。

(5) 共振型センサ

圧電素子を構成部品として発振回路を作り、圧電素子を対象物に接触させたときの発振周波数の変化を計測する³⁾。

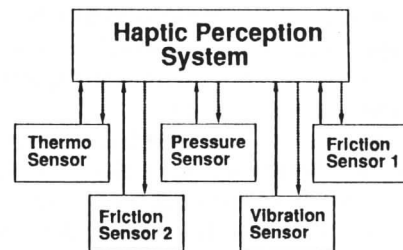


Fig. 1 System Architecture

3 意図的認識のアルゴリズム

識別すべき対象の集合を「モデル空間」と呼ぶことにすると、意図的認識とは、「複数の観測の中からモデル空間の曖昧さを最も少なくすることを期待できる観測を順次選択し、その情報をもとに認識を行っていくこと」であると考えられる⁴⁾。つまり、識別に一番貢献しそうな観測を順次選択していくのである。そこで、本システムでは、曖昧さの尺度としてエントロピーを用いることにした。

以下、本システムに用いた意図的認識のアルゴリズムについて述べる。まず必要な言葉と記号を定義しておく。

ある観測 x を行った場合、得られるパターンベクトルを y とする。モデル空間の要素数、つまり対象の数を M 個とし、対象 m が出現する確率を $\pi(m)$ 、観測 x を行ったとき特徴 y を観測する確率を $p(y)$ 、対象 m が与えられたとき、特徴 y が発生する確率を $p(y|m)$ 、また n 回観測を行ったとき、つまり観測値の列 y_1, y_2, \dots, y_n が与えられたとき対

象が m である条件付き確率を $\pi(m|y_n)$, その次に y_{n+1} を観測する確率を $p(y_{n+1})$ とする。ここで $p(y|m), \pi(m)$ の確率分布は事前の観測によりわかっているものとする。

いま観測 x_n を行なったとき、観測値 y_n を得たと仮定する。この時モデル空間のエントロピーの減少量、すなわち観測 x_n によってモデル空間が得た情報量 $I(y_n; x_n)$ は、

$$\begin{aligned} I(y_n; x_n) &= H_{n-1} - H_n(y_n; x_n) \\ &= \sum_{m=1}^M \pi(m|y_n) \log \pi(m|y_n) - \pi(m|y_{n-1}) \log \pi(m|y_{n-1}) \end{aligned}$$

と表される。

観測値 y_n は、実際に観測してみなければいかなる値をとるかわからない。そこで、 $I(y_n; x_n)$ を y_n について平均をとり、観測 x_n によって得られる平均情報量を計算する。

$$\begin{aligned} I(x_n) &= \sum_{y_n \in S_{y_n}} p(y_n) I(y_n; x_n) \\ &= \sum_{y_n \in S_{y_n}} \sum_{m=1}^M \pi(m|y_{n-1}) p(y_n|m) \\ &\quad \log \frac{p(y_n|m)}{\sum_{m'=1}^M p(y_n|m') \pi(m'|y_{n-1})} \end{aligned}$$

この値(観測空間とモデル空間の相互情報量)が最大になるような観測を行えば、モデル空間の曖昧さは、最も小さく考えられる。そこで、 n 回目の観測は I_n が最大となるような観測 x_n を行うことにする。

実際に観測 x_n を行なった結果観測値 y_n が得られたら、対象が m である事後確率 $\pi(m|y_n)$ を Bayes の定理に基づき計算し、これを用いてモデル空間のエントロピー H_n を計算する。そして、この値がある一定値 θ よりも小さくなったら、モデル空間の曖昧さは十分小さくなったとしてそのとき $\pi(m|y_n)$ が最大のモデルをもって認識結果とする。 H_n が θ よりも大きければ、上記のプロセスを繰り返す。

複数のセンサからの情報をすべて融合すれば、情報量が増えるため、識別率が上がるのは当然であるが、これをすべて処理することは効率が悪く、問題が複雑になるにつれて現実には不可能になってくる。そのためセンサを選んで識別を行うことになるが、このときに無作為に観測するのではなく、なるべく大きな情報量をもたらすようなセンサを選択する(意図的観測)のである。これにより、無駄な情報が入らない分だけ、識別率、効率が上がると考えられる。

4 実験

上記のアルゴリズムのもとに、今回製作した意図的触覚センシングシステムによって材質感を認識させた結果を示す。ここで材質としてはアルミニウム、アクリル樹脂、木

材、コルク、ゴム、発泡スチロールの6種類を用意し、大きさ、厚さをいろいろ変えて実験を行なった。

比較のために、センサを順次ランダムに選んで観測を行った場合と、意図的観測を行った場合とで識別率、及び識別までに観測した回数を実験により調べた。対象物の大きさが分かっている場合の結果を Table 1 に、対象物の大きさが分かっている場合の結果を Table 2 に示す。大きさを揃えた対象の場合と、大きさが揃っていない場合とで識別率が大きく異なるのは、個々のセンサ情報の中に、大きさ、厚さに依存する情報が含まれているからである。

Table 1 Experimental Result 1

Sensing Strategy	Recognition Accuracy(%)	Sensing Frequency
Intentional	99	1.8
Random	89	2.7

Table 2 Experimental Result 2

Sensing Strategy	Recognition Accuracy(%)	Sensing Frequency
Intentional	92	3.0
Random	68	3.7

5 おわりに

本研究では、感覚情報処理におけるセンサ情報の融合、及び意図的認識のメカニズムを解明するために、実際に多種のセンサからの情報をもとに意図的認識を行うシステムを構成した。実験の結果、モデル空間の曖昧さを最も小さくすることが期待できるセンサからの情報を選択的に集めることにより識別率も効率も上昇することが分かった。

今後、解決すべき課題として、概念形成の問題があげられる。実験結果からもわかるように、それぞれのセンサから得られた情報の中には、大きさに依存する情報とそうでないものがある。このようにそれぞれの属性は、必ずしも独立しているわけではなく、相互に依存関係のあるものもある。この関係を自分自身で学習するシステムをどのように作っていくかが今後の課題である。

参考文献

- [1] 岩村. ヒト触覚受容器の構造と特性. 日本ロボット学会誌, Vol. 2, No. 5, pp. 54-60, Oct. 1984.
- [2] 黒川. 能動的触覚センシングの研究. 東京大学工学部卒業論文, Feb. 1992.
- [3] 尾股, 尾崎. 硬さ知覚用触覚センサとその応用. 第7回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 573-574, Nov. 1989.
- [4] 阪口, 中野. 能動的認識の数理モデル. 第6回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 373-376, Dec. 1991.