

28 多指ハンド制御のための空間分解能が可変な分布触覚センサとその決定方法

中本裕之

1 目的

これまで多様な作業を可能とすることを目的として、多くの多指ハンドが開発されてきた。特に人間の手の代替となるような多指ハンドを実現するためには、単に把持力や剛性、精度などを追及した多指ハンドを開発するだけでは不十分であり、把持対象の情報を得るための触覚センサを備えることが必要である。このことから、これまで指や掌面に触覚センサを持った多指ハンドが複数開発されてきているが、触覚の分布情報を物体の操作に有効に活用した研究はほとんどなされていない。

一方、人間は触覚を有した手を使って巧妙に様々な作業を行うことができる。主に皮膚に加わった機械的変形を基に脳による高度な処理を経て、形状やテクスチャなどの触覚情報を認識している。これまで産学官連携の研究開発において、5本指のロボットハンド（以下、ユニバーサルロボットハンド）を開発し、操作中の対象物の形状を分布型触覚センサの出力に基づいて識別する研究を進めてきた¹⁾。この研究から、対象物の情報を詳細に得るためには分布型触覚センサの出力の適切な処理が重要であることが明らかとなっており、触覚情報をフィードバックすることで多指ハンドの実用性が高まると期待できる。しかしながら、多指ハンドに対する触覚フィードバックの研究は上述のように十分でない。特に多数の計測点をもつ触覚センサは走査に時間を要し、多指ハンドの制御周期に対して触覚フィードバックが遅れるという問題がある。これは、高密度化が進む触覚センサに共通の問題である。回路の高速化を図っても全点の走査に必要な時間を短くするための根本的な解決とはならず、目的に応じて空間分解能を変えて触覚フィードバックを行う方法を確立することが重要である。

そこで本研究では、先に述べた背景および研究動向を踏まえ、空間分解能の可変な分布型触覚センサの開発と、多指ハンドの運動や姿勢に基づく計測領域の決定方法の確立を目指す。

2 空間分解能可変可能な分布型触覚センサ

触覚センサの検出部を図1に示す。物体と接触する面からウレタンゲル、感圧導電性ゴム、電極シートの単純な3層構造である。ウレタンゲルはアスカーC硬度15であり厚さが2mmである。感圧導電性ゴムはイナバゴム（株）社製の中感度を用いた。電極シートの計測点は、指正面が $1.8 \times 1.8\text{mm}$ 、指先が $2.6 \times 1.8\text{mm}$ 、側

面が $1.8 \times 2.6\text{mm}$ の大きさであり、各計測点には感圧導電性ゴムの抵抗値を計測する2つの電極（印加電極と引込電極）を配置した。各部で計測点の大きさが異なっているのは、指先や側面は主に接触の有無を取得する、指正面は主に圧力分布を詳細に取得するというように目的が異なるためである。電極シートはこれら計測点を整列させて構成しており、指先リンクが204点、その下のリンクが64点、根元のリンクが256点の計測点数となる。この電極シート上では、2つの電極をマトリクス状に配置した。

次に触覚センサを実装した指を図2に示す。透明のウレタンゲルを用いたため、指の各リンクの感圧導電性ゴム（黒色の部分）が透けて見えている。電極シートは指の側面から背に回り込み、そこからハンドの手首辺りまで配線される設計とした。

触覚センサの駆動回路を図3に示す。この駆動回路は印加電極と引込電極がそれぞれ16本ずつ、最大で256点の計測点数に対応できる。さらに、この256点に対して個別の計測点の選択あるいは複数の計測点を1点とみなした計測領域の選択とその計測結果の取得が可能である。この駆動回路の制御は、アットマークテクノ社のFPGA搭載ボードSUZAKU-S(SZ130-U00)とADボード(SID00-U00)で行う。1つの検出部に対して駆動回路やFPGA搭載ボード、ADボードが1つずつ必要となるが、複雑なロジックであっても高速な処理が期待できること、FPGA上で動作するuClinuxによってLAN経由で計測結果を上位に送信できること、分散処理が容易などの特長がある。

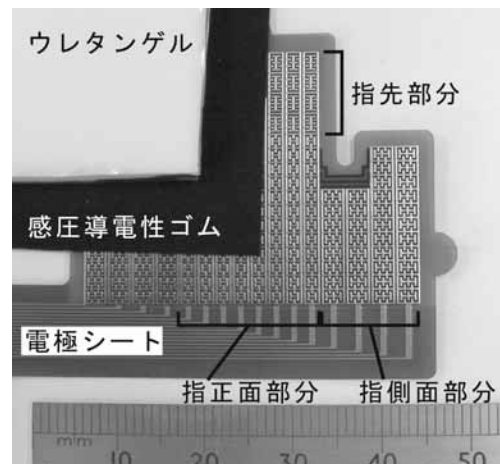


図1 触覚センサの検出部

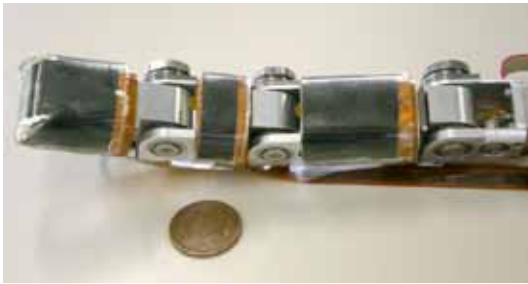


図2 触覚センサを適用したロボットフィンガ

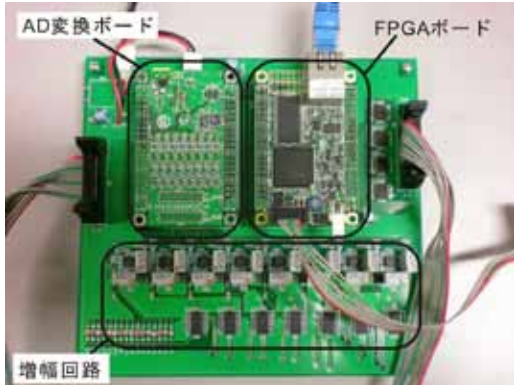


図3 触覚センサの駆動回路

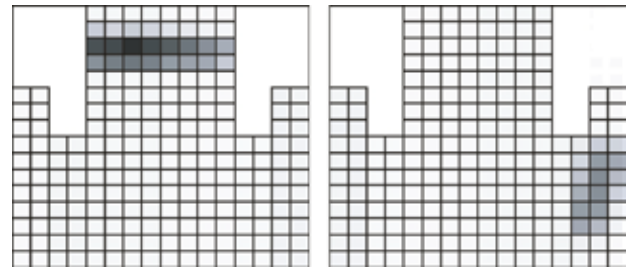
3 実験

3.1 動作確認

触覚センサの動作確認のため実験を行った。指先で20×20mmの面積の押しボタンを押下した場合と直径約10mmのペンを把持させた場合の中指の指先の圧力分布を図4に示す。各図の格子で表示しているのが1つの計測点を示し、黒色に近づくほど圧力値が高い。押しボタンを押下した場合の分布をみると、広い範囲で圧力分布が検出されており、面積の大きな接触ができていることが分かる。さらには力の加わり方が左右で異なる、ここでは図4に向かって左側の圧力値が高いことも分かる。これらの結果は押しボタンを押下するようなアプリケーションにおいて、十分な面積で接触ができているか、左右均等の力が加えられているかの認識が可能であることを示唆している。また、ペンを持たせた場合の分布では、ペンの方向を見てとることができる。ロボットハンドが道具を使用する場合に持ち方の認識に応用できると考えられる。

3.2 計測領域の動的決定

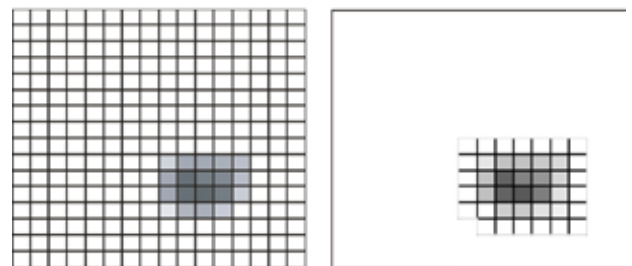
ロボットハンドで対象物を把持したとき、触覚センサと対象物が全体的に接触し面積の大きな圧力分布を取得することは少なく、部分的に接触し面積の小さな圧力分布となる場合が多い。この場合、触覚センサ全体を走査する必要がなく、接触状態に応じて計測領域を動的に変化すること（以下、動的計測）が有効である。そこで、次に示すような動的計測のアルゴリズムを実装した。



押しボタンの場合 ペンの場合
図4 圧力分布の様子

- a) 全計測点の出力が、あるしきい値よりも小さい場合は全点計測を行う。しきい値よりも大きな出力の計測点を検出した場合、b)に進む、そうでない場合 a)を繰り返す。
- b) その計測点の8近傍を探索し、同様の計測点があればさらに8近傍探索を繰り返す。
- c) すべての探索が終われば計測領域対象の圧力分布として出力し、d)に進む。
- d) 探索した結果、しきい値よりも大きな出力の計測点がなければ a)の全点計測に戻る、あれば e)に進む。
- e) 前回に探索した計測点を初期探索点として b)に進む。

このアルゴリズムを256点の計測点のある触覚センサで実行した場合の結果を図5に示す。動的計測は41点のみの走査となっているが、全点計測とほぼ同じ領域の計測ができ、計測時間が約1/6となることを確認した。



全点計測の結果 動的計測の結果

図5 全点計測と動的計測の場合に得られた圧力分布

4 結論

ユニバーサルロボットハンド用分布型触覚センサのための空間分解能を変えられる駆動回路を開発した。今後は作業に応じて圧力分布を分散的に取得する用途に活用し、能動的な計測を実現する制御モデルを構築する。

参考文献

- 1) 中本ほか, “連続 DP を用いたユニバーサルロボットハンドによる回転操作中物体の外周形状識別”, 日本機械学会論文集(C), Vol.74, No.746, pp.2521-2527, 2008.

(文責 中本裕之)

(校閲 三浦久典)