

機関番号：84510

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009年 ~ 2010年

課題番号：21700217

研究課題名 (和文)

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

研究課題名 (英文)

Spatial resolution-variable tactile sensor and its decision for control of multi-fingered hand

研究代表者

中本 裕之 (NAKAMOTO HIROYUKI)

兵庫県立工業技術センター・情報技術部・主任研究員

研究者番号：30470256

研究成果の概要 (和文)：

空間分解能の可変な分布型触覚センサを開発した。この触覚センサは256点の計測点をもつが、各計測点を個別に計測することや全体を1つの計測点として計測することを可能とした。このことから、個別の計測が不要な場合、全体を1回計測するのみで十分となり高速な計測が可能となった。開発した触覚センサを多指ハンドに適用し、ドアの開閉動作をアプリケーションとして、その有効性を検証した。その結果、触覚フィードバックにより安定した開閉動作が可能なが確認できた。

研究成果の概要 (英文)：

We have developed a distributed tactile sensor which can change its spatial resolution. The sensor has 256 measurement units. The sensing circuit can change lines for applied voltages, and the sensor can measure each or whole of all units. Then, in case of the whole or multiple measurements, the sensor can shorten the sensing cycle. We applied the sensor to multi-fingered robotic hand, and used the robotic hand for a work of opening door. Therefore, we confirmed that it is effective for the work to use the tactile information.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム、触覚センサ

1. 研究開始当初の背景

多様な作業を可能とすることを目的として、数多くの多指ハンドの研究開発例がある。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。指や掌面に触覚センサを持った多指ハンドの研究において、触覚センサを能動的に利用して対象物の特徴量を取得する研究が進められてきている。

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。研究代表者が参画する研究グループでも、5本指の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。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」の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になされていないのが現状である。特に多数の計測点をもつ触覚センサに関しては、すべての計測点の走査に時間を要し、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、例えば MEMS 技術で製作されているような分布型触覚センサには共通の問題であるが、この解決方法に関しては十分に議論が進んでいない。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。

2. 研究の目的

多指ハンドに対して適切な時間で触覚フィードバックを実現するため、タスクに応じて分布型触覚センサの空間分解能と計測周期を動的に変えられるシステムの実現を目的とする。多指ハンドに装着した感圧導電性ゴムの抵抗値変化を計測原理とする多数の計測点を有した分布型触覚センサに対して、空間分解能を可変とする計測制御回路を製作する。タスクやハンドの姿勢、把持状態などから空間分解能を決定し、その計測結果から接触位置や接触面積、接触の強さを認識、多指ハンドの制御にフィードバックする。さらに、多指ハンドと分布型触覚センサ間における計測制御に関して、多指ハンドの姿勢や動作目的に応じて分布型触覚センサの計測方法を決定する計測制御モデルを確立する。

3. 研究の方法

(1) 平成21年度においては、分布型触覚センサに対して、任意の1つの計測点を計測することや、隣接する複数の計測点を1つの計測点として扱うことが可能な計測制御回路を開発した。この分布型触覚センサは、感圧導電性ゴムの圧縮変形時の抵抗値変化を計測原理とする。したがって、計測点を並列に接続し隣接する計測点の合成抵抗を計測することが可能であり、その場合においては複数の計測点を1つの計測点として扱うことができる。この機能により、分布型触覚センサのすべての計測点を個別に計測すること、セン

サの計測点を左右2組に分けて2点のセンサとして高速に計測すること、中心の16点を1つの計測点として計測するなど、空間分解能（計測領域）が可変となる。さらに、空間分解能を大きくすることで計測する回数を減じることができ、分布型触覚センサ全体の計測の高速化が可能となる。したがって、この回路を用いることで空間分解能と計測周期に関して、計測の目的に応じて調整ができる。この回路は、SPDT (Single Pole Double Throw) スイッチを利用した回路構成として設計する。ただしその場合、スイッチのON/OFFを決定する入力信号のチャンネルを多く必要とするため、A/D変換ボードやデジタルIOボードを備えたPCではチャンネル数の点で問題となる。また、PC自体の外部接続機器に対する応答の遅れも無視できない。そのため、開発する計測制御回路では、256点の計測点数を分布型触覚センサの1ユニットとし、この1ユニットに関するスイッチの制御と計測をFPGA (Field Programmable Gate Array) を用いて行う。FPGA上で論理回路を設計し設定することによって、マイコンでは困難な高速な論理処理を可能とする。このFPGAを用いて計測制御回路のSPDTスイッチを切り替えることで、分布型触覚センサの空間分解能の切り替えや計測、さらには計測結果のフィルタリングなど1次処理の可能なシステムを製作した。さらに、分布型触覚センサを4関節3自由度の5本の指をもつ多指ロボットハンドに適用することを目的として、その指の面積や形状に適した電極シートを設計し、ポリイミド素材のフレキシブル基板で製作した。この多指ハンドを用いて把持に関する実験を行い、提案する触覚センサシステムの有効性を評価した。

(2) 平成22年度においては、多指ハンドと分布型触覚センサ間における計測制御に関して、多指ハンドの姿勢や動作目的に応じて分布型触覚センサの計測方法を決定する計測制御モデルを提案した。運動指令と運動の状態、触覚の状態に応じて触覚の計測方法を切り替えることで、多指ハンドが対象物に接触する前あるいは、対象物の操作中に触覚センサの計測領域を決定できるシステムを構築し検証を行い、その有用性を評価した。

4. 研究成果

(1) 分布型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、図1の写真に向かって縦×横が

- ・指正面：1.8 × 1.8 mm
- ・指先：2.6 × 1.8 mm

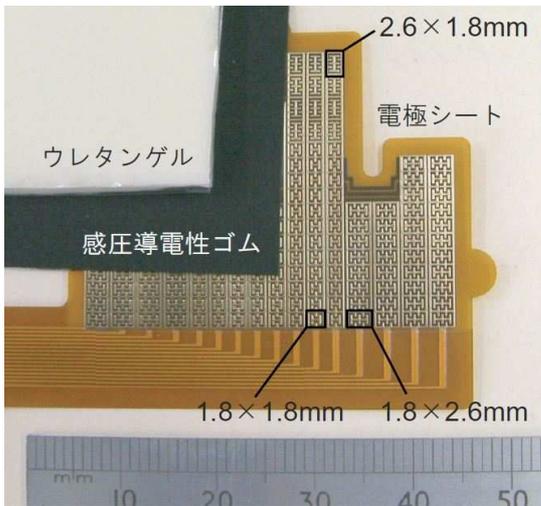


図 1 分布型触覚センサ

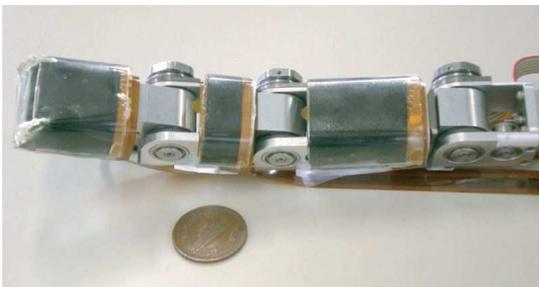


図 2 ロボットフィンガ

・側面：1.8 × 2.6 mm

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るのは、異なる目的に対応させるためである。すなわち、指先や側面は主に接触の有無を取得するため大きな電極にし、指正面は主に圧力分布を詳細に取得するために小さな電極とした。次に触覚センサの実装した指を図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ような設計とした。電極シートはフィンガに直接貼り付け、ウレタンゲルはフィンガの背面においてネジで固定しており、感圧導電性ゴムは上下の2枚のシートに挟むのみで特に接着等はしていない。指の各部の電極シートは、その貼り付け可能な面積に応じた大きさとなっており、各部の計測点数は、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。計測制御回路を図3に示す。図3において、選択回路部がSPDTスイッチに当たり、増幅回路部は感圧導電性ゴムを流れる電流を電圧に変換し増幅する部分となる。その電圧は計測制御回路上のAD変換ボードで計測される。それらの制御と特徴量抽出などの1次処理は同じく計測制御回路上の

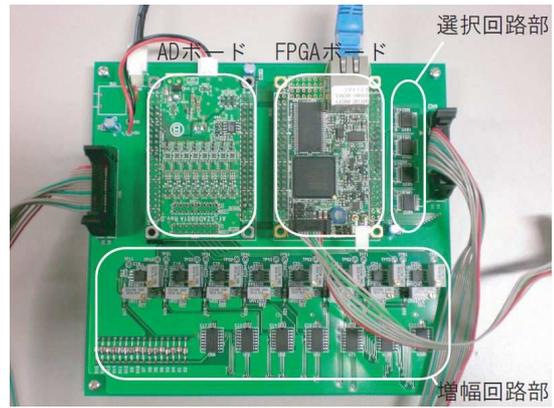


図 3 計測制御回路

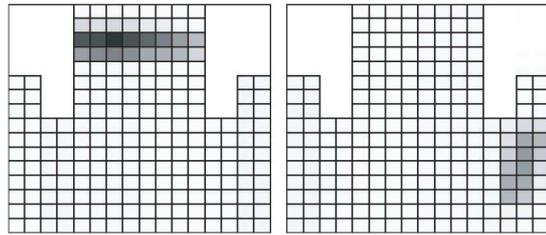


図 4 圧力分布取得例

FPGA ボードで行う。この計測制御回路は、指の各部に対して1台が対応する。計測した分布情報はイーサネット経由で外部のPC等に送信する。

次に分布型触覚センサの動作確認に関する実験結果について述べる。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のペンを持た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っており、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す。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。

多指ハンドで対称物を把持したとき、分布型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を取得するケースが多い。この場合、分布型触覚センサ全体を走査する必要がないことから、接触状態に合わせて計測領域を動的に変化させることが有効である。そこで、次に示すような計測領域を動的に変化するアルゴリズムを実装した。

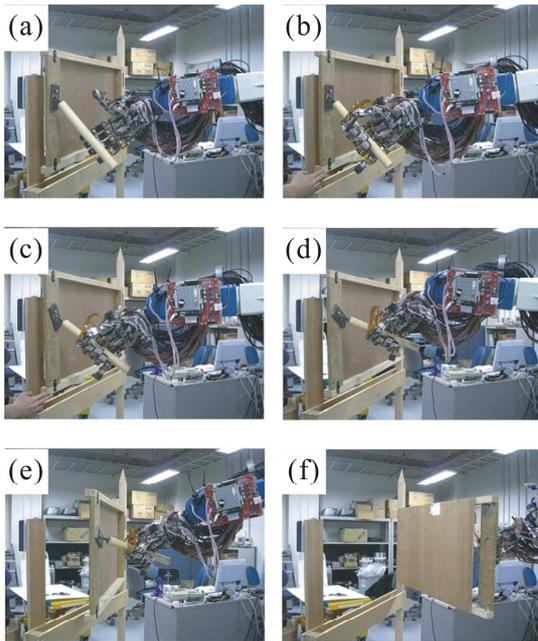
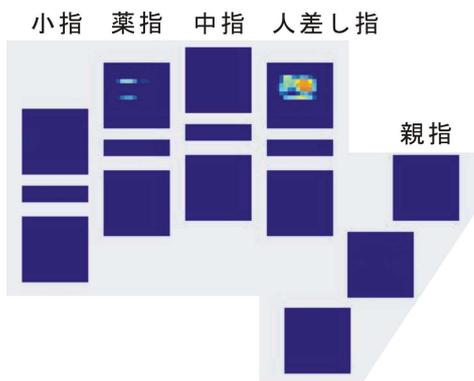
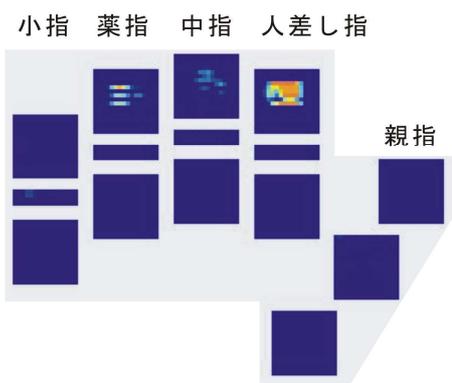


図7 ドアを開ける実験の様子



(a) フィードバック無し



(b) フィードバック有り

図8 タスク完了時の触覚出力

を示す。各動作を順に行うことで、タスクを実行可能なことが確認できた。また、タスクが完了したときの触覚センサの出力を図8に示す。図8において、青色は接触が無い部分

であり、赤色が圧力の高いことを示す。触覚フィードバックが無い場合は全体的に青色が多く、中指に接触が見られないが、触覚フィードバックが有る場合は人差し指と薬指の圧力が強くなり、中指にも圧力が出ていることが分かる。ドアノブを把握した段階の圧力分布と比較すると、フィードバックの有る結果とほぼ一致しており、ドアノブの捻りやドアを開ける際も触覚フィードバックによって、初期の把握状態を維持できた。

本研究では、空間分解能の可変な分布型触覚センサを提案し、その有効性について検証してきた。センサ単体での応答速度の向上については検証できたが、平成22年度に開発したハンド/アームロボットにおいてタスクの実行時間の短縮に対する有効性を数値として得ることはできていない。これは、分布型触覚センサの動作速度がハンド/アームロボットの動作速度と比較して高速なため、タスク全体の時間に対して分布型触覚センサが短縮した時間の割合が小さいことに起因する。しかしながら、これはハンド/アームロボットの制御周期を短くし、高速なロボットに対して応用することで、提案するセンサの有効性を明確にすることが可能である。現在、この高速化を進めており、今後も検証を重ねる予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ①福井航, 小林太, 小島史男, 中本裕之 ほか 4名, トルクリミット機構を有する多指多関節ユニバーサルロボットハンドシステムの開発, 日本AEM学会誌, 査読有り, 採録決定済み.

〔学会発表〕(計4件)

- ①Wataru Fukui, Futoshi Kobayashi, Fumio Kojima, Hiroyuki Nakamoto ほか 4名, Grasping Force Control using Force Sensor and Tactile Sensor for Inspection Support Robot, 16th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, pp.108-110, 2011.
- ②Wataru Fukui, Futoshi Kobayashi, Fumio Kojima, Hiroyuki Nakamoto ほか 4名, Multi-Contact Recognition with Genetic Algorithm for Universal Robot Hand, Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 10th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.1277-1282, 2010.
- ③Hiroyuki Nakamoto, Futoshi Kobayashi, Fumio Kojima, Nobuaki Imamura, Hidenori Shirasawa, Shape Classification Based on Tactile Information by Universal Robot Hand, The 35th Annual Conference of the

IEEE Industrial Electronics Society,
pp. 2380-2385, 2009.

- ④小林太, 福井航, 廣嶋健人, 小島史男, 中本裕之、ほか 4 名, ユニバーサルロボットハンド用分布型触覚センサの開発, 社団法人日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2009, 2A2-A12, 2009.

〔図書〕 (計 1 件)

- ①Hiroyuki Nakamoto, Futoshi Kobayashi, Fumio Kojima, IN-TECH, Robotics 2010:Current and Future Challenges, Shape Classification using Tactile Information in Rotation Manipulation by Universal Robot Hand, pp.123-132, 2010.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

- ①神戸新聞 (8 月 13 日) にて「ロボット新時代」に多指ハンドと触覚センサの紹介記事が掲載された。
②NHK 神戸放送局「ニュース KOBE 発」(2010 年 9 月 8 日) にて、開発した触覚センサを装着した多指ハンドの紹介、デモの生中継を行った。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 裕之 (NAKAMOTO HIROYUKI)
兵庫県立工業技術センター・情報技術部・主任研究員
研究者番号：30470256

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし