

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700169
 研究課題名 (和文) ロボットハンド触覚センサにおける分散知覚と触覚フィードバック制御
 研究課題名 (英文) Distributed Tactile Sensing and Tactile Feedback Control
 for Robot Hand
 研究代表者
 小林 太 (KOBAYASHI FUTOSHI)
 神戸大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：50314042

研究成果の概要：今後の生活支援ロボットや医療・福祉ロボットには、多種類の作業を実行可能なエンドエフェクタとして分布型触覚センサを有するロボットハンドが必要とされている。本研究課題では、ロボットハンドにおける分布型触覚センサのための FPGA を用いた分散知覚計測デバイスの開発を行い、知能化センシング法の開発を行った。また、指腹部で計測・処理した触覚情報を用いたロボットハンドの触覚フィードバック制御法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	0	2,600,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	210,000	3,510,000

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, ロボットハンド, 触覚センサ

1. 研究開始当初の背景

日本におけるロボット産業の市場規模ごとの国際競争力や今後の社会・経済環境の変化を踏まえて、生活支援分野と医療・福祉分野におけるロボット市場の大幅な伸びが期待されており、2025年には6兆円超の大市場になると予測されている。これらの生活支援ロボットや医療・福祉ロボットなどは、人間と同じ空間において協調・共存して作業を行う能力が求められる。しかし、人間の生活空間における作業には、柔軟物体の把持やハンドリングなど多数の複雑作業が含まれ、従来産業用ロボットで用いられてきた作業特化

型のグリップなど、単一機能しか持たないエンドエフェクタでは上記の作業を実現すること困難である。このため、ロボットが単一のエフェクタで多数の複雑作業を行うことのできるマルチエンドエフェクタが求められている。我々に最も身近なマルチエンドエフェクタとして人間の手が挙げられる。人間の手は、物に触れてその性質を理解するセンシングデバイスとしての機能と、物や道具を器用に操作するアクチュエータとしての機能を併せ持つ優れた器官である。

上記の背景の中、現在までに岐阜大学の川崎教授らが開発した人間型ロボットハンド

Gifu Hand、東京大学の石川教授らが開発した高速多指ハンド、ドイツ DLR の DLR Hand を初めとし、国内・国外において多数ロボットハンドの研究開発が行われている。しかし、未だ人間の手と同様の機能を持つロボットハンドは実現に至っていないのが現状である。ロボットハンドに人間のような器用な把持・操りをさせるためには、ハンド機構、各種センサ、センサ情報処理・制御部の3つの要素技術が必要である。この中で、ハンド機構に関してはアクチュエータの小型化・高性能化に伴い、人間の手に近い機構・大きさを持ったロボットハンドが開発されている事から、ある程度の成果が得られたと言える。しかし、人間のような器用な把持・操りをさせるためには、リアルタイムでの触覚情報が必須であるが、現状では、指腹部や掌に分布型触覚センサを持つロボットハンドは少なく、また、触覚フィードバック制御によるロボットハンド制御の研究例も少ない。一方、人間は、指腹部や掌に分布する約 17,000 個の触覚受容器からの多次元情報を上手く融合して、多数の関節の制御に用いることによって把持や操りなどの汎用的作業を行っている。これらのことから、ロボットハンドにとって分布型触覚センサは欠かすことのできないものであり、多次元の触覚情報をいかに短時間で取得し、制御に利用するかが重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、1 で述べた背景および国内外の研究動向を踏まえ、ロボットハンドにおける分布型触覚センサの新たな情報計測技術および触覚フィードバック制御技術の確立を目指す。現在、参画している兵庫県内の産官学が協力してロボット開発を行うロボット研究会において、ユニバーサルロボットハンドの開発・研究を行っている。このロボットハンドには、指腹部に分布型触覚センサを取り付けることが可能となっている。ここで、ロボットハンドに分布型触覚センサを取り付け、多次元の触覚情報をすべて取得することは容易ではあるが、集中型の場合、計測点数分の計測時間が必要となる。点数が少ない場合には、ロボットハンドの制御には特に支障はないが、点数が多数になった場合、制御に大きな影響を与えられられる。そこで、本研究では、ロボットハンドの各指各リンクの指腹部に分布型触覚センサを設置し、それぞれの分布型触覚センサからの触覚情報を分散的に処理する計測技術を提案する。また、分散的に処理された情報は、各指の反射的動作などの制御に利用し、さらに最終的に融合的な処理をすることによって、ロボットハンド全体の触覚フィードバック制御を行う。このような触覚センサに関する研究を行うこ

とにより、ロボットハンドの器用な動作を実現していく。

3. 研究の方法

上記目的を達成するため、下記2項目について研究を行う。

(1) 分布型触覚センサ用分散知覚計測デバイスの開発

分布型触覚センサからの触覚情報を分散的に処理するため、分散知覚計測デバイスの開発を行う。触覚センサからの配線を、アンブやその他電子パーツで構成された触覚センサコントロールユニットを通して、触覚センサ情報分散処理用の FPGA に接続する。ここで、1つのFPGAは各指腹部に設置された触覚センサの情報のみを取り扱い、適宜状況に応じた情報処理を行う。また、デバイスの開発を行うとともに、各FPGA内において、触覚センサの計測範囲を動的に変化し、より短時間で計測が行える手法を構築する。このように触覚センサの計測範囲を、どのような場合でも全計測点にするのではなく、状況に応じて動的に変更することにより、高速な触覚情報の計測が可能となる。

(2) ロボットハンド触覚フィードバック制御法の開発

開発した分散知覚計測デバイスをロボットハンドに装着して、ロボットハンドの触覚フィードバック制御を行う。ここで、分散知覚計測デバイスと連携して触覚情報を計測できるシステムの構築を行う。システム構築後、各触覚センサにおける計測点を動的に決定できるよう、進化型計算技術やソフトコンピューティング技術を用い、ロボットハンドに接触した対象物等に応じて、計測範囲を決定する知能化決定法の確立を行う。さらに、指腹部で計測・処理した触覚情報を用いたロボットハンドの触覚フィードバック制御法を考案する。ここでは、遺伝的アルゴリズムを用いた計測点動的決定法により、複数の物体が存在する環境下で目標対象物とそれ以外の物体の認識を行い、目標対象物のみの回転操作を行う触覚フィードバック制御法を構築する。

4. 研究成果

上記に示した研究方法についてそれぞれの成果を述べる。

(1) 分布型触覚センサ用分散知覚計測デバイスの開発

本研究課題で対象とする触覚センサを図1に示す。触覚センサは、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。ウレタンゲルの

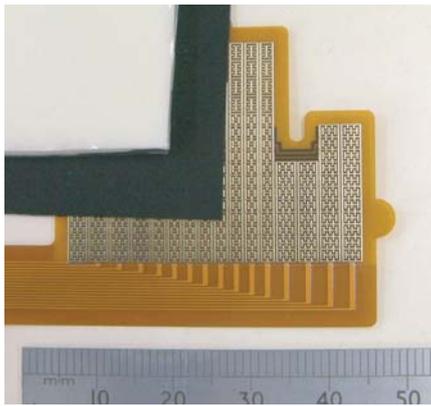


図1 触覚センサ検出部

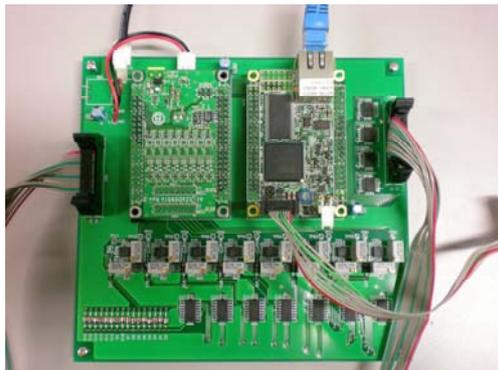


図2 分布型触覚センサ用分散知覚計測デバイス

厚さは2mmであり、感圧導電性ゴムはイナバゴム（株）社製の中感度のものを用いた。触覚情報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）が配置されている。

開発した分布型触覚センサ用分散知覚計測デバイスを図2に示す。このデバイス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。このデバイスには、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）が搭載されており、触覚センシングのための処理を行っている。このデバイスの特徴として、3種類の計測モードによる計測が挙げられる。3種類の計測モードは、分布型触覚センサを1計測点のみの触覚センサと見なし計測を行う全体計測モード、分布型触覚センサのすべての計測点利用する全点計測モード、任意の計測点のみを計測する任意点計測モードである。これにより、接触物体の有無や大きさといった状況に応じた触覚情報の計測が可能となる。

この特徴を生かし、計測範囲動的決定による触覚情報計測法を開発した。この計測法のフローチャートを図3に示す。この計測法では、触覚センサに接触物が接触する前は全体計測モードで計測を行い、接触後は任意点計

測モードを主に使用し、対象物に合わせた計

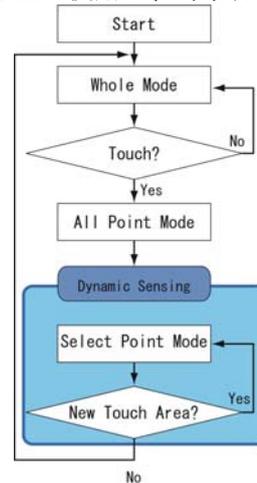


図3 計測範囲動的決定フローチャート

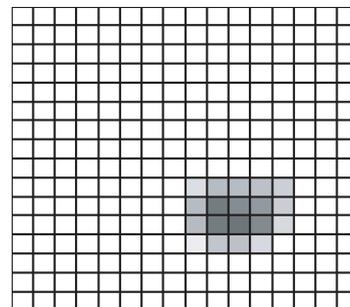


図4 全点計測による触覚情報

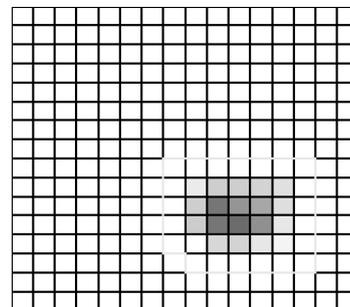


図5 計測範囲決定法による触覚情報

測を行う。

開発した計測範囲動的決定による計測法の動作確認として、256点の計測点のある触覚センサで計測を行った。全点計測（図4）と動的に計測領域を決定した場合（図5）においてほぼ同じ領域の計測ができることを確認した。

(2) ロボットハンド触覚フードバック制御法の開発

触覚センサを実装した指を図6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

線されるような設計とした。



図6 ロボットハンド指先

物体の把持や操作などのタスクを行う場合、リアルタイムに計測した操作者の手姿勢に基づいてユニバーサルロボットハンドの手姿勢を位置制御する必要がある。しかし、分布型圧力センサのハードウェア的問題点として、計測点の数が多くほど全計測点を使用した時の計測時間が長くなるという欠点がある。そこで、触覚センサの計測時間を短縮しつつ、複数の接触点を同時に計測可能な遺伝的アルゴリズムを用いた計測領域制御法を提案した。遺伝的アルゴリズムを用いた計測領域制御法では、複数接触情報の獲得のため、任意の計測点を決定し、それらをグルーピングする。グループは同時に計測を行い、自グループが計測した情報（計測値、計測位置）を他グループに提供し、他グループが自グループの計測点を計測しないようにする。遺伝的アルゴリズムでは、

- 触覚センサでの計測 1 周期を遺伝的アルゴリズムでの 1 世代とする。
- 各個体の染色体情報は触覚センサ上の計測点の座標を表す。
- 触覚センサからの計測値をその個体の適応度とする。

といった規則を設けることで、計測点を決定する。

実際の触覚センサを用いて接触を検知できるか評価実験を行った。ここでは計測点グループを2とし、センサ上の2箇所と同時に接触した状態を計測できるようにした。ここで、対象物接触の模擬として、「最初はセンサに圧力を加えず、途中からセンサ上の2箇所に加える」という接触パターンを触覚センサに与えた。接触パターンを与えた時の分布型圧力センサの計測状態を図7に、各接触グループの重心位置を図8に示す。これらの結果より、複数対象物が同時に接触しても、正確にその接触位置が知覚できることを示した。

上記の遺伝的アルゴリズムを用いた計測領域制御法を用いて計測した触覚情報を基にロボットハンドの制御を行う。ここでは、

複数の物体が存在する環境下での目標対象

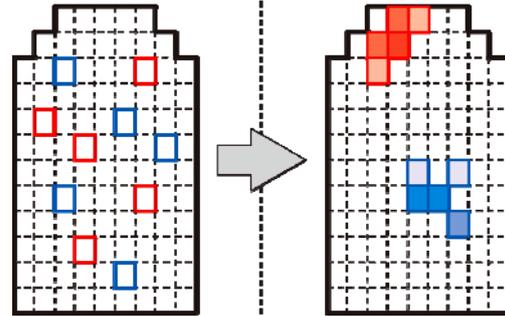


図7 分布型圧力センサの計測状態

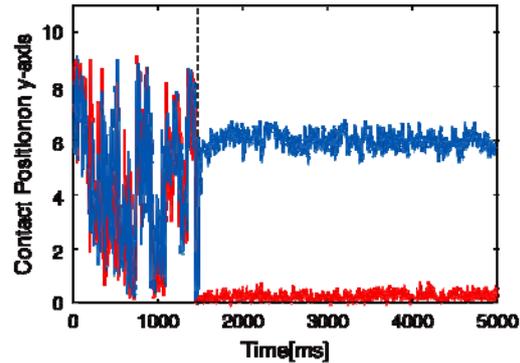


図8 接触領域の重心位置



図9 実験環境

物の効率的な回転操作のために、触覚センサの接触情報から目標対象物とそれ以外の物体の認識を行い実際の回転操作を行う。具体的には、ボルトとワッシャーによる組付けにおいて、ボルトのみを回転操作するようにロボットハンドの制御を行う。ロボットの動作として、まず2対象物の両方に触れさせ、触覚センサより各物体の x 座標の重心位置と、圧力を遺伝的アルゴリズムを用いた計測領域制御法を用いて計測する。各グループの計測値から、計測値の小さい側をボルトと判断し、ボルト側の x 座標の重心位置を基に指腹の中央部分にボルトが接触するように、指の根元関節を制御する。さらに、もう一度物体に接触させ、ボルトのみを検知すればボルト

の回転操作に、2つの物体を検知すれば再度触覚計測を行い、ボルト、ワッシャーかの判定を行う。

上記制御法を検証するため、図9に示した模擬環境により実験を行った。ここで、図9のように2枚の径の異なる円盤を用い、径の小さい青い円盤をボルト、大きい赤い円盤をワッシャーとみなす。実験中の一連の動作の様子を図10に示す。左上図の初期姿勢から対象に接触し触覚情報を獲得する。2箇所での接触を検知し(図10右上図)、計測値からボルト側へ姿勢を変化させ(図10左下図)、ボルトのみに接触させ(図10右下図)、ボルトの回転を行った。また、ボルトとワッシャーの位置を逆にした状態で同様の実験を行った場合でも、ボルト側を検知し姿勢を変化させることができた。実験の結果から、構築した制御手法は、ボルト・ワッシャーの関係のような2つの対象物に対し必要な物体のみの回転操作を行うタスクに対して有効であるということが示せた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 中本裕之、小林太、他3名、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、Vol. 74、No. 746、2521-2527、2008、査読有
- ② 中本裕之、小林太、他3名、ユニバーサルロボットハンドによる回転操作中の形状識別(DPマッチングを用いた対象物の局所形状識別)、システム制御情報学会論文誌、Vol. 21、No. 7、219-225、2008、査読有

[学会発表] (計3件)

- ① F. Kobayashi, R. Nakae, 他5名, Adaptive Tactile Measurement with Genetic Algorithm for Universal Robot Hand, Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems, 2008年9月19日, 愛知県名古屋市
- ② 小林太、田中聡子、他4名、FPGAを用いた分散知覚のための触覚センサユニットの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会'08、2008年6月6日、長野県長野市
- ③ 中江竜、小林太、小島史男、他5名、触覚センサを利用したユニバーサルロボットハンドによる複数物体の把持、第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2007年12月21日、広島

国際大学

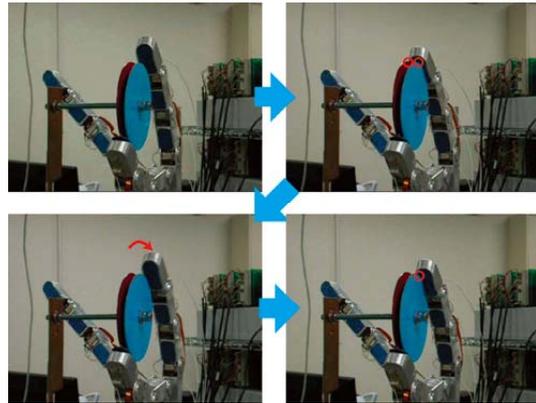


図10 ロボットハンドによる回転操作

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 太 (KOBAYASHI FUTOSHI)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50314042

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者