



# ロボットハンドによる物体操作中の触覚情報を利用した認識の研究

中本, 裕之

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2009-03-25

(Date of Publication)

2016-07-14

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4618

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004618>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 中本 裕之  
博士の専攻分野の名称 博士（工学）  
学 位 記 番 号 博い第 4618 号  
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当  
学位授与の日付 平成 21 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

ロボットハンドによる物体操作中の触覚情報を利用した認識の研究

審 査 委 員

主 査 教 授 小島 史男  
教 授 羅 志偉  
教 授 大須賀 公一  
准教授 小林 太

本論文は第1章を緒論、第6章を結論として全6章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的について述べる。

第2章は多指ロボットハンドの必要性と構成要素の技術的課題について述べる。2.1では日本が得意とする産業用ロボットとヒューマノイドロボットの応用や市場について踏まえ、それらロボットの市場の拡大のため、多種多様な対象をハンドリングできるロボットハンドの必要性について述べる。2.2ではこれまで研究開発されてきた多指ロボットハンドの特徴について解説する。また、それらの実用化がなぜ進んでいないかについて考察する。2.3では人間の手の器用さに必要不可欠な柔軟な皮膚と触覚受容器について述べ、触覚センサが備えるべき要素について考察する。2.4ではこれまで触覚センサとして研究開発されてきた近接覚センサ、圧力・変位センサ、滑りセンサの各特徴について述べる。2.5では触覚センサを備えたロボットハンドによる研究事例について述べ、人間の探索動作も踏まえた上で、触覚センサを活用して多指ロボットハンドに情報を与えることの重要性について述べる。

第3章は研究プラットフォームとして開発したユニバーサルロボットハンドについて述べる。3.2ではユニバーサルロボットハンドの設計方針や構造、可動範囲について述べる。また、関節の角度センサやトルクセンサ、手掌面に触覚として貼付している分布型圧力センサについて述べる。特に、分布型圧力センサは圧力を受けて変化する感圧導電性ゴムの電気抵抗値の検出を原理として、表面層となるウレタンゲル、その下の感圧導電性ゴム、電気抵抗値を検出するための電極シートから構成されているが、その構造の特徴や感度を高めるための電極の設計について述べる。さらに、ユニバーサルロボットハンドを安定的に動作させるために構築した、運動制御系、触覚処理系、遠隔操作系の3つの系からなる分散型システムについて述べる。3.3ではユニバーサルロボットハンドのPD制御による関節制御の制御精度と応答特性に関する実験結果について述べる。加えて、剛性性能を併用した場合の関節角度と関節トルク間の関係について基礎実験の結果を述べる。3.4では分布型圧力センサの出力から接触力を推定する方法について提案し、その方法で推定した力の精度について実験結果を述べる。また、応答特性に関する実験結果を述べる。3.5では接触面の形状を推定する方法を提案する。この方法では分布型圧力センサから検出した圧力分布が鋭利な分布であるか緩やかな分布であるかの評価を行うために、尖りの程度を定量化する尖度を評価値として用いる。4種類の対象を用いた実験を行った上で、尖度を使って対称の形状を識別できる可能性について述べる。

第4章では対象物を反復的に回転させる軌道をユニバーサルロボットハンドの人差し指と親指に与え、その回転中に得られる圧力分布群から回転時に接触している面の形状を識別する方法を提案する。この方法では、第3章で述べた接触面の形状評価方法を用いて、

反復回転操作中に取得した圧力分布群から時系列の尖度を算出する。時系列の尖度から極値を端点として抽出した尖度パターンと比較対象となる標準パターン間のマッチングをDP(dynamic programming)によって行い、類似性の評価値を求める。そして、得られた評価値をしきい値判定することで、操作中の接触面の形状を識別する。ユニバーサルロボットハンドが対象物を反復回転する実験により、その間の接触面の形状を識別できることを確認する。さらに、DPがパターンの伸縮に対応していることを応用して、標準パターンを速度毎に用意しなくても提案する形状識別方法が回転速度の変化に対応できることを述べる。提案した形状識別方法は、反復回転中という局所的な接触面に限られるが、ユニバーサルロボットハンドが対象物を操りつつ、触覚である分布型圧力センサの出力から接触面を認識できる方法として議論する。

第5章では第4章で述べた反復的な回転操作中の形状識別方法が対象の外周の部分的な形状を識別するのに対して、一定方向に対象を連続的に回転する操作中に適用し外周全体の形状識別が可能な方法を提案する。この方法は、マッチングの前に尖度パターンをあらかじめ抽出する必要が無く、リアルタイムに識別できる点に特長がある。5.2ではユニバーサルロボットハンドでの連続的な回転操作方法について述べる。5.3では連続的な回転操作中の形状識別方法について述べる。反復の場合と同様に各圧力分布から尖度を算出するが、各圧力分布を検出するごとに連続DPを用いてリアルタイムで形状を識別する。5.4では対称形状の3種類の対象を用いて実験を行った結果、接触面の形状を識別できることを検証する。また、非対称形状の対象に対しても類似度の評価値が同様に得られることを検証する。5.5では提案した形状識別方法の有効性を考察する。さらに、ユニバーサルロボットハンドに貼付した分布型圧力センサよりも高密度で高精度なセンサが開発された場合、提案方法の適用の可能性とその発展性について述べる。

第6章は結論であり、本論文内容を総括する。

以上

氏名	中本 裕之		
論文 題目	ロボットハンドによる物体操作中の触覚情報を利用した認識の研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	小島 史男
	副査	教授	羅 志偉
	副査	教授	大須賀 公一
	副査	准教授	小林 太
	副査		印
要 旨			
<p>本論文は、第1章を緒論、第6章を結論として全6章で構成されており、これまで従事してきた各研究内容について論じている。</p> <p>第1章は、緒論であり本研究の背景と目的について述べている。</p> <p>第2章は、人間の手と同等の多指ハンドを目指して研究開発された事例について述べている。その多くが小型化のための機構に特徴があり、人間の手と同等の自由度を持つものもあるが、実用化されたものはなく、製造現場ではグリップと呼ばれる2指の開閉式ハンドが主流である。一方、人間の手には触覚の受容器が分布しており、器用な手を実現するために不可欠の要素であるとされていることを踏まえて、人間の触覚受容器の特徴と触覚センサの開発事例を述べている。さらに、アクチュエータである手とセンサである手を相互に作用させることが、器用さの重要な点であると指摘されている。この点を考慮した多指ハンドの研究例は数例しかなく、それらも多指ハンドで対象物を操作しつつ、分布型触覚センサで対象物の情報を得るといった研究がほとんどなされていないことについて述べた。これらの背景をもとに、多指ハンドにおいてもアクチュエータ機能とセンサ機能を相互に活用することの重要性について考察している。</p> <p>第3章は、開発したユニバーサルロボットハンドの機構、センサ、システムなどについて述べている。低バックラッシュで高い速比を特長とする減速機を用いることで、安定した関節角の制御が可能であることを実験により示している。PD制御と剛性制御を併用することで柔らかい関節を実現でき、ゲインの設定でその柔らかさを制御できることを実験により示している。また、触覚として貼付した分布型圧力センサに加えられた力の推定方法について述べ、リファレンスとして用いたロードセルとほぼ同じ値を推定できることを実験で確認し、分布型圧力センサの出力値の信頼性が高いことを示している。分布型圧力センサの圧力分布から尖度という特徴値を求めることで、接触面の形状を推定できることを実験により確認している。これらの実験を踏まえて、開発したユニバーサルロボットハンドは対象物に対して一定の接触力を保ちつつ操ることが可能であり、その触覚として貼付している分布型圧力センサで取得した圧力分布から接触面の形状を評価できることを考察している。</p> <p>第4章は、対象物を反復的に回転させる軌道をユニバーサルロボットハンドの人差し指と親指に与え、その回転中に得られる圧力分布群から回転時に接触している面の形状を識別する方法を提案している。この方法は、第3章で述べた接触面の形状評価方法を用いて、反復回転操作中に取得した圧力分布群から時系列の尖度を算出する。そこから抽出した尖度パターンと比較対象となる標準パターン間のマッチングをDPによって行い、類似性の評価値を求める。そして、得られた評価値をしきい値判定することで、操作中の接触面の形状を識別する。ユニバーサルロボットハンドが対象物を反復回転する実験により、その間の接触面の形状を識別できることを確認している。さらに、DPがパターンの伸縮に対応していることを応用して、標準パターンを速度毎に用意しなくても提案の形状識別方法が回転速度の変化に対応できることを述べている。提案した形状識別方法は、反復回転中という局所的な接触面に限られるが、ユニバーサルロボットハンドが対象物を操りつつ、触覚である分布型圧力センサの出力から接触面を認識できる方法として議論している。</p>			

氏名	中本 裕之		
<p>第5章では、第4章で提案した方法を拡張し、対象物を一定方向へ連続的に回転させながら、その外周形状を識別する方法を提案している。この方法では、ユニバーサルロボットハンドが対象物を一定方向へ連続回転させ、分布型圧力センサから圧力分布を取得することにより、尖度を算出し連続DPを用いて標準パターンとのマッチングを行う。さらに、マッチングの評価値をしきい値判定して形状を識別する。第4章で提案した方法と異なり、マッチングの前に尖度パターンをあらかじめ抽出する必要が無く、リアルタイムに識別できる点に特長がある。対称形状の対象物を用いた実験を行い識別が可能であることを確認している。また、非対称形状の対象物に対しても提案する方法が有効であることを実験結果により示している。提案した連続回転操作中の形状識別方法は、第4章で提案した方法よりも識別の精度が少々悪くなる一方、ユニバーサルロボットハンドが対象物を操りつつ指先を外周に接触させることで、指先の分布型圧力センサを使ってリアルタイムに接触面を認識できる方法として議論している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文内容を総括する。</p> <p>本研究により得られた主な結果と成果を示す。本論文で述べたユニバーサルロボットハンドは、低バックラッシュな減速機を用いるなどにより動作性能を高めたうえで、設計段階から触覚となる分布型圧力センサを貼付することを考慮した。このことから、安定した操り動作を実現し、対称物の識別を実現できた。反復回転操作と連続回転操作中の接触面の形状識別方法においては、これまであまり研究がなされてこなかった多指ハンドの操りと触覚情報処理の両立というテーマにおいて1つの方法を提案した。</p> <p>本研究は、ロボットハンドによる物体操作中の触覚情報を利用した認識について、そのプラットフォームとなるユニバーサルロボットハンドを開発・製作し、反復回転操作と連続回転操作中の接触面の形状識別を研究したものであり、触覚情報を利用したロボットハンドによる操りや認識について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の中本裕之は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>			