

## 24 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、精度などメカニカルな特性を迫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センサ類を備えることが必要である。このセンサの1つに触覚センサが挙げられる。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、形状や手触り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。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。平成22年度では、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する。多指ハンドへの指令と関節や姿勢、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その有用性を評価する。

### 2 計測制御モデルとタスク

提案する計測制御モデルを図1に示す。このモデルでは行動指令が運動の制御と触覚の制御の2系統に伝達される。特徴的なのは、触覚の解析と運動の分析結果が触覚の制御ユニットに送られる点である。これにより運動指令とハンドの姿勢に基づいて、さらには触覚の解析結果から触覚の計測領域を調整することが可能となる。

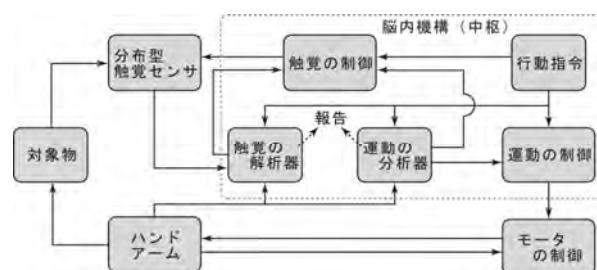


図1 計測制御モデル

モデルの有効性を検証するため、多指ハンドをロボットアームに取り付けたハンド/アームロボットを開発した。次に、このハンド/アームロボットを用いて、ドアを開くタスクを実行させる。タスクの概要を次に示す。ドア及びドアノブの形状は既知とし、ドアの回転半径は900 mm、ドアノブの仕様は径35 mm、長さ330 mm、高さ1340 mm、ドアの面に対して45度の角度をもつ。ドアを開くために必要なドアノブの捻りは反時計回りに60度とし、40度の回転分だけドアを引くことをタスクの完了条件とした。アームの手首の軌道はドアノブ及びドアの回転半径に合わせて移動するように設定した。ドアノブの捻りは15度刻み、ドアの開きは10度刻みとした。したがって、ドアノブを捻る間に4姿勢、ドアを開ける間に4姿勢、それらに初期姿勢を加えて9種類の姿勢を設定した。これらの姿勢を順にトレースすることでドアを開くための軌道を実現した。さらに、タスク中の握力を一定に保つために、触覚センサを用いたフィードバック制御を行う。

タスク全体の流れは次の4つのフローになる。

- A) アームがドアに接し
- B) ハンドがドアノブを把握
- C) ハンドとアームがドアノブを捻る
- D) ハンドとアームがドアを開ける

このフローにおいて触覚センサの計測は、A) で触覚センサの全体を 1 つの計測点とした計測（以下、全体計測とする）とし、B) のドアノブに接触するまでは全体計測、接触した後は触覚センサのすべての計測点を順に計測し圧力分布を取得する全点計測を行うこととした。C) のドアノブの捻りや D) のドアを開けるとき、アームの動作中は全体計測、先に述べた捻りとドアを開ける際の 8 姿勢時に全点計測を行った。この 8 姿勢時の全点計測の結果を用いて、ドアノブを把握している状態が一定となるよう握力を調整した。具体的には、ハンドのコントローラに対して計測制御回路から計測点数と総圧力値を報告し、閾値判定によって握力の調整を行う。計測点数や総圧力値が小さくなると握力を高くし、計測点数や総圧力値が大きくなると握力を低くした。

### 3 実験と結果

ハンド/アームロボットがドアを開けるタスクを実行する様子を図 2 に示す。それぞれ図 2 (a) がドアノブの把握前、図 2 (b) がドアノブを把握したとき、図 2 (c) がドアノブを 30 度捻ったとき、図 2 (d) がドアノブを 60 度捻ったとき、図 2 (e) がドアを 20 度開けたとき、図 2 (f) がドアを 40 度開けたときの様子を示す。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 3 に示す。図 3 において、黒色が接触の無い部分を、白色に近づくほど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黒色部分が多く、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

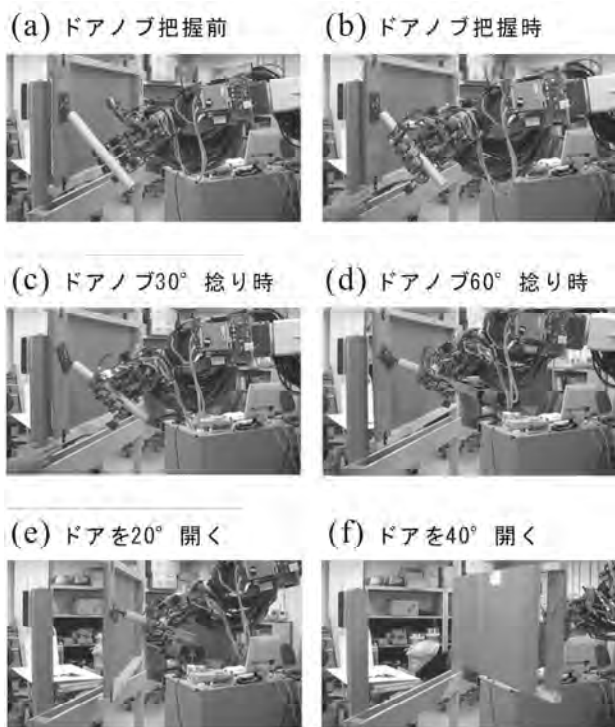
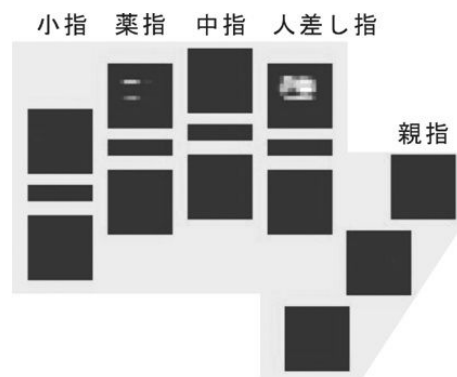
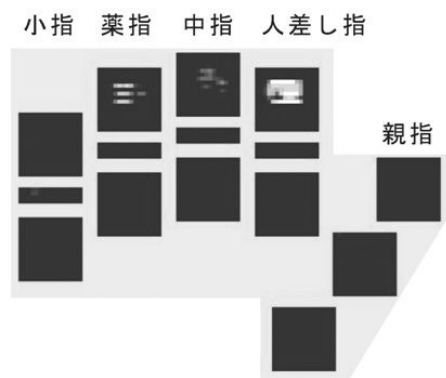


図 2 ドアを開けるタスクを実行する様子



(a) フィードバック無し



(b) フィードバック有り

図 3 タスク完了時の触覚出力

指と薬指の圧力が強く、中指にも圧力のあることが分かる。また、フィードバックの有る場合は、ドアノブの捻りやドアを開ける際も接触の状態に大きな変化は見られなかった。そのことから、触覚フィードバックによって初期の把握状態をタスクの実行中も維持できることを確認できた。

### 4 結 論

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、ハンド/アームロボットにおいて安定したタスクの実行について検証した。その結果、分布型触覚センサと提案した計測制御モデルの有効性を確認できた。今後、センサ出力への応答を速くするため、システム全体の高速化を進め、検証を重ねる予定である。

### 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)