ロボットハンド遠隔操作における触覚・力覚フィードバック

Haptic Feedback in Universal Robot Hand Tele-Operation

神戸大学 ○齋藤 裕, 小林 太, 小島史男,

兵庫工業技術センター 中本裕之, (株)前田精密製作所 前田正, 広島国際大 今村信昭,

関西電力(株) 笹部和宏, AMPI 白沢秀則

○ Yu SAITO, Futoshi KOBAYASHI, and Fumio KOJIMA, Kobe University.

Hiroyuki NAKAMOTO, Hyogo Pref. Inst. Of Tech.

Tadashi MAEDA, MAEDA PRECISION MANUFACTURING.

Nobuaki IMAMURA, Hiroshima International univ

Kazuhiro SASABE, KEPCO.

Hiddenori SHIRASAWA, AMPI

Abstract Human hand is a multifunctional end effector which is widely used for various purposes. The purpose of our study is to realize dexterous manipulation task with tele-operating universal robot hand which has the same capability as human hand. To realize dexterous manipulation task with robot hand, force and tactile information are indispensable. So we develop a robot hand tele-operation system which displays force information of universal robot hand using haptic interface, and shows tactile information on the computer screen. In this paper, we verify effects of force and tactile feedback in robot hand tele-operation through the universal robot hand tele-operation experiment.

Keywords: Robot Hand, Tele-operation, Feedback

1 緒言

近年のロボット技術の発達が目覚ましいものがあり、ロボットは製造現場や実験室などの限られた環境だけでなく、医療現場やオフィスなど人間の生活に密接に関わる環境においても用いられるようになってきた。ロボットに、人の手のように多様な機能を有するロボットハンドシステムが装備されれば、これまで人間に頼らざるを得なかった危険環境下での複雑な作業、製造現場での不定形物のピッキング作業などに適用が期待され、産業界で極めて有用である[1]。しかし、危険環境下での作業の場合、すべての作業をロボットハンドが自律的に行うことは非常に困難であるため、ロボットハンドを的確に操作できる遠隔操作システムが必要とされている。

本講演では、ロボットハンドの遠隔操作において、操作者に触覚・力覚フィードバックを提示することで、操作性の向上を目指す。我々の研究グループは、人の手とほぼ同等の構造を持ち、触覚センサと力覚センサを備えたユニバーサルロボットハンドシステムを開発してきた[2]。また、現在までに、このユニバーサルロボットハンドの遠隔操作システムとして、人の手の動きを計測し、それに基づきユニバーサルロボットハンドを制御するシステムを構築した。また、本システムでは、操作者が遠隔地での作業の感覚を認識するために、ユニバーサルロボットハンドで計測した触覚及び力覚を操作者に提示する。触覚情報はそのまま操作者の触覚に提示することが困難であるため、別のモダリティである視覚情報に変換して提示する[3]。本システムでロボットハンドの遠隔操作実験を行い、フィードバックにより操作性が向上していることを示す。

2 ユニバーサルロボットハンドの概要

Fig. 1 に開発したユニバーサルロボットハンドシステムを示す。本システムは、触覚情報処理系と運動感覚処理系、遠隔操作系の3つの処理系からなる。各処理を分散させることによりシステム全体の処理速度が向上し、より高速なハンドの制御が可能になっている。

ハンドはアルミを材質とした5本の指と手のひらから構成され、各指の長さはそれぞれ約340[mm]となっている。指は内部にモータを組み込んだアクチュエータ内蔵型になっている。小型のモータでありながら最大トルク1.1[Nm]とその底部にエンコーダ機能を有する。各指は4関節を有するが第1関節と第2関節はシャフトとギアによって1:1で連動している($\theta_1 = \theta_2$)。これは人間の手指の機構を模倣したものである。指1本あたりの自由度を少なくすることによってハンドの操作を容易にする。

Fig. 1: Universal Robot Hand System

物体と接触する表面部には、人間の皮膚を再現するために柔軟で滑りの少ないウレタンゲルを用いた。この触覚センサでは、2層目の感圧導電性ゴムの変形によって発生する電圧を3層目の電極で感知し出力する。感圧導電性ゴムを用いた触覚センサでは圧力の分布を計測することが可能である。

3 ロボットハンド遠隔操作システム

Fig. 2 に提案するロボットハンド遠隔操作システムを示す。本システムにおいて、操作者の手の動きをロボットに模倣させることから、人の手の動きを計測するため、Immersion社のCyberGloveを使用する。また、ユニバーサルロボットハンドに搭載されたトルクセンサを用いて計測する力覚情報(操作感覚)を反力で力覚的に操作者に提示するため、SensAble社のPHANTOM Omniを使用する。さらに、遠隔操作系において、触覚センサで計測する触覚情報を視覚的に提示する。

3.1 指先位置に基づく遠隔操作 人の手の動きを基に、ユニバーサルロボットハンドを制御する方法として、CyberGloveで計測した人の手の関節角度をユニバーサルロボットハンド各関節の目標角度として、関節角度制御を行う方法が一般的である。しかし、ユニバーサルロボットハンドの拇指の構造は、人の拇指の構造と異なっており、上記方法で制御した場合、拇指とその他指が干渉してしまうという問題が生じる。そこで、本講演では人の指先位置に基づき、ユニバーサルロボットハンドを指先位置に基づき制御する方法をとる。ここで、人の手をモデル化し、CyberGloveで計測した関節角度から、人の指先位置を求

Fig. 2: Robot Hand Tele-Operation System

Fig. 3: Contact Display based on Tactile Information

める。ユニバーサルロボットハンドの制御では、人の指先位置から目標指先位置を定め、逆運動学を解くことで各関節目標角度を求め、制御を行った。

3.2 力覚フィードバック PHANTOM Omni を用いた力覚フィードバックでは、トルクセンサで計測する力覚情報を、別に求めた同時変換行列を用いて PHANTOM Omni の座標系に変換する。この変換される力覚情報を PHANTOM Omni に与えることにより、操作者の指にその反力の形で力覚情報を提示する。

3.3 触覚フィードバック 触覚フィードバックでは、触覚情報を別のモダリティである視覚情報に変換して提示を行う。ロボットハンドに装備されている触覚センサで取得した指表面の圧力分布情報を、触覚センサの形を模したグラフィックモデルによりディスプレイ上に提示する。Fig. 3 に示されているようにグラフィックモデルの色の変化により、操作者はロボットハンドの指が物体に触れた際の接触位置、その位置での圧力を視認することができる。

4 評価実験

力覚・触覚情報をフィードバックすることの有効性を示すため、ユニバーサルロボットハンドを遠隔操作してタッピング動作を行い、提示しなかった場合との比較を行なった。

被験者数名に、以下の条件でそれぞれ 100 回タッピング動作を行なってもらった。

1. 力覚情報、触覚情報共に提示しない
2. 力覚情報のみ提示する
3. 触覚情報のみ提示する
4. 力覚情報、触覚情報共に提示する

それぞれの条件において、ロボットハンドが物体に触れた際の、力覚トルクのピーク値の平均値、力覚トルクのピーク値の不偏分散、接触してから被験者が感知するまでの平均時間を計測し、力覚情報、触覚情報共に提示しない場合のデータを基準値 1 として比較を行なった。

Fig. 4: Without Feedback

Fig. 5: Force Feedback

Fig. 6: Tactile Feedback

Fig. 7: Force and Tactile

Experiment Data

Data \ Feedback	Force	Tactile	Force+Tactile
Peak Torque	0.69026	0.64661	0.75288
Torque Variance	0.77050	1.15406	0.63375
Perception Time	0.92813	0.61354	0.66440

Table. 1 に被験者全員の比較値の平均を示す。この結果から、触覚情報、力覚情報をフィードバックすることで、フィードバックがない場合に比べて、より少ない接触力で接触を感知できることがわかる。また、力覚フィードバックと触覚フィードバックを合わせることで、力覚ピーク値の不偏分散が小さくなり、安定した接触力でタッピング動作を行っていることがわかる。さらに、触覚フィードバックにより、接触を感知するまでの時間が大幅に短縮されていることがわかる。これらのことから、提案したシステムを用いることで、接触認識までの時間や、接触時の力が安定していることから操作感が向上することを示した。Fig. 4,5,6,7 に被験者のうちの一人の力覚ピーク値のデータを示す。

5 結言

本講演では、ロボットハンドを遠隔操作する際の接触情報を操作者に提示するシステムを構築した。我々が開発してきたユニバーサルロボットハンドを用い、装備されたトルクセンサからの力覚情報を PHANTOM Omni を用いて提示した。また、ユニバーサルロボットハンドの操作は、人の手の動きを CyberGlobe により計測し、人の指先位置に基づく制御を行った。また、ユニバーサルハンドに搭載した触覚センサにより計測した触覚情報を直接提示せず、他のモダリティである視覚情報として提示した。評価実験を行い、開発システムにより操作者に触覚・力覚フィードバックを行うことで、操作感が向上することを示した。

参考文献

- 1) 小俣透：器用な手、日本ロボット学会誌 Vol.18 No.6, pp760-762(2000)
- 2) 上田健二郎、新納啓輔、小林太ほか：ユニバーサルロボットハンドの開発と関節制御の剛性評価、ROBOMEC'06 予稿集, 1A1-B23(2006)
- 3) 齋藤 裕、小林 太、ほか：ロボットハンド遠隔操作における接触情報提示システム、SI2007 予稿集, 2G3-6(2007)