

電気触覚ディスプレイおよび圧力分布センサを用いた 把持型マスタハンドの開発（第2報）

-触覚提示による物体形状の識別実験およびアプリケーションの開発-

○武井 聖也（電気通信大学）、渡辺 亮（電気通信大学、日本学術振興会）、
岡崎 龍太（電気通信大学、日本学術振興会）、梶本 裕之（電気通信大学）

Development of Grip-Type Master Hand Using Electro-Tactile Display and Pressure Distribution Sensor (II)

Experiment of Shape Identification of virtual object and Development of Application

Seiya TAKEI (UEC), Ryo WATANABE (UEC, JSPS Research Fellow),
Ryuta OKAZAKI (UEC, JSPS Research Fellow), Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: A grip-type master hand which can solve the issues of previous works is proposed in our research. In this research, we developed 2D environment that the users can interact with the virtual objects using our master hand. We conducted an experiment to investigate the usefulness of the tactile feedback.

1 はじめに

本物のロボットハンドや VR 空間上のアバタハンド（スレーブハンド）を操作するためには、ユーザの手指入力をスレーブハンドに伝えるマスタハンドが必要である。マスタハンドはこれまでに数多く開発されており、外骨格型[1][2]、グローブ型[3][4]、把持型[5]に分類できる。しかしこれらのマスタハンドには以下のような問題点が存在する。

一点目は「装置の複雑さ」である。複雑な機械的構造をもつデバイスはユーザの手の大きさによって使用できない場合があると考えられる。二点目は「触覚提示範囲の狭さ」である。触覚提示範囲が指先のみに限られている場合、掌に物を乗せる等の動作に対して触覚フィードバックを行うことができない。三点目は「提示される触覚の解像度の低さ」である。振動子を用いたデバイスでは、単位面積あたりに搭載可能な触覚提示部分の数が少ない。そのためユーザに「物体の輪郭」等の鋭い触覚を提示することができないと考えられる。

これらの問題を解決するため、我々は電気触覚ディスプレイを用いた把持型マスタハンド（Fig. 1）を提案している[6]。円筒形状のデバイスとすることで様々な

ユーザの手の大きさに対応し、曲面全体に電気触覚ディスプレイを搭載することで手掌部全体へ解像度の高い触覚提示を行うことを実現している。さらに電気触覚ディスプレイの下には圧力分布センサが搭載されており、指先の圧力分布を計測し、スレーブハンドの動きに対応させることが出来る。

本稿では、提案したマスタハンドを用いた 2D インタラクションシステムおよび物体形状判別実験について述べる。

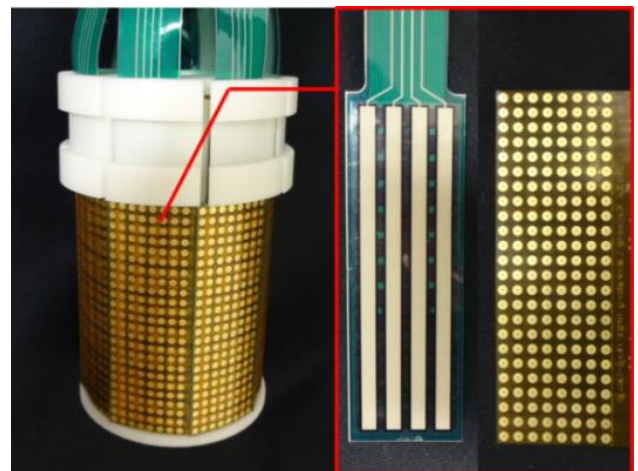


Fig. 1 Overview of the master hand

2 システム構成

2.1 力覚提示装置との組み合わせ

本マスタハンドは把持力を計測することでスレーブハンドの指姿勢を制御することが可能である。しかしオブジェクトとインタラクションを行う場合にはスレーブハンド本体の位置を操作できることが必要である。そこで本マスタハンドを力覚提示装置 (Novint Falcon) へ取り付け (Fig. 2), マスタハンド本体の3次元位置を取得できるようなシステムを作成した。



Fig. 2 Overview of the prototype system with force feedback device

2.2 2D 環境におけるインタラクションシステム

スレーブハンドの指姿勢および位置の操作を用いて2次元平面上に表示された図形に触れることが可能なシステムを作成した。

VR 環境におけるオブジェクトとのインタラクションでは、「オブジェクトに合わせてスレーブハンドの指が変形するシステム」と「オブジェクトにスレーブハンドが貫通するシステム」を比較した際にユーザは前者を好むことが分かっている[7]。このことから本システムではスレーブハンドがユーザの把持力に応じて変形するだけでなく、衝突判定アルゴリズムによりオブジェクトに合わせて変形する (Fig. 3) ように実装を行った。

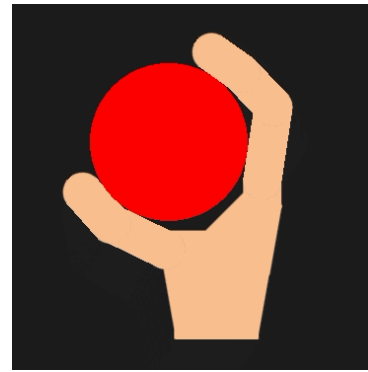


Fig. 3 Interaction with the virtual object

3 実験

作成した2D環境を用いて、本デバイスによる触覚提示がバーチャル物体の形状判別に及ぼす影響を検証する実験を行った。被験者は21~23歳の男性5名であった。

3.1 条件

被験者に提示する図形を4種類、触覚フィードバック条件を3種類用意した。

被験者に提示する図形は円、四角形、六角形、三角形とした (Fig. 4)。Fig. 4における白矢印の部分全て同じ長さとした。図形の肌色部分はバーチャルな手となっている。また、緑色の四角形は図形の大まかな位置を示す目印として配置した。後述するように本実験では手と緑色の四角形のみが表示され、図形は視覚的には提示されない。

触覚フィードバック条件は以下の通りである。

- (1) 触覚提示なし (手の変形に関する視覚的手がかりのみで回答)
- (2) 手と図形の触れている部分へ同一強度の触覚提示
- (3) 手と図形の触れている部分のうち、図形の角で強い触覚提示、それ以外の場所で弱い触覚提示

(2)については本来は指先のめり込み量に伴って刺激量を変化させることも考えられたが今回は簡易的に接触と判定された部位すべてを同じ強さで刺激した。(3)についてはSatoらの先行研究[8]で接触形状によるひずみエネルギー分布計算に基づく電気刺激が提案されており、その簡易的な手法として試みた。触覚フィードバックは、バーチャルな手の親指、手掌、人差し指に対応するユーザの親指、手掌、人差し指へ提示された。

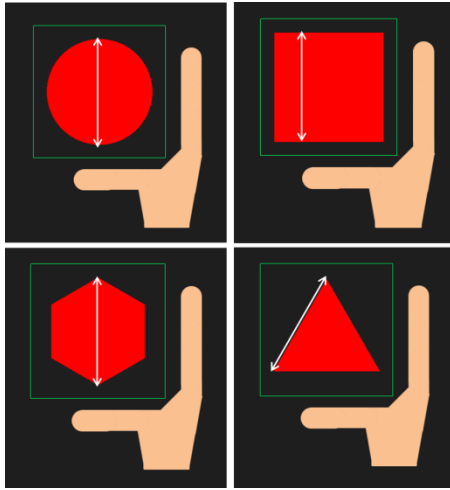


Fig. 4 Presented plane figures and the virtual hand

3.2 手順

本実験は学習フェーズ、判別フェーズの順番で行われた。学習フェーズに関しては、被験者は触覚フィードバック条件(2)および(3)について可視状態の図形4種類に触れ、指変形と触覚フィードバックを学習した。判別フェーズでは、触覚フィードバック条件(1)~(3)をランダムに並べ、被験者は各条件について不可視な4図形を各5回、計20試行をランダムに提示された。被験者による図形の回答および回答までの時間を記録した。

3.3 結果, 考察

各触覚フィードバック条件に関する回答分布はそれぞれ Table 1, Table 2, Table 3 の通りである。ほとんどの条件で正答率は変化しなかった。これは今回の実験セットアップでは被験者が視覚情報を重視して図形の判別を行ったことが原因だと考えられる。

一方、六角形の正答率はフィードバック条件(3)の場合に高くなっている。これは被験者からの内観報告で得られた「円か六角形で迷った場合に強い刺激が提示されるかどうかを確かめる」という戦略が結果に表れたものだと考えられる。円の正答率に変化がない原因としては、触覚提示を受ける手の部位によって感覚強度が異なることが原因として挙げられる。例えば指の関節部分など皮膚の薄い部分へ触覚提示を行うと刺激を強く感じる、といった現象がある。この感覚強度の違いを「角に触れた際の刺激」と勘違いしてしまい、円の正答率は変化しなかったと考えられる。

Table 1 The answers of feedback (1)

		回答図形			
		円	四角形	六角形	三角形
提示図形	円	68%	0%	32%	0%
	四角形	4%	92%	4%	0%
	六角形	32%	4%	60%	4%
	三角形	0%	0%	0%	100%

Table 2 The answers of feedback (2)

		回答図形			
		円	四角形	六角形	三角形
提示図形	円	52%	4%	40%	4%
	四角形	8%	88%	4%	0%
	六角形	36%	4%	60%	0%
	三角形	4%	4%	0%	92%

Table 3 The answers of feedback (3)

		回答図形			
		円	四角形	六角形	三角形
提示図形	円	68%	0%	32%	0%
	四角形	0%	92%	4%	4%
	六角形	8%	4%	84%	4%
	三角形	4%	0%	4%	92%

回答までの時間を Table 4 に示す。結果に優位な差は見られなかったが、触覚提示を行うことにより回答に必要な時間は減少する傾向が見られた。よって触覚提示は回答に迷った際の判断要素として用いられていた可能性が考えられる。

Table 4 Exploration time [sec]

	全体	円	四角形	六角形	三角形
(1)	9.97	11.06	9.22	12.93	6.65
(2)	8.41	10.71	6.55	9.48	6.93
(3)	8.26	9.26	6.95	9.60	7.23

4 結論

本研究では、提案したマスタハンドを用いて 2D 環境でオブジェクトとインタラクションを行うためのシステムを作成した。本システムではマスタハンドと力覚提示装置を組み合わせることによってスレーブハンドの姿勢、位置を制御することが可能となっている。実験では不可視状態の図形とインタラクションを行い、図形が判別可能かどうかを検証した。結果として、触覚提示によって六角形の正答率が上がったり、回答に要する時間が減ったりといった傾向が見られた。

今後は、今回 2D 環境で実装したシステムを 3D に拡張して本マスタハンドの評価を行うとともに、バーチャル物体と指とのより詳細なインタラクションに応じた触覚提示（めり込み量による刺激強度変化やなぞり動作によるテクスチャ感提示、面積変化提示による柔らかさ感提示[9]など）を行う予定である。

参考文献

- [1] K. Sato, K. Minamizawa, N. Kawakami, S. Tachi: Haptic Telexistence, Proc. ACM SIGGRAPH 2007, Article No. 10, 2007.
- [2] C. S. Tzafestas: Whole-Hand Kinesthetic Feedback and Haptic Perception in Dextrous Virtual Manipulation, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Vol. 33, pp.100-113, 2003.
- [3] 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之: 拡張現実空間における触覚提示による仮想キャラクタとのインタラクションシステム, 情報処理学会 インタラクション, 2011.
- [4] S. Pabon, E. Sotgiu, R. Leonardi, C. Brancolini, O. Portillo-Rodriguez, A. Frisoli, M. Bergamasco: A data-glove with vibro-tactile stimulators for virtual social interaction and rehabilitation, Presence 2007, pp.345-348, 2007.
- [5] K. Sato, S. Komeiji, N. Kawakami, S. Tachi: Development of Grip-Type Master Hand “MeiterGRIP”, Proc. ICRA 2009, pp. 3283-3288, 2009.
- [6] 武井聖也, 渡辺亮, 岡崎龍太, 蜂須拓, 梶本裕之: 電気触覚ディスプレイおよび圧力分布センサを用いた把持型マスタハンドの開発, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2014.
- [7] M. Prachyabrued, C. W. Borst: Visual Feedback for Virtual Grasping, 3D User Interfaces (3DUI) 2014, pp.19-26, 2014.
- [8] K. Sato, H. Nii, N. Kawakami, S. Tachi: Electrotactile Stimulation based on Strain Energy Density of the Fingertip, EuroHaptics 2008, pp.724-729, 2008.
- [9] S. Takei, R. Watanabe, R. Okazaki, T. Hachisu, H. Kajimoto: Presentation of Softness Using Film-Type Electro-Tactile Display and Pressure Distribution Measurement, AsiaHaptics 2014, 2014.