

力覚提示による把持物体の大きさ判別に関する研究

Study on size discrimination of grasping objects by force feedback

○ 猪飼 丈爾 (神戸大) 学 福井 航 (神戸大)
正 小林 太 (神戸大) 正 小島 史男 (神戸大)

George IKAI, Kobe University
Wataru FUKUI, Kobe University
Futoshi KOBAYASHI, Kobe University
Fumio Kojima, Kobe University

The force feedback system for tele-operating robot hand is required because a robot hand operator can not feel reaction force or tactile stimulus. We have developed the haptic device named ExoPhalanx. ExoPhalanx act as a passive force feedback device on distal phalanx of thumb, distal phalanx of middle finger and basiposite of middle finger. In this paper, we estimate how accurately an operator discriminates size of the grasping object using the ExoPhalanx when the operator grasps an object by a tele-operated robot hand.

Key Words: Haptics, Force Feedback, Robot Hand

1. 緒言

様々な作業を行うために人の手を模したエンドエフェクタが多数開発されている[1][2]。これらのエンドエフェクタはマスタースレーブ遠隔操作により簡便に操作することができるが、作業を行う際に操作者は物体からの反力や重量覚・抵抗覚などを知覚できないため、的確な操作を行えないという問題がある。この問題を解決するため、力覚情報を操作者にフィードバックすることが求められており、これまでに様々な力覚提示装置が開発されてきた[3][4][5]。力覚提示装置を用いることで、対象の形状や対象との接触を視覚によらず力覚から認識することができるが、力覚提示装置が操作者に与える影響を定量的に測定した例は少ない。

本稿では、我々が開発した力覚提示装置 ExoPhalanx が操作者に与える影響を定量的に測定する。人は体性感覚から自身の姿勢を知覚することができるため、遠隔操作時においても力覚提示されたときの姿勢から把持物体の大きさを推定できる。ExoPhalanx を用いてロボットハンドを遠隔操作し、物体を把持した際の力覚情報を操作者にフィードバックすることで、把持物体の大きさを操作者がどの程度の精度で推測できるか検証する。ExoPhalanx は親指末節と中指末節および中指基節の3点にパッシブフォースフィードバック可能であり、ロボットハンドで物体を把持した際の力覚情報を操作者に提示することができる。ExoPhalanx をロボットハンドに内蔵されている力覚センサの値に基づいて駆動し、操作者の指の動きを拘束することで、操作者は物体を把持した感覚を得ることができる[6]。そのため、ExoPhalanx を用いることで物体との接触や把持を力覚情報から直観的に判断することが可能である。

2. 力覚提示装置の概要

本節では力覚提示装置 ExoPhalanx の概要を示す。ExoPhalanx の外観を図 1 に示す。ExoPhalanx はロボットハンド遠隔操作用の力覚提示装置であり、親指末節と中指基節および中指末節の3節に力覚提示が可能である。ExoPhalanx は形状記憶合金(Shape - Memory Alloy : SMA)を活用した SMA クラッチブレーキを搭載しており、力伝達ワイヤがその内部を貫通している。クラッチブレーキに用いた SMA は加熱すると収縮する性質を持っており、通電加熱と自然冷却によってクラッチブレーキは開閉される。力伝達ワイヤは一端が指の各節に固定さ

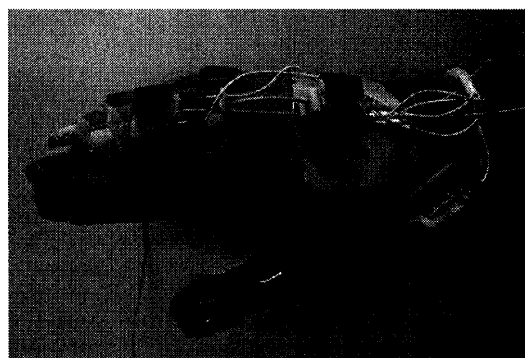


Fig 1. ExoPhalanx

れており、他端は自由端となっている。指の屈伸に応じて前後する力伝達ワイヤを SMA クラッチブレーキで固定することで指の屈曲を拘束することができる。なお、指の伸展方向の動きは力伝達ワイヤがたわむため拘束されることはない。

中指末節の外骨格にはロードセルが取り付けられており、操作者が外骨格を押し込む力を測定することができる。すなわち、操作者の中指末節に提示された力を測定することができる。

3. 力覚提示システム

本節ではユニバーサルロボットハンド II[7]と ExoPhalanx を組み合わせた遠隔操作システムの概要を述べる。図 2 にシステムの全体像を示す。操作者は図 1 のようにデータグローブの上に ExoPhalanx を装着する。データグローブは CyberGlove Systems 社製 CyberGlove を使用した。CyberGlove は 18 個のセンサを持ち、人の手の関節角度を測定することができる。CyberGlove から取得した操作者の手の関節角度に追従するようユニバーサルロボットハンド II の関節角度を制御する。制御手法として、PD 制御を用いる。ユニバーサルロボットハンド II の各指指先に内蔵された 6 軸力覚センサと各指指腹部に貼り付けられた分布型触覚センサの値から物体との接触を検知する。接触を検知すると接触したロボットハンドの指の節と対応する SMA クラッチブレーキを駆動し、力覚提示を行う。

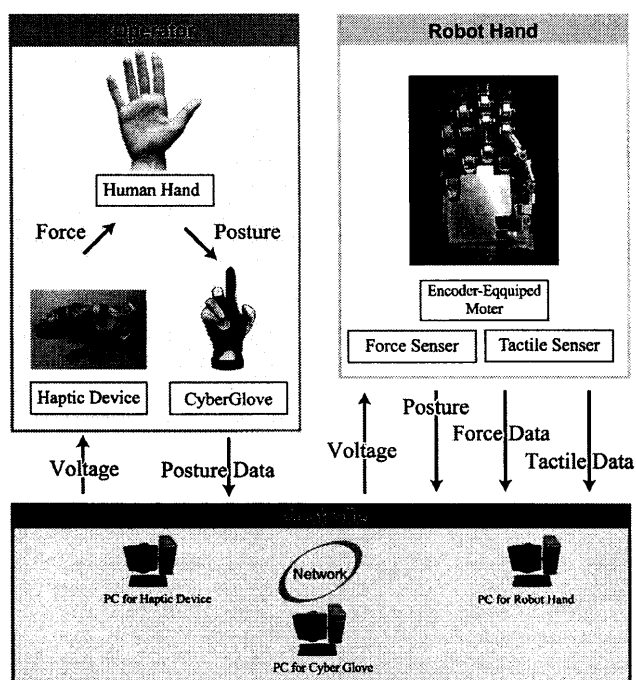


Fig 2. Force Feedback Tele-operation System

4. 直接把持時の大きさ推測実験

CyberGlove と ExoPhalanx を装着するロボットハンドを介した把持と、手に何も装着せずに直接把持したときとは大きさの感覚が変化すると思われる。そこで、人本来の大きさ推測能力を測定する実験を行う。被験者は手に何も装着しない状態で直接大きさの異なるブロックを把持し、そのブロックの大きさを推測し回答する。

4.1 実験方法

被験者に与える大きさとして高さの異なる木製のブロックを使用する。ブロックは図 3 に示すように底面がすべて 30×30[mm]で高さを 10～100[mm]まで 10[mm] 刻みで変化させた計 10 種類である。被験者はこれらのブロックを把持し、目視によらず体性感覚から把持したブロックの大きさを回答する。

実験の様子を図 4 に示す。被験者は目隠しを装着し、手の前に置かれたブロックを把持する。このとき、ブロックは提示者によって上から押さえられており、被験者はブロックの質量を知覚することはできない。

ブロックの把持は、親指と中指の指先のみでブロックの上面と底面を把持するように行う。事前に被験者に与える情報は、ブロックの種類が 10～100[mm]まで 10[mm] 刻みの 10 種類であること、および、ブロックを提示する順番はランダムであることの 2 点である。回答が提示したブロックの大きさと一致しているか、何回提示を行うかといった情報は被験者に通知しない。

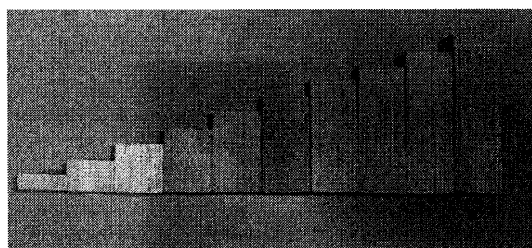


Fig 3. Grasping Block

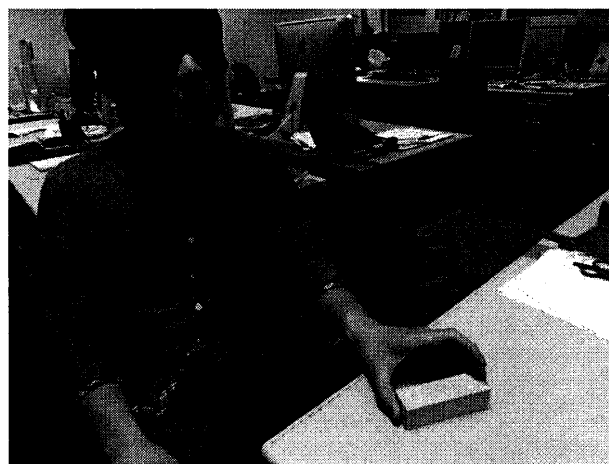


Fig 4. Size Discrimination Experiment without ExoPhalanx

4.2 実験結果

実験は健康な 20 代男性 5 名と 20 代女性 1 名の計 6 名に対して行った。ブロックの提示は各大きさ 10 回ずつ計 100 回行い、提示する順番はランダムとした。

被験者毎の実験結果を図 5(a)～(f)に示す。図 5(a)～(f)の緑線は回答の中央値を表しており、赤のエラーバーは最大値および最小値を示している。図 6 に(a)～(f)の被験者の回答をすべてまとめたグラフを示す。図 6 の緑線は全被験者の回答の平均値を表しており、赤のエラーバーは全回答における最大値および最小値を、青のエラーバーは標準偏差 σ を示している。

図 5 より(d)以外の 5 人の被験者についてブロックの大きさを小さく見積もるという結果が得られた。中央値が、ブロックの高さが大きくなるにつれて徐々に減少していることから、大きなブロックほど小さく見積もっていると言える。このことから、推測能力は、人が五感で感じる感覚量は刺激量の対数に比例するウェーバー・フェヒナーの法則[9]に近似していると言える。

回答の最小値と最大値の幅からどのブロックに対しても ± 30 [mm]の精度で回答できているということがわかる。回答の正答率は、ブロックの大きさが 10[mm]で 90%、20[mm]で 75%、その他のブロックでは 40%程度であり、標準偏差は 10[mm]が 3.0、20[mm]が 6.1、30[mm]以上が 8～10 である。

以上のことより、人は 20[mm]以下の大きさに対しておおむね正しく推測可能であり、回答の最小値と最大値から ± 30 [mm]の精度で推測可能であると言える。

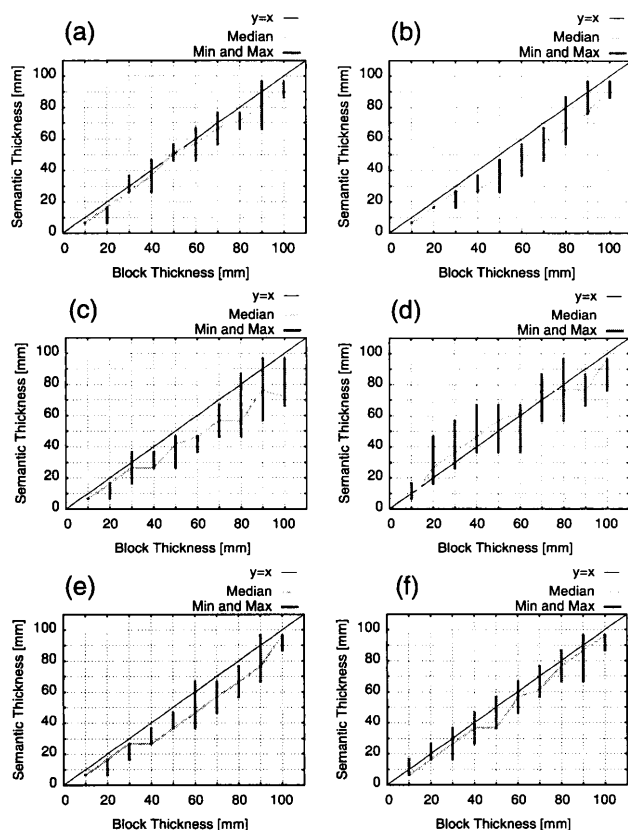


Fig 5 . Subjective Thickness

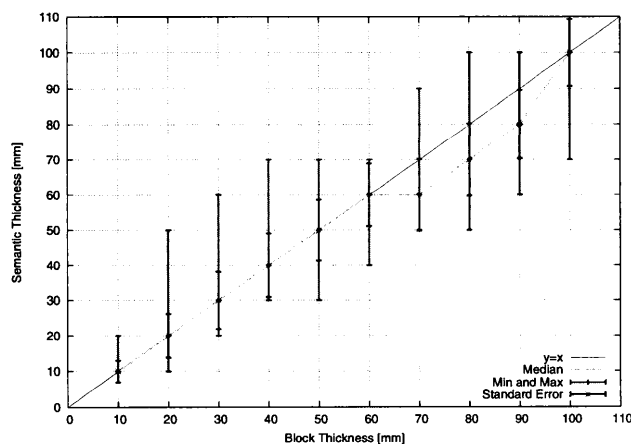


Fig 6 . Average of Median and Max-Min

5. 遠隔操作時の大きさ推測実験

力覚提示システムを用いてユニバーサルロボットハンド II を遠隔操作し、ブロックを把持した際にフィードバックされる力覚情報からブロックの大きさを推定する実験を行う。

5.1 実験方法

実験の様子を図 7 に示す。被験者はデータグローブの上から ExoPhalanx を装着し、ロボットハンドの親指と中指を操作して遠隔操作を行う。ここで、ブロックを把持し力覚提示による把持感を体感する。練習として目視なしでの測定を数回行ったのち、本測定を行う。本測定は目隠しをして、ロボットハンドを遠隔操作し、ブロックを把持する。



Fig 7. Size Discrimination Experiment with ExoPhalanx

被験者は ExoPhalanx によって指の屈曲が拘束されたと感じたら、そのときの大きさを体性感覚に基づいて回答する。もし、拘束されたと感じなかったときは 0[mm]を回答することとする。提示するブロックは直接把持時のブロックと同じものを使用する。

5.2 実験結果

ブロックの提示は各ブロック 2 回計 20 回行い、順番はランダムとした。実験は 20 代男性 4 名に対して行った。

実験の結果を図 8 および図 9 に示す。図 8 は被験者(a)~(d)毎に回答の中央値と最大値および最小値を示したものである。図 9 は被験者から得られた全回答における中央値、赤のエラーバーが最大値および最小値、青のエラーバーが標準偏差を示している。

ほぼすべての回答において真値より小さく回答していることがわかる。また、60mm を越える回答がないことも大きな特徴である。これは人の手の大きさの平均が 182.6[mm][8]に対し、ユニバーサルロボットハンド II の全長は 290[mm]と約 1.6 倍大きい、ブロックが相対的に小さくなったからと考えられる。さらに、ExoPhalanx は力覚提示の際にロボットハンドより 20[deg.]程度ずれて指を拘束するため、姿勢のずれの分だけブロックを小さく感じるためと考えられる。また、図 9 において、標準偏差が図 6 よりも 2 倍程度に大きくなっている。

人の手の機構とロボットハンドの機構には差異があるため、人の手で直接ブロックを把持するときの手姿勢とロボットハンドを遠隔操作して把持するときの手姿勢は一致しない。指を伸ばした状態では、人とロボットハンドの姿勢の差異は小さいが、指を屈曲させるにつれ大きくなる。図 10 にロボットハンドの親指と中指が接触するまで屈曲させたときの人の手姿勢を示す。小さな物体を把持するときは図 10 の姿勢に近づくため、姿勢の差異が大きくなり、図 11(a)のように指の腹面同士で把持できず図(b)のように失敗することがある。

このように、把持姿勢の違いのため推測が難しくなったこと、把持の失敗により 0[mm]を回答することが増えたことから、回答の標準偏差が大きくなったと考えられる。

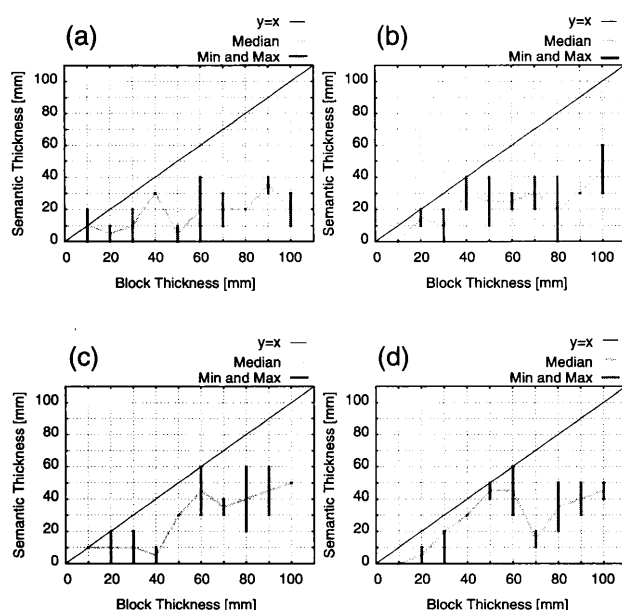


Fig 8. Subjective Thickness when tele-operation

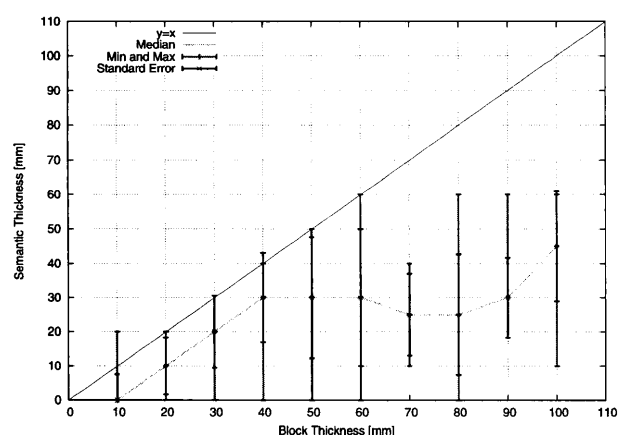


Fig 9. Subjective Thickness when tele-operation

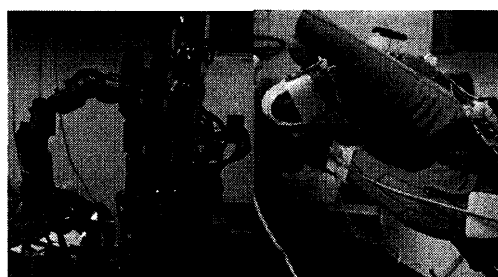


Fig 10 . Operator Grasping Posture and RobotHand Grasping Posture



Fig 11 . (a)Correct Grasping (b)Bad Grasping

6. まとめ

本稿では力覚情報に基づき、2指で把持したブロックの大きさをどの程度推測できるか測定した。直接把持による推測実験を行い、人本来の2指による物体大きさ推測能力を測定するとともに、ロボットハンドと力覚提示装置を介して把持した物体の大きさを推測する実験を行い、力覚提示時での物体大きさ推測能力を測定した。

遠隔操作時にはロボットハンドと人の手の大きさの違いと力覚提示の遅れのために、直接把持時と比較して物体の大きさを40[mm]以上小さく推測するという結論が得られた。また、ロボットハンドと人の手では機構に違いがあることから把持姿勢に差異が生じ、大きさの推測を難しくしているということ、また、この差異が把持の失敗を誘発し推測をさらに難しくしていることがわかった。結果的に直接把持時に比べて回答の標準偏差が約2倍に大きくなった。

文 献

- [1] T. Mouri, H. Kawasaki, and K. Umabayashi, Developments of New Anthropomorphic Robot Hand and its Master Slave System, *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp. 3474-3479.
- [2] S. Schulz, C. Pylatiuk, and G. Bretthauer, A New Ultralight Anthropomorphic Hand, *Proc. of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, 2001, pp. 2437-2441.
- [3] Takahiro Endo, Haruhisa Kawasaki, Tetsuya Mouri, Yasutoshi Doi, Tetsunori Yoshida, Yasuhiko Ishigure, Hisayuki Shinomura, Masato Matsumura, Kazumi Koketsu. "Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III", *Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Salt Lake City, UT, USA, March 18-20*, p458-463, 2009.
- [4] Tomohiro Amemiya, Taro Maeda, Hideyuki Ando. "Location-free haptic interaction for large-area social applications", *Personal and Ubiquitous Computing 2009*, Volume 13, Number 5, 379-386
- [5] Mark J. Lelieveld, Takashi Maeno, Tetsuo Tomiyama. "DESIGN AND DEVELOPMENT OF TWO CONCEPTS FOR A 4 DOF PORTABLE HAPTIC INTERFACE WITH ACTIVE AND PASSIVE MULTI-POINT FORCE FEEDBACK FOR THE INDEX FINGER", *IDETC/CIE (2006 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information In Engineering Conference)*, September 2006.
- [6] 猪飼丈爾, 福井 航, 小林 太, 小島 史男, "ロボットハンドの遠隔把持操作のための2指力覚提示装置の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011
- [7] Wataru Fukui, Futoshi Kobayashi, Fumio Kojima, Hiroyuki Nakamoto, Tadashi Maeda, Nobuaki Imamura, Kazuhiko Sasabe, Hidenori Shirasawa. "Development of Multi-Fingered Universal Robot Hand with Torque Limiter Mechanism", *Preprint Proceedings of 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp2225-2230, 2009
- [8] AIST 人体寸法データベース 1991-92
- [9] 感覚生理学/ Robert F. Schmidt 編, 岩村吉晃[ほか] 訳, - 第2版. - 金芳堂, 1989.