

振動重畳による指での擬似力覚増強現象

Perceptual Force Caused by Skin Strain on Finger is Enhanced by Applying Vibration

○中村 拓人（電通大） Vibol Yem（電通大） 梶本 裕之（電通大）

Takuto NAKAMURA, The University of Electro-Communications, n.takuto@kaji-lab.jp

Vibol Yem, The University of Electro-Communications, yem@kaji-lab.jp

Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications, kajimoto@kaji-lab.jp

The conventional haptic devices required a large space or expensive actuators. To cope the issues, many studies used a perceptual illusion to present perceptual force to the user. Especially, many studies using skin deformation have been proposed. However, the amount of the skin deformation is limited, and the amount of perceptual force that the illusion presents is also limited. We discovered a phenomenon that perceptual force caused by the strained skin can be enhanced by presenting vibration. In this phenomenon, the direction of the force switches when the direction of the skin strain changes. The result of the experiment suggested that the vibration enhanced the perceptual force caused by the skin strain in flexion direction. On the other hand, we could not conclude it in extension direction. However, some participants reported a strong force caused by the skin strain in extension direction when the vibration was presented.

Key Words: Pseudo-Haptic, Perceptual force, Haptic Display

1. はじめに

バーチャルリアリティや遠隔操作において、触覚フィードバックは体験の没入感や作業効率を増加させる上で重要である。特に指への力覚提示は、VR 空間上の物体へ「触れる」ことを実現し体験の質を大きく向上させる。近年、低価格で高性能なヘッドマウントディスプレイ(HMD)の普及により、高品位な体験実現には視覚だけでなく、このような力覚提示が重要であることが再認識されている。

指への力覚提示デバイスは既にいくつか市販されているが、デバイスが大型又は高価なため一般家庭への普及には至っていない。これは従来の力覚提示装置は物理的な力を再現し提示していたために、提示力覚を大きくするためにはアクチュエータが大きくなっていき、結果的にデバイスが大型・高価になってしまうからである。

この課題を解決すべく近年ではヒトの錯覚現象を利用し「知覚としての力」（擬似力覚）を提示することで力覚を指へ提示する手法が多く報告されている。特に皮膚変形を用いる手法は、作業部位である指先を自由にできる点や、複数の箇所へ皮膚変形を提示することで複数指に対して独立した力覚を提示できる点で優れている。しかし、皮膚変形のみで提示する擬似力覚には提示できる力覚の大きさに制限があった。

そこで我々は皮膚変形箇所への振動提示を行うことにより、知覚する力覚が増強する手法を提案する。本現象を用いることで、簡便な機構によって各指へ独立した大きな擬似力覚を提示するデバイスの実現を目指す。そこで本稿では本現象の詳細と、本現象を指で発生させるデバイスの開発評価について報告する。

2. 関連研究

従来のデバイスはアクチュエータによって物理的な力を再現することで指に力覚を提示してきた[1][2][3][4]。この手法は現実と同じ力覚を指に感じるため、高品位な体験が実現できる一方で、提示する力が大きくなるのに比例してアクチ

ュエータの大型化・高額化が避けられない。

この課題に対して近年では錯覚現象を利用して擬似力覚を提示する手法が提案されている。特に皮膚変形を用いて擬似力覚を提示する手法は、皮膚を変形させる機構のみで実現できるため、簡便なデバイスで実現可能であり、多くの箇所でも実現されている[5][6][7]。指に対しては指先に皮膚変形を提示し外力として知覚する圧力を提示する手法が多く提案されている[8][9]。

一方で我々は皮膚のせん断変形によって擬似力覚を生じさせたうえで、同部位に対して振動刺激を重畳することで擬似力覚の強度を調整するという手法を提案してきた[10]。この手法はこれまで手首に対して検証されてきたが、皮膚を牽引した部位のみならず関節全体に回転する力を感じる特性がある。このためもし指に対して同手法を適用できれば、上述の指先への皮膚変形型と異なり、指先が自由になり、ユーザは現実世界で物体を触ることができるという利点が考えられる。実際に予備的な検証を行ったところ、確かに指中節から基節の皮膚変形によって擬似力覚を生じ、また振動重畳によってその感覚が変化することを確認した。

指においては皮膚のせん断変形[11]や腱への振動提示[12]によって姿勢錯誤が誘発されることがすでに報告されており、本研究で扱う現象はこれらの錯誤に関連性があると考えられる。ただし、今回は姿勢の錯誤ではなく、力覚を知覚すること、及び皮膚歪の方向変更により、知覚する力覚方向が切り替わることを確認した点で異なる。

3. 実験

本現象がナイーブな被験者においても生起するかを確認するために実験を行った。実験では開発したデバイスにより指へ皮膚歪を発生させた状態で振動を重畳した。本実験では、被験者にデバイスによって誘発した擬似力覚に関する 2 問の質問に回答させた。

3.1 被験者

被験者は 14 名(男性 13 名, 21 歳-30 歳)の研究室メンバーを採用した。また全ての被験者は実験の意図や本現象について知らせず実験を行わせた。

3.2 実験設備

本実験では接触子、振動子、マイコン、オーディオ・アンプからなるシステムを用いて皮膚歪及び振動提示を行った。接触子は 3D プリンタにより出力した ABS 製の 2 つのパーツをゴムバンドでつなげたものである。被験者の指サイズに合わせて大と小の 2 サイズを用意した。人差し指の背面と掌面に 2 つのゲル電極(F-150s, NIHON KOHDEN Inc.)を貼り付け、接触子を電極に取り付けることでデバイスを装着する(電極は土台の役割を果たす)(図 1)。この時、電極をずらして装着した際のゴムバンドの張力により皮膚歪が発生する。よってゲル電極位置を変化させることで皮膚歪の方向を切り替えることができる(図 2 上)。ボイスコイル型振動子は接触子の背面側上部に搭載されており、マイコン(mbed LPC1768, NXP Inc.)から出力された信号をオーディオ・アンプ(RSDA202, RASTEME SYSTEMS Inc.)で増幅させて振動させた。使用した振動は 100Hz の正弦波で振幅を 1.0G(9.8m/s²)とした(図 2 下)。

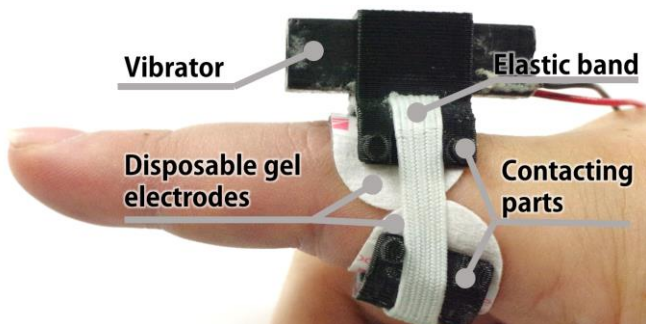


Fig. 1 Configuration of the developed device

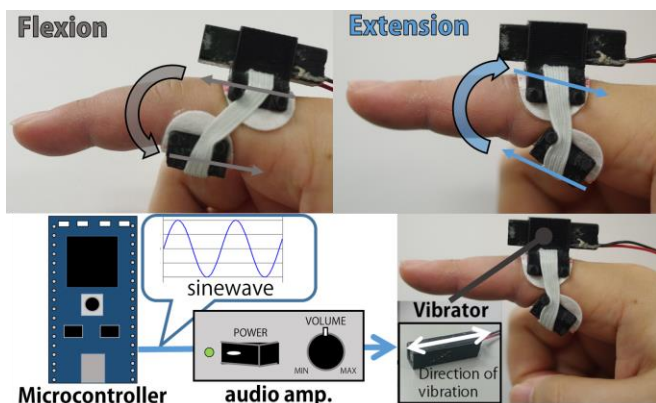


Fig. 2 (Top)Two directions of skin strain caused by the device, (Bottom) System for presenting vibration to the device

3.3 実験手順及び実験条件

実験では被験者には以下の 2 つの質問に回答させた。1 問目はデバイス装着時に、2 問目は振動重量後に回答させた。

- 質問 1: どの方向の力覚を感じるか?
(選択肢: 屈曲方向, 伸展方向, or 無し)

- 質問 2: 振動重量中感じていた力覚はどう変化したか?
(選択肢: 強くなった, 弱くなった, or 変わらない)

これらの質問での「力覚」には他人から指が曲げられるような感覚だけでなく、指を動かした際の抵抗感も含めた。また指の力覚を確認するために、実験中に指を動かす、デバイスを装着していない左手の指と感覚を比較することを許可した。

指示説明後、被験者にはアイマスクを被らせ待機させた。次に実験者は被験者の右手人差し指の基節骨上に 2 つのゲル電極及びデバイスを装着させ、皮膚歪を発生させた。装着完了後、被験者に質問 1 に回答させた。その後、6 秒間の振動提示を行い、質問 2 に回答させた。振動提示は力覚を確認できるまで何回でも体験可能とした。実験は屈曲方向と伸展方向の皮膚歪に対して行い、提示順は被験者間でランダムにした。

3.4 実験結果・考察

質問 1 の結果を図 3、質問 2 の結果を図 4 に示す。両図において、グラフの縦軸は各選択肢の回答率を表す。質問 1 では屈曲方向の皮膚歪みが提示された時には、14 人中 9 人が屈曲方向の力覚、1 人が伸展方向の力覚を知覚した。符号検定の結果、屈曲・伸展の 2 つの回答の間には有意差が確認された。一方で、伸展方向の皮膚歪を提示された時には、14 人中 8 人が伸展方向、4 人が屈曲方向の力覚を知覚した。符号検定の結果、屈曲・伸展の 2 つの回答には有意差は確認されなかった。

質問 2 では屈曲方向の皮膚歪へ振動を提示した時には、14 人中 11 人が振動により増強された力覚を知覚し、2 人が振動により弱まった力覚を知覚した。符号検定の結果、強まった・弱まった 2 つの回答には有意差が確認された。一方で伸展方向の皮膚歪へ振動を提示した時には、14 人中 9 人が振動により増強された力覚を知覚し、4 人が振動により弱まった力覚を知覚した。符号検定の結果、強まった・弱まったの 2 つの回答には有意差は確認されなかった。

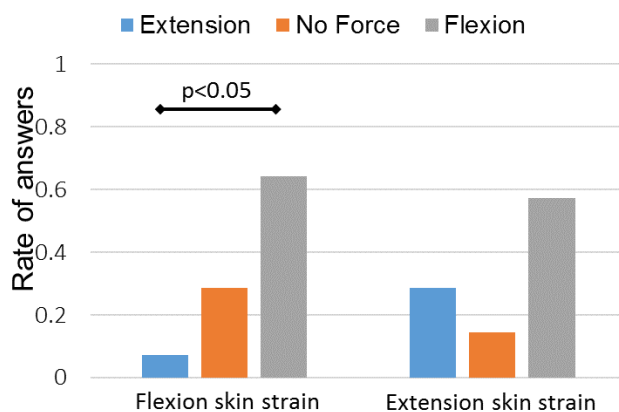


Fig. 3 Results of question 1: Which direction of the force do you feel? (Choice: flexion, none, or extension)

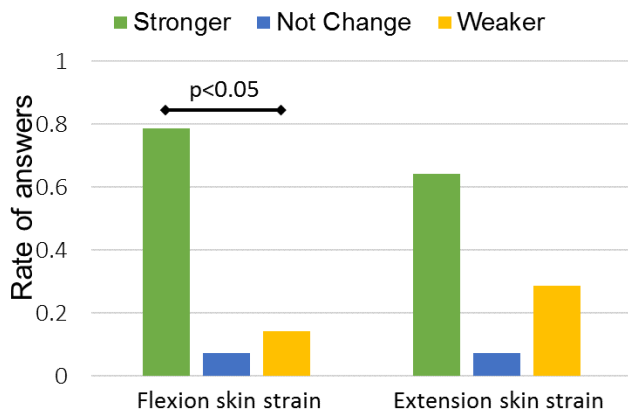


Fig. 4 Results of question 2: How does the force change during vibration? (Choice: Stronger, not change, or weaker)

2つの質問の結果より、屈曲方向の皮膚歪は屈曲方向の力覚を生起させ、振動により増強されることが示唆された。一方で、伸展方向の皮膚歪においては力覚の生起及び振動による増強は確認できなかった。これは伸展方向への皮膚歪が不十分であったことが考えられる。

また、振動提示をした際に、何人かの被験者から指を思わず動かしてしまうほどの強い力覚を感じたことが報告された。これは我々の手法が振動を提示するだけで制御可能な力覚提示装置への応用可能性を示唆していると言える。

4. おわりに

本論文では、屈曲・伸展方向に皮膚歪を指の基節骨部に発生させ、振動重畳することで知覚する力覚が増幅する現象を報告した。指に対して皮膚歪と振動を提示するデバイスを開発し、現象の一般性を確認するための実験を行った。実験の結果、屈曲方向の皮膚歪により力覚が生じ、さらに振動重畳を行うことで力覚が増強することを確認した。しかし、伸展方向の皮膚歪では現象を断定することができなかった。今後はシステムを改善し伸展方向への皮膚歪を安定して発生させることで、本現象のロバスト性を確認する。また開発したデバイスをVRアプリケーションのための小型でウェアラブルな触覚提示装置として応用していく。

謝辞

本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの助成を受けたものです。

文献

[1] T. H. Massie, J.K. Salisbury, "The PHANToM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects", In Proc. 3rd Symp. on Haptic Interface for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 1994, pp.295-300.

[2] M. Harders, A. Barlit, K. Akahane, M. Sato, G. Szekely, "Comparing 6dof haptic interfaces for application in 3d assembly tasks", In Proc. of Eurohaptics 2006, 2006.

[3] P. Kadlec, "Overview of current developments in haptic APIs", In Proc. of CESC 2011, 2011.

[4] Immersion Co., "The CyberGrasp: Groundbreaking haptic interface for the entire hand", 2003.

[5] Y. Kuniyasu, M. Sato, S. Fukushima, H. Kajimoto, "Transmission of forearm motion by tangential deformation of the skin", In Proc. of 3rd Augmented Human Int. Conf., 2012.

[6] V. Yem, H. Kuzuoka, N. Yamashita, S. Ohta, Y. Takeuchi, "Hand-skill learning using outer-covering haptic display", In Proc. of EuroHaptics '14, Lecture Notes in Computer Science, 2014, pp. 201-207.

[7] K. Shikata, Y. Makino, H. Shinoda, "Inducing Elbow Joint Flexion by Shear Deformation of Arm Skin", In Proc. of World Haptics Conference 2015, 2015, WIP30.

[8] K. Minamizawa, D. Prattichizzo, S. Tachi, "Simplified design of haptic display by extending one-point kinesthetic feedback to multipoint tactile feedback", In Proc. of IEEE Haptics Symposium 2010, Walton, 2010, pp.257-260.

[9] M. Solazzi, W.R. Provancher, A. Frisoli, M. Bergamasco, "Design of a SMA actuated 2-DoF tactile device for displaying tangential skin displacement", In Proc. of IEEE World Haptics Conf. (WHC 2011), 2011, pp. 31-36.

[10] 中村拓人, 西村奈令大, 蜂須拓, 佐藤未知, 梶本裕之 "手首ハンガー反射時の振動提示による力知覚増強", インタラクシオン 2015論文集, pp.46-48, 2015.

[11] B.B. Edin, N. Johansson, "Skin strain patterns provide kinaesthetic information to the human central nervous system." J. Physiol., 1995, Vol. 487(1), pp. 243-251.

[12] D. F. Collins, K. M. Refshauge, G. Todd, S. C. Gandevia, "Cutaneous receptors contribute to kinesthesia at the index finger, elbow, and knee", Journal of Neurophysiology, 2005, Vol.94 (3), pp.1699-1706.