

モータを用いた非対称回転による多指への疑似力覚呈示： 把持姿勢における検討

櫻木怜^{†1} Yem Vibol^{†1} 梶本裕之^{†1}

概要：人が物体に触れた際に感じる触力覚は物体の硬さや大きさ、質感の手がかりとなる。一方、往復で加速度の異なる非対称な振動刺激を提示することで一方向に引っ張られているような疑似力覚を生起することが知られている。本研究は親指と人差し指に装着した DC モータの非対称回転による疑似力覚現象について、指 2 本での把持姿勢の際の疑似力覚呈示における適切なモータ振動の周波数の検証を行った。

Pseudo Force Sense Presentation to Multiple Fingers by Asymmetric Rotation Using a Motor: Consideration in Grasping Posture

REI SAKURAGI^{†1} YEM VIBOL^{†1}
HIROYUKI KAJIMOTO^{†1}

Abstract Haptic sensation felt when a person touches an object becomes a clue of the hardness and size of the object, and texture. Meanwhile, it is known that a pseudo force sense as if pulled in one direction is generated by presenting an asymmetrical vibration stimulus with different acceleration in round trip. In this research, we investigated the frequency of suitable motor vibration in pseudo force sense presentation in the grasping attitude with two fingers about the pseudo force sense phenomenon due to the asymmetric rotation of the DC motor worn on the thumb and forefinger.

1. はじめに

人が物体に触れた際に感じる触力覚は物体の硬さや大きさ、質感の手がかりとなる。この触力覚をバーチャルリアリティ (VR) 環境において再現する試みは多岐にわたる。ユーザがバーチャルな物体に触れた際、実際にユーザの指ないし把持物を物理的に駆動することで手指への触力覚を生じさせる手法は、外骨格型[1]や把持型[2][3][4]など、主にロボティクスの技術の延長で研究開発されているが、これらは装置が大型で複雑化しやすいといった問題を抱えている。

指先の手掌部全体に振動子を配置し、振動刺激を呈示するグローブ型[5][6][7][8]デバイスは、触力覚のうち狭義の触覚(皮膚感覚)、それも振動感覚のみ呈示することで装置のウェアラブル化を図っているが、力覚がないために例えば接触対象の形状認識に多大な時間を要するという問題があった。また皮膚感覚のうち圧覚を呈示する手法も多数提案されているが[9][10][11][12]、複数のモータか、ベルトやリンク機構などの複雑な機構を必要とするものであった。

通常、力覚呈示を行うためには装置を接地させ、アクチュエータを用いてユーザとのインタフェースとなる部分に反力を与えることが必要となる。しかし人間の知覚特性を利用することにより、往復で加速度の異なる非対称振動を呈示すると一方向に引っ張られている感覚が知覚され、疑

似的に力覚を再現できることが知られている[13][14][15][16][17]。コンパクトな振動装置で力覚の手がかりを与える有力な手段であるが、これまでこの現象は、人が振動子を「把持」した状態でしか観察されておらず、指先に装着して VR 用のグローブにする試みは無かった。

これに対して Yem らは、回転型の DC モータを指先に搭載した際に往復で加速度の異なる非対称な回転を呈示することで疑似的な力覚が生起することを発見した[18]。この現象は従来の振動による疑似力覚呈示に近い現象と考えられるが、振動子を把持せず指に装着する状態でも感じることができる。このため VR 用のグローブのために利用可能であると考えられる。

本稿ではこの、DC モータの非対称回転による疑似力覚現象について、実際の VR 環境における物体の把持の状況を想定し、指 2 本での把持姿勢の際の疑似力覚呈示における適切なモータ振動の周波数の検証を行った。

2. 装置概要

本装置の外観を図 1 に示す。

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro Communications

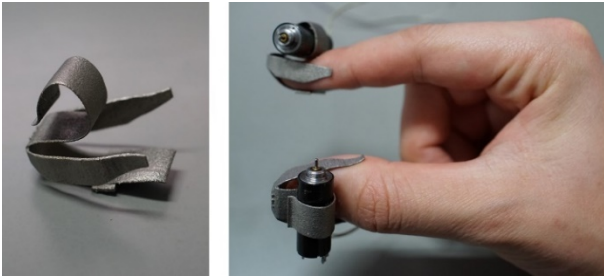


図 1 装置外観

Figure 1 Device appearance

疑似力覚呈示装置は DC モータ(Maxon, 118396), モータ固定サック, アンプ(Muse, M50), PC で構成される. DC モータを指先に固定するためのサックは 3D プリンタで出力したステンレス製金属で, 指先に対してピッチ方向にモータ軸が回転する方向に装着することができる. この時, ユーザに呈示可能な疑似力覚はピッチ軸方向となり, 指にとっては指腹-指背方向の力として感じられる (図 2).

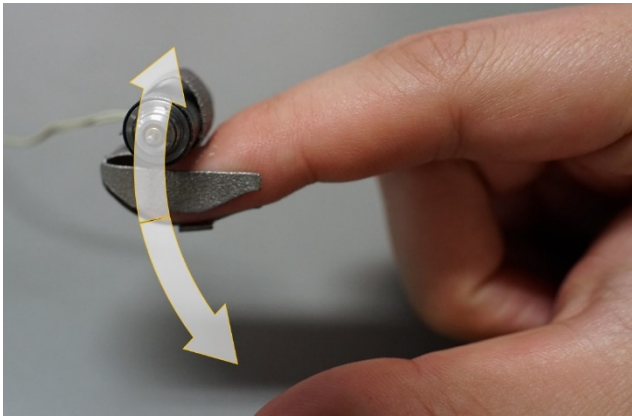


図 2 指に対して呈示ができる疑似力覚の向き

Figure 2 Orientation of pseudo force sense that can be presented to fingers

予備実験により指先方向に対してモータ軸の先端を左側直交する向きに向けた状態で装着した際に DC モータにのこぎり波, 逆のこぎり波を入力した場合, 指背, 指腹方向に疑似力覚を生じることを確認した (図 3).

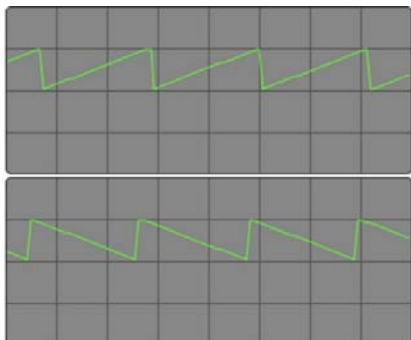


図 3 のこぎり波 (上) と逆のこぎり波 (下)

Figure 3 Sawtooth wave (upper) and reverse sawtooth wave (lower)

3. 実験

3.1 実験概要

DC モータを用いてユーザに疑似力覚を生起させる際に, 呈示する刺激の適切な周波数を調査するため実験を行った. 親指と人差し指に同時に刺激を呈示した際に感じられる疑似力覚の方向の組み合わせを用意し, 被験者にそれを回答させた.

3.2 実験条件

実験は研究室内のメンバ 8 名 (男性 8 名, 22~28 歳, 全員右利き) を被験者として行った. 呈示刺激には往復で加速度の異なる非対称な振動刺激として, 波形生成ソフト (Max/MSP) でのこぎり波を生成し利用した. 振動刺激の周波数は 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80Hz とし, 振動刺激の印加電圧値は 6, 12V とした. 2 本の指にそれぞれ独立した振動刺激を呈示するため, 生起が期待される疑似力覚の方向の組み合わせは 4 通り存在する (図 4). 以降, 両指に指腹方向への疑似力覚呈示を行う条件を条件 1, 親指に指腹方向, 人差し指に指背方向の疑似力覚呈示を行う条件を条件 2, 親指に指背方向, 人差し指に指腹方向の疑似力覚呈示を行う条件を条件 3, 両指に指背方向への疑似力覚呈示を行う条件を条件 4 とする.

		人差し指	
		内側	外側
親指	内側	条件1 	条件2
	外側	条件3 	条件4

図 4 親指と人差し指に生起する力覚の組み合わせ

Figure 4 Combination of force sensation occurring in thumb and index finger

3.3 実験手順

実験中の様子を図 4 に示す. 被験者は右手の親指と人差し指にデバイスを装着し, DC モータからの音や外部ノイズの影響を抑えるためノイズキャンセリングヘッドホンを用いて聴覚をマスクした.

各被験者はキーボード操作によって刺激呈示の開始と回答が可能であり, 各刺激は最長で 10 秒間呈示された. 被験者は呈示された刺激によって知覚した疑似力覚の組み合わせを図 4 に示した 4 条件もしくは力覚なしとして回答し, 刺激の呈示は回答を行った時点で終了した.

順序効果を考慮し, 被験者ごとに各条件を 2 回ずつ, ランダムな順番で計 128 試行測定を行った (疑似力覚 4 条件 × 周波数 8 条件 × 電圧値 2 条件 × 2 回).

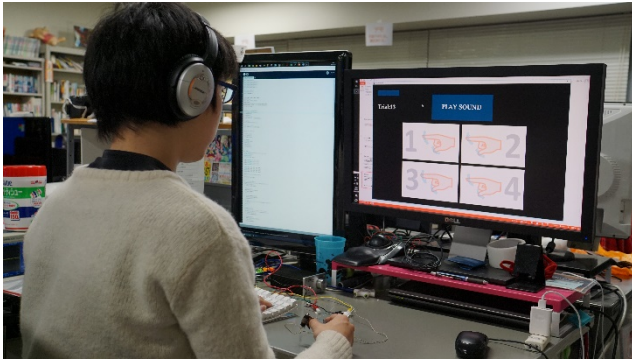


図 5 実験中の様子

Figure 5 State of the experiment

3.4 実験結果および考察

全被験者の各周波数における疑似力覚の知覚の組み合わせの正答率をまとめたグラフを図 6 図 6 に示す。グラフの横軸は各周波数を、縦軸は回答の正答率を表している。

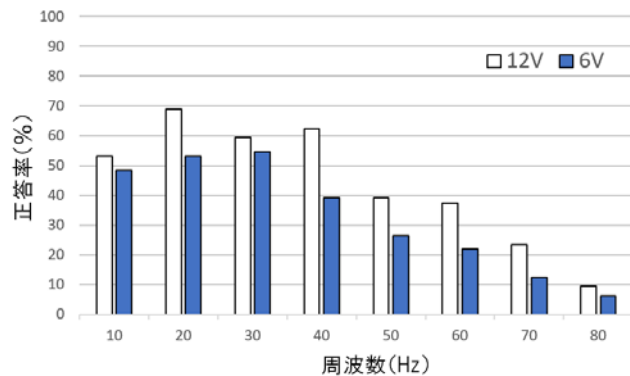


図 6 各周波数における正答率

Figure 6 Correct answer rate at each frequency

グラフより、30Hz 以下の周波数において比較的高い正答率となる傾向が見られた。また、40Hz の振動刺激を提示した際には提示刺激の強度によって正答率に差が見られた。加えて、低い周波数の振動刺激が提示された際、より強く疑似力覚が生起したという内観報告がほぼすべての被験者から得られた。

この結果をもとに、50Hz 以上の周波数を取り除いた 12V における各刺激提示条件におけるユーザの回答の割合をまとめたものを表 1 に示す。

表 1 印加電圧 12V 時の各条件における回答率 (%)

Table 1 Response rate under each condition at applied voltage 12V

		回答				
		条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	力覚なし
呈 示 刺 激 条 件	1	71.88	7.81	6.25	3.13	10.94
	2	17.19	62.50	0.00	6.25	14.06
	3	17.19	3.13	59.38	6.25	14.06
	4	7.81	12.50	26.56	42.19	10.94

表中の橙色の項目は呈示刺激と被験者の回答が一致した試行の割合を示す。これらの組み合わせのうち、条件 1 においての一致回答率が最も高く、条件 4 が最も低い結果となった。これは、指を屈曲する側の刺激をより明瞭に感じ、指を伸展する側の刺激を感じにくかったと解釈される。この一つの理由は、今回完全な脱力姿勢ではなく、親指と人差し指を平行にした恥の姿勢を取らせており、これによって指の伸展筋がより活動していたことにより、伸展方向の感度が相対的に鈍くなっていた可能性が考えられる。また、指を進展させる外力は指を屈曲させる外力よりも日常的に多く体験しており、逆にこのために指を屈曲させる外力を日常とは異なる体験として鮮明に知覚した可能性もある。

一方で、条件 1 に対する条件 4、条件 2 に対する条件 3 といった両指への提示刺激が逆となる組み合わせの回答率は非常に低く、被験者は少なくとも片方の指には期待された方向への疑似力覚が生起していたと考えられる。

4. おわりに

本稿では DC モータを指先に装着するタイプのデバイスを用いて、往復で加速度の異なる非対称回転による疑似力覚現象を用いて多指に疑似力覚を提示するマスタハンドのための予備的検討を行った。親指と人差し指に対して指腹-指背方向に対して 4 つの疑似力覚呈示の組み合わせ条件を用意し、疑似力覚の生起に適切なモータ振動の周波数の検証を行った。実験の結果、特に 40Hz 以下でユーザは少なくとも一方の指において疑似力覚を期待通りの方向に生起している割合が高かった。

今後は手指 5 本による把持姿勢における疑似力覚の呈示や、最適な波形、最適なモータの構造などについての検討を進める。

謝辞

本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた。

参考文献

- [1] Sato, K., Minamizawa, K., Kawakami, N., & Tachi, S. Haptic teleexistence. In *ACM SIGGRAPH emerging technologies* (Article No. 10). 2007.
- [2] Kim, S., Hasegawa, S., Koike, Y., & Sato, M. Tension based 7-DOF force feedback device: SPIDAR-G. In *IEEE Virtual Reality, Proceedings*. (pp. 283-284). 2002.
- [3] Falcon, N. Novint Technologies. 2016.
- [4] Haption, V. 6D35-45 6-DoF haptic interface. 2012.
- [5] Astrauskas, M. CyberTouch gloves. 2008.
- [6] Jonatandsiulmes, J. M., García, A., & Oliver, M. Identifying 3D Geometric Shapes with a Vibrotactile Glove. (pp. 42-51). 2014.
- [7] Pabon, S., Sotgiu, E., Leonardi, R., Brancolini, C., Portillo-Rodríguez, O., Frisoli, A., & Bergamasco, M. A data-glove with vibro-tactile stimulators for virtual social interaction and rehabilitation. In *10th Annual Intl Workshop on Presence*. (pp. 345-348). 2007.
- [8] Tanabe K., Takei, S., Kajimoto, H. (2015, June). The Whole Hand Haptic Glove Using Numerous Linear Resonant Actuators. In *IEEE World Haptics Conference (WHC WIP)*. 2015.
- [9] Minamizawa, K., Fukamachi, S., Kajimoto, H., Kawakami, N., & Tachi, S. Gravity grabber: wearable haptic display to present virtual mass sensation. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies* (Article No. 8). 2007.
- [10] Inaba, G., & Fujita, K. A pseudo-force-feedback device by fingertip tightening for multi-finger object manipulation. In *Proc. of EuroHaptics* (pp. 475-478). 2006.
- [11] Pacchierotti, C., Salvietti, G., Hussain, I., Meli, L., & Prattichizzo, D. The hRing: A wearable haptic device to avoid occlusions in hand tracking. In *IEEE Haptics Symposium* (pp. 134-139). 2016.
- [12] Brown, J. D., Ibrahim, M., Chase, E. D., Pacchierotti, C., & Kuchenbecker, K. J. Data-driven comparison of four cutaneous displays for pinching palpation in robotic surgery. In *IEEE Haptics Symposium* (pp. 147-154). 2016.
- [13] Amemiya, T., & Gomi, H. Distinct pseudo-attraction force sensation by a thumb-sized vibrator that oscillates asymmetrically. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications* (pp. 88-95). 2014.
- [14] Rekimoto, J. Traxion: a tactile interaction device with virtual force sensation. In *ACM SIGGRAPH emerging technologies* (Article No. 25). 2014.
- [15] Amemiya, T., Ando, H., & Maeda, T. Virtual force display: Direction guidance using asymmetric acceleration via periodic translational motion. In *IEEE World Haptics Conference* (pp. 619-622). 2005.
- [16] Tanabe, T., Yano, H., & Iwata, H. Properties of proprioceptive sensation with a vibration speaker-type non-grounded haptic interface. In *IEEE Haptics Symposium* (pp. 21-26). 2016.
- [17] Culbertson, H., Walker, J. M., & Okamura, A. M. Modeling and design of asymmetric vibrations to induce ungrounded pulling sensation through asymmetric skin displacement. In *IEEE Haptics Symposium* (pp. 27-33). 2016.
- [18] Yem, V., Okazaki, R., & Kajimoto, H. Vibrotactile and pseudo force presentation using motor rotational acceleration. In *IEEE Haptics Symposium* (pp. 47-51). 2016.