

モータを用いた非対称回転による多指への疑似力覚提示(第三報)

—最適な波形の選出—

○櫻木 怜 (電気通信大学), Vibol Yem (電気通信大学), 梶本 裕之 (電気通信大学)

Pseudo Force Presentation to Multiple Fingers by Asymmetric Rotational Vibration Using a Motor: Selection of Optimum Waveform

○Rei Sakuragi (University of Electro Communication), Vibol YEM (University of Electro Communication), and Hiroyuki KAJIMOTO (University of Electro Communication)

Abstract: It is known that pseudo force sensation is caused by presenting vibration with different accelerations in a round-trip. We proposed a method to present pseudo force sense to multiple fingertips by using asymmetric rotational vibration of DC motor by the previous report. In this paper, we select optimum waveform and frequency for presentation of this pseudo force sense.

1. はじめに

人が物体に触れた際に感じる触覚および力覚は物体の硬さや大きさ, または質感の手がかりとなる. 力覚のフィードバックに限定して考えた場合, 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[1]. 一方で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提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[2][3][4][5][6]. ただし多くの場合, 二本以上の指で把持しなければならなかった.

Yemらは, 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提示することで疑似的な力覚が生起することを発見した[7]. この現象は従来の振動による疑似力覚提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.

これまでに我々は, この指先に装着したDCモータに出力した鋸波によって生起する疑似力覚について, 提示に最適な周波数の選定およびユーザが感じている疑似力覚の強さの定量化について報告した[8][9][10].

本稿では, 往復で加速度の異なる複数種類の非対称振動の波形の違いによって生起する疑似力覚の明瞭さ

の比較検討について報告する.

2. デバイス構成

本装置の外観を Fig. 1 に示す.

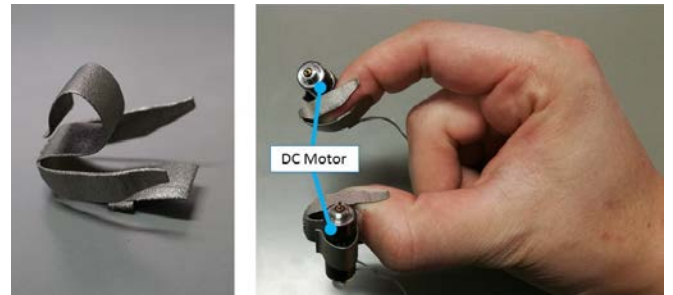


Fig. 1 装置外観

疑似力覚提示装置は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向きに装着することができる. このデバイスを装着した状態でモータに鋸波または逆鋸波を提示することで, ユーザは指に対して指腹-指背方向の疑似力覚として感じられる (Fig. 2) [8][9][10].

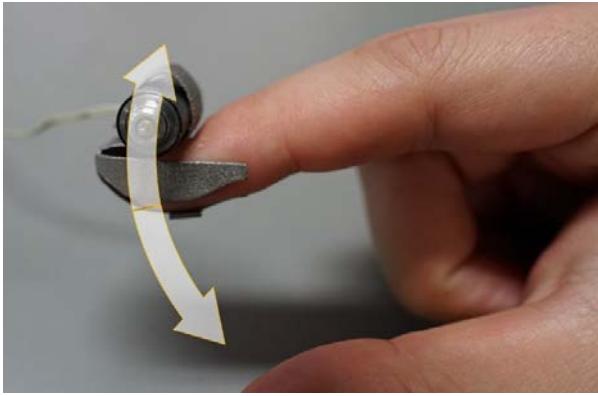


Fig. 2 指に対して提示ができる疑似力覚の向き

3. 実験

往復で加速度の異なる複数周囲の非対称振動の波形の違いによって生起する疑似力覚の明瞭さについて検証する。

3.1 実験条件

実験は国内学会 CEDEC2017 の参加者 21 名および研究室の学生 8 名の計 29 名（男性 29 名，21-54 歳，平均 29.9 歳）で行った。

提示刺激としては往復で加速度の異なる非対称振動を 5 種類，3 つの周波数（15，30，60Hz）ごとに計 15 種類用意した。

波形の選定は予備実験よりまず鋸波を選択し，次に鋸波，正弦波，三角波，パルス波の信号をそれぞれ正方向と負方向への入力時間比が 3 : 1 となるように 2 サイクル目の波形を反転させたものを波形生成ソフト（Processing）により作成し（Fig. 3），連続する振動による知覚鈍麻を考慮して 1 秒ごとに ON/OFF を繰り返して提示した。この 2 サイクル目を反転させる手法は田辺らによって正弦波について提案されたものである[5]。刺激は予備実験を元に，指腹から指背方向へ疑似力覚が生起するように提示した。以降，正方向と負方向への入力時間比を 3 : 1 で作成した波形を 3 : 1 波形と呼称する。

波形1 鋸波

波形2 3 : 1 鋸波

波形3 3 : 1 正弦波

波形4 3 : 1 三角波

波形5 3 : 1 矩形波

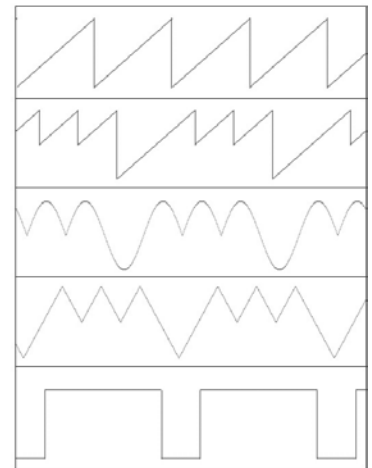


Fig. 3 実験に使用した波形

3.2 実験手順

実験中の様子を Fig. 4 に示す。被験者は右手の人差し指にデバイスを装着し，手首が机に接する状態で楽な姿勢で実験を行った。このとき人差し指は机に接しないように，実験中可能な限り動かさずに姿勢を維持するよう指示した。

はじめに，被験者はランダムに提示された刺激に対し，感じる疑似力覚が振動に対して最も明瞭に感じられる点にアンプのボリュームを調整し，その後感じた疑似力覚の振動に対する明瞭さを 7 段階リッカートスケールでタブレットに回答した。

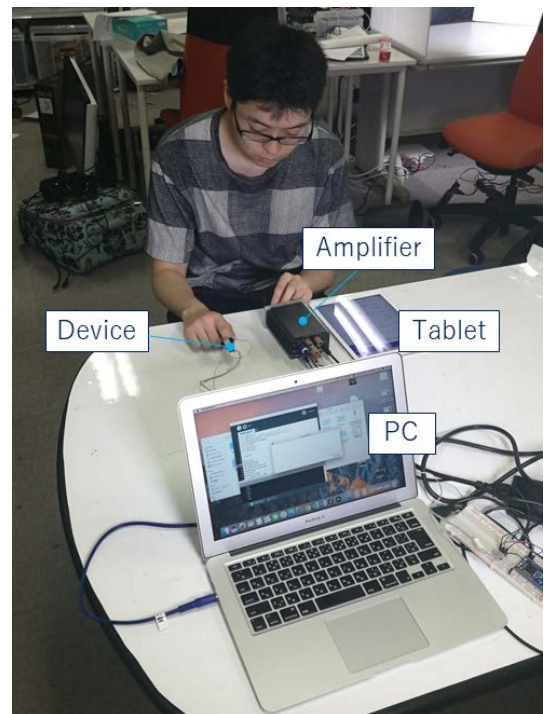


Fig. 4 実験の様子

3.3 実験結果

各波形の被験者の回答を箱ひげ図にまとめたものを Fig. 5 に示す。図の縦軸は被験者の7段階リッカートスケールでの回答を表し、数値が大きいほどよりクリアに力覚を感じたことを示す。横軸は各波形の条件、すなわち波形と周波数を表す。また各ボックスの上辺、内部の線、底辺はそれぞれ第三四分位数、中央値、第一四分位数を表す。

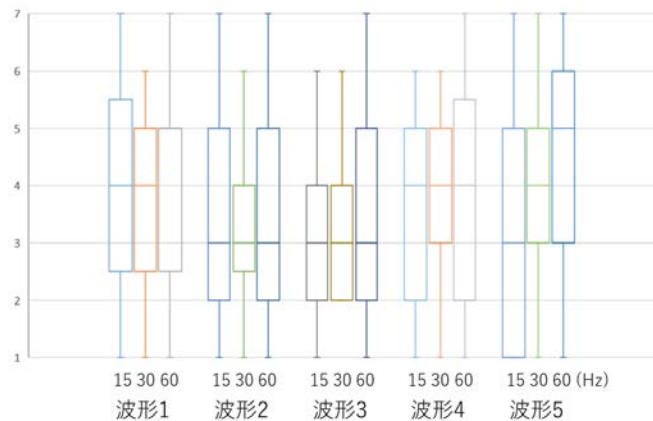


Fig. 5 実験結果

実験結果より、これまでに疑似力覚の提示を行う際に使用していた低い周波数（15Hz）の鋸波に加え、高い周波数（60Hz）の3：1矩形波においてユーザが力覚を比較的クリアに感じていることが分かった。これより、波形によって疑似力覚の提示に最適な周波数はそれぞれ異なり、ユーザの感じる疑似力覚が鋸波以外の波形によっても生起させることができることがわかった。

4. まとめ

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って生起する疑似力覚について、異なる波形ごとに感じる疑似力覚について比較検討を行った。右手の人差

し指に対して指腹から指背方向に疑似力覚を提示し、5種類の非対称な波形によって生起する疑似力覚の明瞭さの検証を行った。実験の結果、これまでに良いとしていた低い周波数（15Hz）の鋸波に加え、高い周波数（60Hz）の3：1矩形波において疑似力覚が明瞭に感じられていることが分かった。

今後はユーザが疑似力覚を感じている際の皮膚のせん断方向への変位量や物理量の測定などについて検討を進める。

参考文献

- [1] Haption, <http://www.haption.com>
- [2] Amemiya, T., and Gomi, H., "Distinct Pseudo-Attraction Force Sensation by a Thumb-Sized Vibration that Oscillates Asymmetrically," In Proceedings of EuroHaptics 2014, Springer Part II, pp. 88-95, 2014.
- [3] Rekimoto, J., "Traxion: a tactile interaction device with virtual force sensation", In Proceedings of ACM Symposium User Interface Software and Technology (UIST2013), pp. 427-432, 2013.
- [4] Amemiya, T., Ando, H., and Maeda, T., "Virtual Force Display: Direction Guidance using Asymmetric Acceleration via Periodic Translational Motion", In Proceedings of World Haptics Conference 2005, pp. 619-622, 2005.
- [5] Tanabe, T., Yano, H., and Iwata, H., "Properties of Proprioceptive Sensation with a Vibration Speaker-Type Non-Grounded Haptic Interface." In Proceedings of Haptics Symposium 2016, pp.21-26, 2016.
- [6] Culbertson, H., Walker, M. J., and Okamura, M. A., "Modeling and Design of Asymmetric Vibrations to Induce Ungrounded Pulling Sensation Through Asymmetric Skin Displacement." In Proceedings of Haptics Symposium 2016, pp. 27-33, 2016.
- [7] Yem, V., Okazaki, R., and Kajimoto, H., "Vibrotactile and Pseudo Force Presentation using Motor Rotational Acceleration." In Proceedings of IEEE HapticsSymposium 2016, pp. 47-51, 2016.
- [8] 櫻木, Yem, 梶本, "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" インタラクション2017 (第21回一般社団法人情報処理学会シンポジウム) 2017.
- [9] 櫻木, Yem, 梶本, "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 (第二報) —生起疑似力覚の定量化—" ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017.
- [10] Sakuragi, R., Yem, V., Kajimoto, H., "Pseudo Force Presentation to Multiple Fingers by Asymmetric Rotational Vibration Using a Motor: Consideration in Grasping Posture." IEEE World Haptics Conference, 2017.