



非対称振動による 3 次元仮想力覚デバイスの 方向提示能力の検証

Verification of Directional Presentation Capability of a 3D Virtual Force Device
using Asymmetric Vibrations

廣田優奈¹⁾, 坂東裕太²⁾, 長原末緒²⁾, 西澤昌宏¹⁾, 中田崇行²⁾

Yuna HIROTA, Yuta BANDO, Mio NAGAHARA, Masahiro NISHIZAWA, and Takayuki NAKATA

1) 富山県立大学 情報工学部 情報システム工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

2) 富山県立大学大学院 工学研究科 電子・情報工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

概要: 仮想力覚とは, 非対称振動によって与えられる疑似的な牽引力であり, ゲームコントローラ等への応用が期待される. 本研究では X, Y, Z 軸にそれぞれ対応する振動子を配置した仮想力覚提示デバイスを用いる. 3 軸の疑似的な牽引力のベクトル合成によって表現可能な 26 方向の力覚を生成し, その識別精度を調べた. 26 方向は立方体の中心から各面および各辺の中心と各頂点に向かう方向の合計値である. 今回はそのデバイス設計, 実験および考察を報告する予定である.

キーワード: 仮想力覚, アクチュエータ, 力覚, 非対称振動

1. はじめに

仮想力覚とは非対称振動を用いて提示する疑似的な力覚のことである. 非対称振動とは瞬間的に変化する加速と緩やかに変化する加速を繰り返す振動を指す[1].

仮想力覚デバイスは2次元方向提示のものが提案されている[1,2]. Heya ら[3]は 1 次元の非対称振動デバイスを 3 軸方向にそれぞれ2個, 計6個配置し, 提示する軸方向を切り替えることで3次元的な仮想力覚を提示する手法を提案した. しかし, これは提示方向がデバイスの軸方向の6方向のみに限られ, 方向を増やすためには振動子の新たに追加する必要があり, 構造が複雑になる. また, 指腹に対して法線方向に提示する振動は従来の水平方向提示と比較し, 仮想力覚を知覚しづらいことが知られている[4]. 一方で, Heya らの手法はこのような指腹に対する知覚特性を十分考慮した把持姿勢ではないため, 仮想力覚をあまり強く提示できない可能性が考えられる. そこで本研究では, 嘉指ら[2]の振動合成の手法を 3 次元に拡張することで, 把持姿勢を考慮しつつ任意の3次元方向提示を目的とする.

2. 把持姿勢およびデバイス設計

前述の通り, 指腹に対して法線方向に非対称振動を提示すると仮想力覚が弱く感じられる可能性がある. そこで本研究では, 図1に示すようにデバイスの把持部分を傾斜にすることで3次元提示を図る. 上下方向は指腹の2点に対して斜め方向に非対象振動を提示する. このとき上下方向については,

指腹の2点に対して斜め方向に非対称振動を提示し, 左右斜め方向に生じた仮想力覚ベクトルの合力として表現する. この構造では, 指腹の皮膚をせん断力で変形させることになるため, 指腹の法線方向に直接提示するよりも強い牽引力錯覚を生じさせることが期待できる.

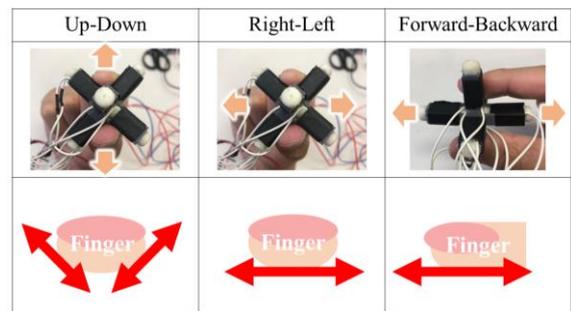


図1 把持姿勢と提示方向



図2 3次元仮想力覚デバイス

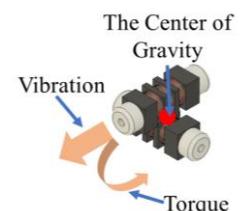


図3 トルクの発生

次に本研究のデバイスを図2に示す。これは6つのリニアアクチュエータを1軸につき2つずつ計3軸方向に設置している。アクチュエータを重ねて配置する方法は採用しなかった。図3のように重ねると、一方のアクチュエータのみが振動した際にトルクが発生するため、純粋に仮想力覚のみを知覚させることができないためである。

3. 実装

本デバイスで用いたアクチュエータは、図4のように3Dプリンタで造形した外殻にコイルを巻き、内部に磁石を入れて作成した。非対称振動は、デバイスの同軸上のリニアアクチュエータを同期させ、Arduino Unoを用いてPWM制御することで生成した。生成された矩形波をアンプで増幅し、デバイス全体を振動させた。図5に生成波形およびアンプ増幅信号の例を示す。

現在、参加者に対して26方向の弁別実験を計画中である。各方向について8回の提示を行うが、一回の実験にかかる時間を考慮し、実験を2つのブロックに分ける。各ブロックで4回の提示を行い、1ブロックにつき104回の方向提示を実施する。図6に実験のイメージを示す。右は実験風景、左は左手の回答用デバイスの把持の様子を示す。実験中、被験者にはノイズキャンセリング機能を装備したヘッドホンを装着させ、周囲の音が聞こえない程度の音量のホワイトノイズを提示する。これは環境音や仮想力覚提示装置による駆動音が回答に影響することを防ぐためである。実験中の被験者は開眼状態とする予定である。これは、回答用デバイスの誤操作を防ぐために、被験者がデバイスを通して回答した方向をディスプレイに表示することで確認できるようにするためである。実験中、被験者は開眼状態であるため、目視によって装置の駆動から提示方向を推定できないように、箱の中で装置を把持させる。実験は、ランダムに方向を提示し、被験者が回答すると提示する方向を切り替える。提示時間は1.0秒である。実験の結果から本デバイスの知覚精度を計測し、仮想力覚提示能力を検証する。

4. まとめと今後の予定

本研究は、非対称振動を用いた3次元仮想力覚デバイスの設計と、その方向提示能力について検討する。従来の3次元仮想力覚提示デバイスは、把持姿勢が考慮されておらず、提示方向も6方向に限定されていた。本研究では仮想力覚の振動を合成することで提示方向を26方向に拡張する。

デバイス設計では3Dプリンタで造形した外殻にコイルを巻き、内部に磁石を配置したアクチュエータを作成した。また、アクチュエータを3軸方向に配置することで、提示するすべての方向を指腹に対して剪断方向に提示することを可能にした。現在、被験者に対して26方向の弁別実験を計画中である。各方向8回の提示を行うことで知覚精度を計測する。また、使用するアクチュエータの加速度と共振周波数の計測を行い、デバイス性能の最適化し、提示する力覚の精度を向上させる。

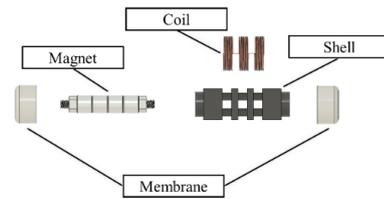


図4 仮想力覚提示装置

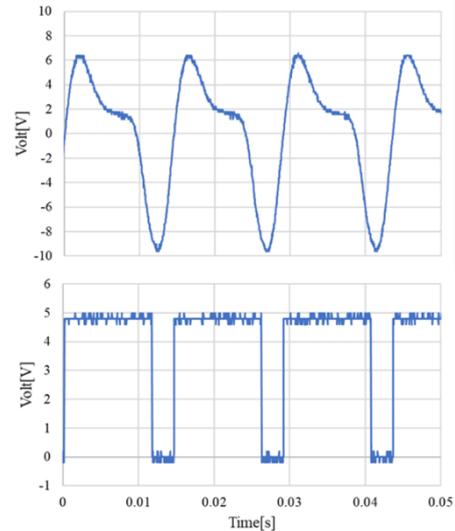


図5 信号(上:オーディオアンプで増幅させた信号, 下:PWM制御で生成した矩形波)

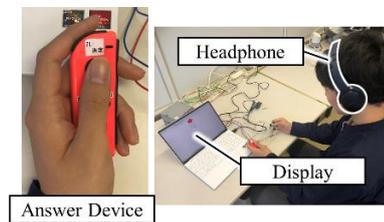


図6 実験環境

(左:左手, 中央:実験風景, 右:右手)

参考文献

- [1] T. Amemiya et al. "Phantom-DRAWN: Direction guidance using rapid and asymmetric acceleration weighted by nonlinearity of perception", Proc. Int. Conf. Augmented Tele-Existence, pp. 201-208, 2005.
- [2] 嘉指裕介ほか, "振動合成による仮想力覚提示装置の多方向化," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.24, no.4, pp.401-411, 2019.
- [3] A. Heya et al. "Development of Compact 3-Degree-of-Freedom Oscillatory Actuator," Journal of Robotics and Mechatronics, vol.35, no.5, pp.1312-1320, 2023
- [4] 田辺健ほか, "振動スピーカを用いた力覚提示手法の知覚特性," 計測自動制御学会論文誌, vol.53, no.1, pp.31-40, 2017