



受動的運動による視覚刺激を用いた 疑似力触覚提示に関する検討

Examination of Pseudo Haptics Presentation Using Visual Stimulus by Passive Movement

阿部法寛¹⁾, 中山雄介¹⁾, 青木広宙²⁾

Hokan Abe, Yusuke Nakayama, and Hiroki Aoki

- 1) 公立千歳科学技術大学 大学院理工学研究科 (〒066-8655 北海道千歳市美々758-65, m2210010@photon.chitose.ac.jp)
2) 公立千歳科学技術大学 大学院理工学部 (〒066-8655 北海道千歳市美々758-65, h-aoki@photon.chitose.ac.jp)

概要: 視覚と自己の運動との間に不整合が発生させることを視覚刺激として疑似力触覚の提示が行われるが、一般には、能動的運動時に視覚刺激の制御が行われる。本研究では、受動的運動による視覚刺激を用いた疑似力触覚提示について提案する。Leap Motion を用いて川の流れを体験する試作システムを構築し、同一の受動的運動による視覚刺激を制御した際の疑似力触覚生起に関して評価実験を行った。

キーワード: 疑似力触覚, 受動的な視覚刺激, 力覚, Leap Motion

1. はじめに

疑似力触覚とは、目で見えた“もの”の動きを認識する視覚と自己の運動の間に不整合が発生することで、視覚が優勢になるという錯覚現象のことである。

疑似力触覚を提示する方法は、現実における操作にと異なる変化する仮想的な視覚情報の変化量の比率を制御することである[1]。この比率を CD 比 (Control/Display Ratio, 入力量に対する出力量の比率) と言う。

例えば、箱を持ち上げるようなタスクにおいては、現実の手の移動量に対する仮想的な手の移動量を減らすことで、箱を重く感じさせるような疑似力触覚を提示することができる。この例は“箱を持ち上げる”という能動的な動作をとる疑似力触覚提示であるが、逆に粒子の流れに対して手を入れるという非能動的な動作において、手の動きに関する CD 比を制御するような受動的な視覚刺激により疑似力提示することも可能である [2]。

本研究では、受動的な動作時において CD 比の制御を行わずに疑似力触覚の提示が可能であるかについて検討する。検討を行うために、Leap Motion を用いて手の動きをトラッキングし、仮想空間で水の流れを体験するシステムを試作した。試作システムを用いて、同一の受動的運動に対して水の流れのスピードを視覚刺激として制御した際の疑似力触覚生起に関し、評価実験を行った。

2. 水の流れを体験する試作システム

本研究で用いる疑似力触覚提示システムにおいては、ハンドジェスチャをモーションキャプチャ可能な Leap Motion(図 1)を用いる。システムのソフトウェア開発においては、ゲーム開発を目的として開発された VC++用ライブラリ Siv3D を用いた。

図 2 に、システムの画面を示す。利用者は Leap Motion により画面に表示された手を上下左右に動かすことができる。Leap Motion を用いてトラッキングされるユーザの手の動きと画面に表示される仮想の手の動きとは対応しており、実際の手の動きを反映して仮想の手が上下左右に動く。本研究で試作したシステムは、利用者がイカダに乗った状態で海上を進んでいくような状況を想定している。画面に表示されている水やブイなどの背景が、イカダの進行方向によってスクロールする。

2.1 水の流れによる抵抗力

水中に手を入れた際には、水の流れによる抵抗力を視覚刺激として仮想の手の動きに反映させることで疑似力触覚を提示する(図 3)。水の流れに対抗するように手を操作した際には、手の移動量を低下させる。逆に、水の流れに従うように手を操作した際には、手の移動量を増加させる。水中にある時間帯だけ仮想の手の移動量を増減させる。また、水中に手を入れた際には、水の流れの影響によって仮想の手が振動したり、泡が発生したりする視覚効果を提示

する機能を用意した。

水中に手を入れた際には、水の流れに対して触れている手の表面積で抵抗力が変化し、仮想の手の移動量に影響する。

仮想の手の三次元座標 X' と実際の手の三次元座標 X との関係式は、以下の式(1)で表される。

$$X' = X + T \tag{1}$$

T は抵抗力を表しており、水が流れる方向を法線ベクトルとする平面に対する仮想の手の投影面積によって T の値が変化する。抵抗力 T と仮想の手の投影面積の関係は、以下の式(2)で表される。

$$T = \frac{1}{2} C_D U^2 D \tag{2}$$

C_D は抵抗係数、 U^2 はイカダの進む速度、 D は、仮想の手の投影面積をそれぞれ表しており、 D の値が変化することで抵抗力が変化する。ここで、 C_D の値は 1 とする。

なお、次章で述べるが、本研究においては U^2 の値は一定とし、水に手を入れたときに抵抗力には、仮想の手の投影面積のみが影響するものとする。



図1 Leap Motion

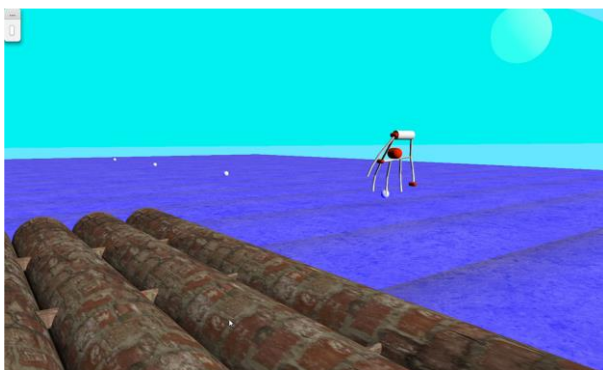


図2 システム画面

3. 実験方法

本実験では、水の流れを表している背景スクロール速度を変化させて、受動的な視覚刺激による疑似力触覚提示を試みた。水の流れの速度を変化させていない状態（比率 1 倍）を基本として、背景スクロール速度の比率を 0.6 倍、0.8 倍、1.2 倍、1.4 倍に増減し、5 段階の背景スクロール速

度を設定した。特筆すべき本実験の特徴としては、背景スクロール量の変化は水の流速の変化に対応するが、前章示した式(2)において U^2 は一定にするということである。すなわち、本実験では、背景スクロールの変化を基本的な視覚刺激の変化として用いて、疑似力触覚への影響を調べることに主眼を置く。

また、背景スクロール速度が高くなるにつれて、視覚効果として、仮想の手がより大きく振動したり、より多くの泡が発生したりする。本実験では、手の振動による視覚効果と泡の放出による視覚効果の有無についても比較項目とし、背景スクロール速度の変化を視覚刺激として与えたときの疑似力触覚生起に関して比較検討を行った。視覚効果の有無の組み合わせについて、表 1 に示すように、タスク 1~4 を設定した。

被験者は 20 代男性 3 名（被験者 A~C）であり、実験の実施に関しては文書による同意を得ている。

表 1 実験タスク

タスク 1	手の振動有, 泡の放出有
タスク 2	手の振動無, 泡の放出有
タスク 3	手の振動有, 泡の放出無
タスク 4	手の振動無, 泡の放出無

物理心理学における恒常法[3]に基づいて、提案手法による疑似力触覚提示について検証を行った。5 段階の背景スクロール速度がランダムで 36 回切り替わる。これを 4 つのタスクのそれぞれで実施した。

被験者には、背景スクロール速度が変化するタイミングで、「一つ前の試行より手が重く感じるか」という質問に対し Yes/No で回答してもらう。視覚刺激の差ごとに Yes と答えた割合（精度）を集計し、視覚刺激の差と精度の散布図に対してシグモイド関数で近似を行い心理曲線の式を求める。なお、Yes と回答した割合が高いほど、精度の値は 1 に近づき、No と回答した割合が高いほど 0 に近づく。また、心理曲線の波形がステップ波形に近いほど、被験者が小さい視覚刺激の差を正確に知覚できていることになる。

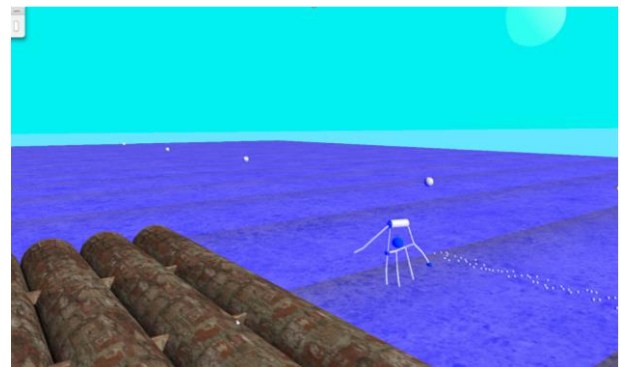


図3 水中に手を入れた際のシステム画面

4. 実験結果

被験者 A の各タスクの心理曲線を図 4 に、被験者 B の各タスクの心理曲線を図 5 に、被験者 C の各タスクの心理曲線を図 6 に示す。また、心理曲線を求める近似計算によるシグモイド関数のゲイン値について、表 2 にまとめた。

表 2 各タスクのゲイン値

被験者\ タスク	A	B	C
タスク 1	3.351	5.180	-0.083
タスク 2	2.535	2.578	-2.467
タスク 3	2.896	37.170	-2.467
タスク 4	1.702	2.313	-2.467

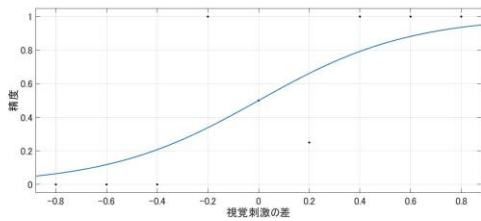
表 2 より、被験者 A については、タスク 1(図 4a)のゲイン値が、他のタスクと比べて高い値を示した。図 4a より、被験者 A は、 ± 0.4 の知覚刺激の差を正確に知覚できていたことがわかる。また、タスク 1 に次いでタスク 3(図 4c)のゲイン値が高く、手の振動が提示されているときの方が

視覚刺激の差を知覚しやすいことがわかった。

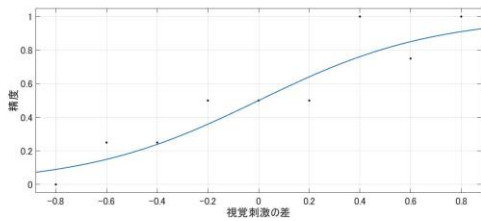
表 2 より、被験者 B については、タスク 3(図 5c)のゲイン値が、他のタスクと比べて高いことがわかった。図 5c より、被験者 B は、 ± 0.2 の知覚刺激の差を正確に知覚できていたことがわかる。また、タスク 3 に次いでタスク 1(図 5a)のゲイン値が高く、被験者 A と同様に、手の振動があるときの方が視覚刺激の差を知覚しやすいことがわかった。

表 2 より、被験者 C については、すべてのタスクにおいて正確に視覚刺激の差を知覚できていないことがわかった。実験において、被験者 C は、システムの提示する状況や現象にリアリティを感じることができなかったものと考えられた。

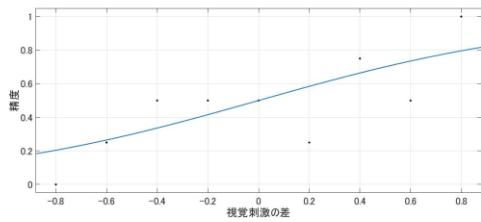
実験の結果、水中に仮想の手が存在するとき仮想の手を振動させることで、疑似力触覚を知覚する精度が変化することがわかった。しかし、被験者 C の結果より、システムのリアリティが欠如している可能性が考えられた。



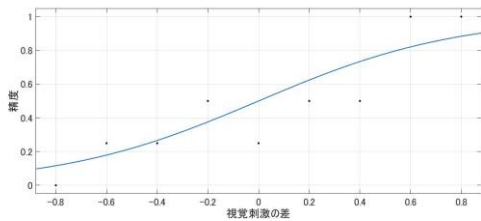
a. タスク 1 の心理曲線



b. タスク 2 の心理曲線

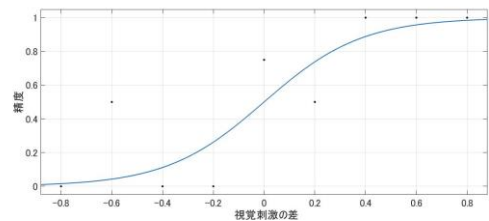


c. タスク 3 の心理曲線

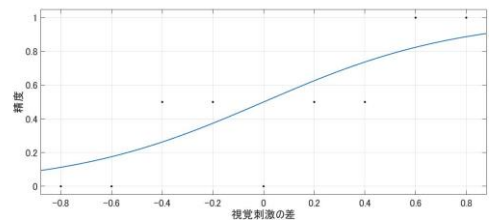


d. タスク 4 の心理曲線

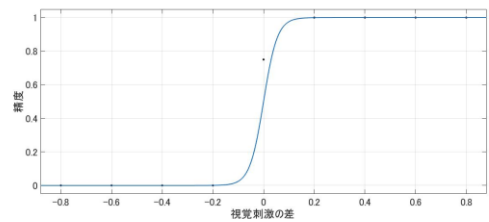
図 4 被験者 A の各タスクの心理曲線



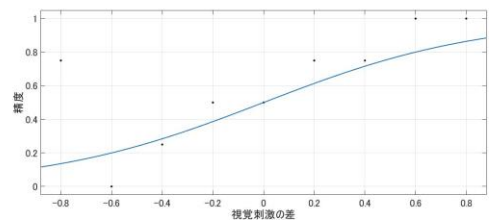
a. タスク 1 の心理曲線



b. タスク 2 の心理曲線



c. タスク 3 の心理曲線



d. タスク 4 の心理曲線

図 5 被験者 B の各タスクの心理曲線

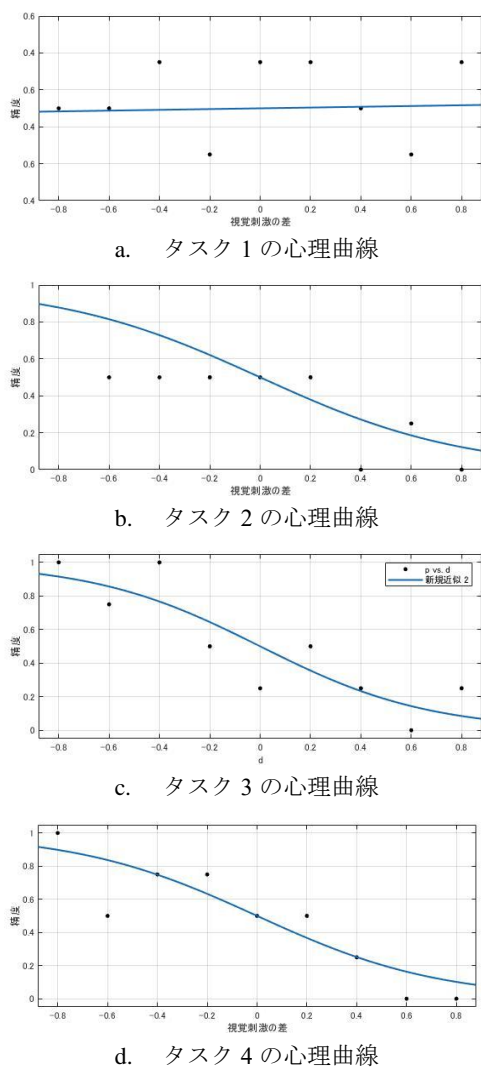


図 6 被験者 C の各タスクの心理曲線

5. おわりに

本研究では、受動的運動による視覚刺激を用いた疑似力触覚提示において CD 比の制御を行わずに疑似力触覚の提示提案が可能であるかについて検討を行った。

本実験では、水の流れを表している背景スクロール速度を変化させて、受動的な視覚刺激による疑似力触覚提示を試みた。

実験の結果、水に手を入れたときに視覚効果として提示される手の振動の有無で、疑似力触覚を知覚する精度が変化することがわかった。一方で、こちらが想定したように疑似力触覚が生起されない被験者もあり、システムの改善が望まれた。

今後、システムのリアリティの向上を行い、被験者の数を増やしていき、各タスクにおける心理曲線が示す傾向について検討をしていく必要があるものと考えている。

参考文献

- [1] 宇治士公雄介他：背景移動量操作を利用した視覚空間相互作用生起によるタッチパネルでの擬似触力覚提示, TVRSJ, Vol. 22, No. 3, pp. 305-313, 2017
- [2] A. Pusch, O. Martin, S. Coquillart, HEMP-Hand-Displacement-Based Pseudo-Haptics: A Study of a Force Field Application, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 67, Issue 3, pp. 256-268, 2009
- [3] G. A. Gescheider: 心理物理学方法・理論・応用(上巻), 北大路書房, pp. 37-44, 2002