

投影型バーチャルエアホッケーにおける 打突感提示のための視覚的刺激の検討

島森 洸^{1,a)} 鏡 慎吾^{1,b)} 橋本 浩一¹

概要: プロジェクタによる投影像として表示されるパックを物理的なマレットで打つバーチャルエアホッケーにおいて、より高い臨場感を得るための打突感提示方法について検討する。パイプレータによる振動やソレノイドによる撃力をマレット内で発生させる方法が考えられるが、そこにプロジェクタによる視覚刺激を加えることで、より高い打突感や指向性を付与できる可能性がある。本稿では、システム実装および適切な視覚刺激を設計するための評価実験について報告する。

Investigation on visual stimuli to elicit impact force sensation for projection-based virtual air hockey

Abstract: We investigate methodologies for displaying high realistic sensation of impact force in virtual air hockey games in which players hit a virtual puck projected on a screen board with a physical mallet. In addition to embedding physical haptic display devices such as vibrators and solenoids in the mallet, appropriate visual stimuli displayed by the projector are expected to elicit higher sensation of force and stronger directivity. We report implementation of a prototype virtual air hockey system and preliminary results of visual stimuli design evaluation.

1. 序論

プロジェクタによる投影像として表示されるパックを物理的なマレットで打つバーチャルエアホッケーゲームの実現を考える際、臨場感を高めるためには、マレットとバーチャルパックが衝突する際の打突感をどのように提示するかが課題となる。ソレノイドによる撃力発生装置やパイプレータなどをマレットに内蔵することが有望な手段であると考えられるが、マレットとして許されるサイズや重量の制約のため、十分強力な物理刺激を発生させられるとは限らない。特に打突の方向感までを提示したいと考える場合、打突が生じ得るあらゆる方向に対応した刺激装置をマレットに内蔵するのは現実的とはいえない。

そこで本研究では、擬似力覚を応用して打突感を増強することを考える。擬似力覚は Lecuyer らの研究 [1] に始まるもので、例えばユーザーの動作を反映して動くコンピュータ画面のポインタの位置や速度などに変化を加え

ることで、ユーザーに力触覚を感じさせることができることが知られている。また、ユーザーの動作を直接反映したオブジェクトの動きだけではなく、背景画像の動きによっても力触覚が生じ得ることが報告されている [2]。しかし、エアホッケーの打突感のような撃力に近い感覚をそのような視覚刺激によって与えることができるのか、特に方向感を提示することができるのかといった点は明らかになっていない。本研究は、これらの点を検証しバーチャルエアホッケーに適した視覚刺激について考察することを目的とする。

2. 実験

2.1 実験目的と方針

マレットに内蔵した撃力発生装置からの物理的的刺激と、エアホッケーの盤面に表示される映像による視覚的刺激を同時に提示し、その種類や組み合わせによって打突感の知覚が変化するかどうかを調べる。各施行においてどのような視覚的刺激が与えられたかは参加者は容易に知ることができるので、単純な主観評価では作為的反応の影響が懸念される。そのため、視覚的刺激の効果を直接評価する代わ

¹ 東北大学 Tohoku University

^{a)} takeru.shimamori.t3@dc.tohoku.jp

^{b)} swk@ic.is.tohoku.ac.jp

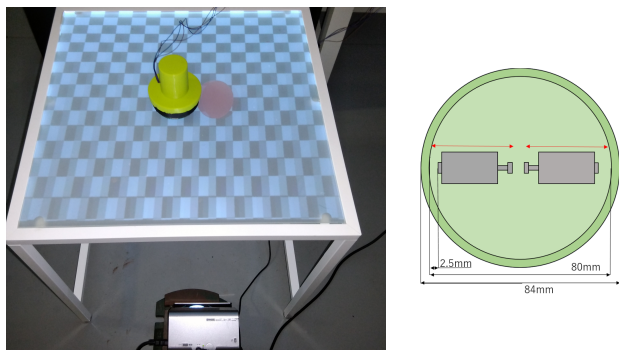
りに、ランダムに生じる物理的刺激の種類を判別することを参加者に課し、その回答が視覚的刺激によって擾乱されるかどうかを調べることとする。

2.2 装置と参加者

リア投影用スクリーンフィルムを貼ったガラステーブルを盤面とするバーチャルエアホッケーシステムを構築した。テーブル下側から、背景となる白黒チェスボードパターンとパックを表す赤色の円を LG 製プロジェクタ PH450UG により投影する。

盤面上にはポリ乳酸を材料として 3D プリンタで作製したマレットを用意し、ユーザーがこれを把持して操作する。マレットの動きは盤面を見下ろす高速カメラにより計測することを想定するが、本稿の実験では使用せず、マレットは常に盤面上の一定位置に置く。マレットの内側には Shenzhen Zonhen Electric 製ブッシュ型ソレノイド ZHO-0420S-05A4.5(5V) を左右に配置し、それらの鉄芯がマレット壁面を打突する。打突の強さは印加する電圧によって 2 段階で変化させることができる。参加者に課せられるのは、この物理的打突がマレットの左右のどちらで生じたかを判別するタスクである。

実験には健康な視力あるいは矯正視力を持つ 8 名の大学生と大学院生 (22 歳から 24 歳, うち 1 名は女性) が参加した。



(a) 投影の様子 (b) マレット内部の模式図
図 1 システム構成

2.3 実験手順

3 要因の参加者内計画による実験を行った。要因は以下の通りである。

要因 A: バーチャルパック映像の衝突方向 (左, 右の 2 水準)

要因 B: 背景映像の移動方向 (大きく左, 左, 固定, 右, 大きく右の 5 水準)

要因 C: 実際に作動したソレノイド (左 (強), 左 (弱), 右 (弱), 右 (強) の 4 水準)

バーチャルパック映像の移動速度は 500 pixel/s とし、ソレノイドが作動する瞬間にマレットに衝突するよう設定

した。ただし、1 pixel はスクリーン上で 0.55 mm に相当する。背景映像の移動はソレノイドの作動に同期して開始され、初速を 150 pixel/s または 100 pixel/s とする周期 0.2 s の減衰振動 1 周期分とし、1 周期で振幅がほぼ減衰し切るものとした。ソレノイドに印加する電圧は 12 V と 8 V とした。実験に先立ち、参加者はマレットを把持した状態で左右それぞれのソレノイドが作動した際の物理的刺激を提示され、どちらのソレノイドが作動したかを明示される。次に、視覚的刺激を与えずに左右のソレノイドの一方を無作為に作動させた際の物理的刺激から、参加者はどちらのソレノイドが作動したかを判別して回答する。これを、10 回連続して正答できるようになるまで繰り返す。この時点で参加者は、視覚的刺激の影響がない場合は左右のソレノイドの作動を正しく判別できていると考えられる。

以上の準備の後、実験を開始する。各参加者につき、2 水準 (要因 A) × 5 水準 (要因 B) × 4 水準 (要因 C) の 20 通りの条件のそれぞれを 5 試行ずつ、合計 200 試行を無作為な順序で行った。各試行の後、参加者は左右どちらのソレノイドが作動したかを判別して回答する。

2.4 実験結果

作動したソレノイドが右であると回答した場合を +1、左と回答した場合を -1 としたときの各条件での回答の平均値を要因ごとに図 2, 3, 4 に示す。エラーバーは標準偏差を表す。

分散分析の結果、要因 A について 5% 水準で、要因 C について 0.1% 水準で、それぞれ有意な主効果が認められた。要因 C の各水準間で Ryan 法による多重比較を行った結果、左側どうし (強と弱), 右側どうし (強と弱) のペア以外では有意差が認められた。要因 B の有意な主効果は認められず、また要因間の交互作用も認められなかった。

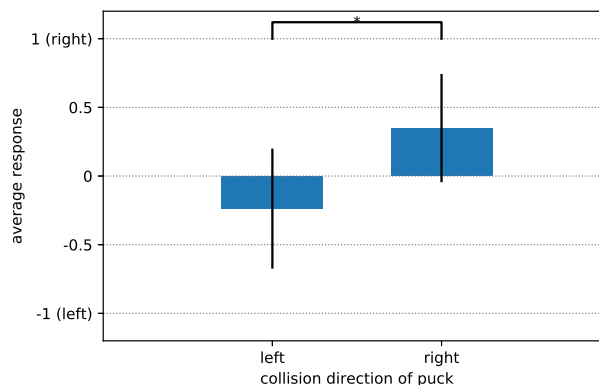


図 2 バーチャルパック映像の衝突方向による回答の変化

3. 考察

本実験では、事前準備による視覚的刺激がない状態で左右のソレノイド作動の判別ができるような条件を整えてい

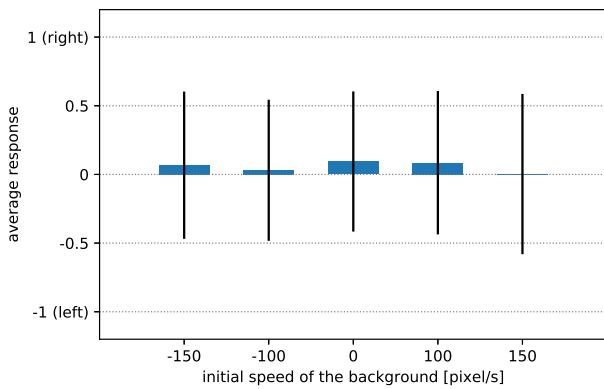


図 3 背景映像の運動による回答の変化

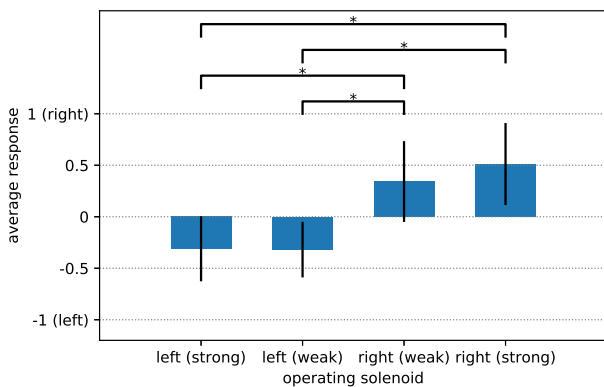


図 4 実際に作動したソレノイドの位置・強さによる回答の変化

参考文献

- [1] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet, "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?," *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2000 Conference*, pp.83-90, (2000).
- [2] Junji Watanabe "Pseudo-haptic Sensation Elicited by Background Visual Motion," *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol.1, Issue 2, pp.199-202, (2013).

る。実際のソレノイド作動位置が回答結果に強い効果を持つことはこれを反映しており、視覚的刺激を同時に与えた場合でも作動位置をほぼ正しく判別できているといえる。これに対し、視覚的刺激のうちパックの衝突方向も回答結果に有意な効果を持っており、すなわち物理的刺激の判別を攪乱する効果があることを示唆している。一方、より強い効果を得ることを狙って実装した背景映像の運動に関しては効果が見られず、視覚的刺激の効果を高めるにはさらなる検討が必要であるといえる。

4. 結論

本稿ではプッシュ型ソレノイドによる物理的刺激と、パック映像及び背景映像という視覚的刺激を組み合わせた投影型のバーチャルエアホッケーシステムについて検討した。視覚的刺激の影響下で正しく物理的刺激が認識できているか調査することで視覚的刺激の効果を評価し、パックの衝突方向が物理的刺激の方向性の認識に影響を与えていることが確認できた。今後の課題としては、より広範な条件下における視覚的刺激の影響力の調査やより適切な視覚的刺激の模索が挙げられる。

謝辞: 本研究の一部は 科研費 16H02853, 16H06536 および JST ACCEL JPMJAC1601 の支援を受けた。