

疑似触覚フィードバックを用いた非接触型仮想キーボードの評価 Consideration of a Virtual Keyboard with Pseudo Tactile Feedback

古部 正志郎[†] 平川 正人^{††}

Furube Shoshiro[†] Hirakawa Masahito^{††}

[†] 島根大学 自然科学研究科 ^{††} 島根大学 学術研究院 理工学系

1 はじめに

VR(Virtual Reality)の特徴は、Oculus rift や HTC vive などのHMD(Head Mounted Display) から提示される3D 仮想空間を1人称視点で観測することで、ユーザはまるで3D 仮想空間内にいるかのような没入感を体験することができることにある。しかし、HMD 装着時には現実の手元を確認することができないため、キーボードやマウスといった物理的な入力デバイスを使用することが難しい。そのため、VR アプリケーションの多くは専用のハンドコントローラを手を持って入力操作を行うようになっている。先行研究では、この問題を解決するためVR 上の非接触型文字入力手法が提案された[1]。非接触型文字入力手法は従来の接触型文字入力手法と比較して、物理的な機器の存在に捉われないといった利点がある。しかし、ジェスチャのような新しい入力手法による使用前の学習が必要であったり、接触型文字入力手法のような物理スイッチによる直感的操作ができないため、ユーザにストレスを与えるといった問題がある。

本研究では非接触型文字入力手法の問題を解決するため、従来から使用されるテンキー型のキーボードを仮想空間上に実装し、キー打鍵時に疑似触覚フィードバックを与えることで、操作を直感的に行わせるための仮想キーボードシステムについて検討する。疑似触覚フィードバックは、視覚・触覚・聴覚を想定し、仮想キーボードのパフォーマンスが最適になる組み合わせについて考察を行う。

2 先行研究

本節では、従来に提案された仮想キーボードシステムについて述べ、次に疑似触覚提示手法の先行研究について論ずる。

2.1 仮想キーボードシステム

これまで、VR 上の文字入力を行う手法が数多く提案されてきている。

ジェスチャによる非接触型文字入力手法[2]は、ハンズフリーで文字入力ができるので、ウェアラブルデバイスの装着による拘束感がないといった利点がある。しかし、複雑な操作を学習する必要があるためユーザにとって使いにくいといった欠点がある。

また、VR 上で QWERTY 配列及びフリック入力式を用いた入力手法では、視覚、聴覚フィードバックは実装されておらず、キーボードとの距離感を掴めない被験者がいたことを報告している[3]。

福仲ら[4]はVR 上でフリック入力式を用いた文字入力手法を提案し、視覚フィードバックによる効果を報告している。

2.2 疑似触覚提示手法

VR 上で仮想物体に触れるとき、擬似的な触覚フィードバックを知覚させることができる。そのための手法の一つとして、視覚(VR) 上のオブジェクトの移動量に差異をつけることで疑似触覚を提示する手法がある[5]。加えて、指に振動を与えることで高い衝突感が提示可能なことが報告されている[6]。

茂山ら[7]は、身体と連動して動くアバタの関節角度を補正することで、疑似触覚を提示するシステムを提案している。白井ら[8]は、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせにより、強い疑似触覚を得られることを示唆している。

これらのことから、視覚刺激とその他の刺激を組み合わせることで、より強い刺激を提示できる可能性が考えられる。

3 仮想キーボードシステム

3.1 使用デバイス

被験者は身体にウェアラブルデバイスを装着する。図1に示すように、頭部にHMD(Oculus rift)を装着し、右腕にはマイクロコンピュータ(Raspberry Pi Zero WH)と9.4cm × 2.2cmのモバイルバッテリー(京都大和社製)を固定している。マイクロコンピュータは指先に装着した円盤型小型モータ(東京パーツ製 FM34F)に接続されており、この振動モータの制御を担っている。HMDの前面にはハンドトラッキングをするためのモーションセンサ(Leap Motion)を取り付ける。



図1: 実験の様子

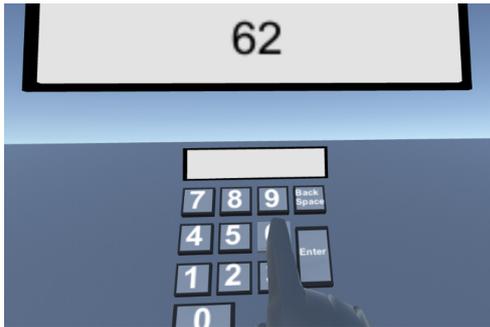


図 2: HMD により提示される VR 空間

本システムでは視覚刺激, 聴覚刺激, 触覚刺激を次に示す方法で与える.

- 視覚刺激: キー打鍵時にキーの色を変更.
- 聴覚刺激: ヘッドフォンから再生される音.
- 触覚刺激: キーに触れる度, 指先に装着した小型モータによる振動 (振動量 $17.6m/s^2$) を 0.06 秒間提示.

3.2 仮想キーボードシステム

実験を行う VR 空間には, 図 2 に示すように, テンキーの配列を模した仮想キーボードを提示する. キーは 0 ~ 9 の数字, Enter 及び BackSpace の 12 種類から構成される. また被験者の手指を模したハンドモデルを VR 空間内に提供し, LeapMotion でトラッキングした手や指の動作に追従するようにハンドモデルを操作することで仮想キーボードによる入力を可能にしている.

仮想キーボードの各ボタンを押し込む度にヘッドフォンからは打鍵音, 指先の小型モータで振動フィードバックを与える.

4 実験方法

被験者は 10 名 (男性 8 名, 女性 2 名) の学生であり, 平均年齢は 22 歳 (標準偏差 0.8) である. 図 1 に示すように, 実験は室内で HMD 及び振動デバイスを装着, 着座した状態で行った. 被験者には, 仮想空間内上部に表示した数字列を仮想キーボードを操作して入力してもらった. 表 1 に示すように, 試行回数は 4 刺激条件をそれぞれ 2 回, 計 8 試行である. 視覚刺激はいずれの場合も被験者に提示した. 実験に入る前には, 操作方法統一のための説明及び 40 字を入力する練習を行ってもらった. 1 試行目は (A), (C), (D), (B) の順で行い, 2 試行目は試行経験の差を平均化するために (B), (D), (C), (A) の順で実験を行ってもらった.

入力する数字列は各試行ごとに 10 文字の長さとした. 画面中央部には入力中の数字列が表示され, 誤入力した数字の取り消しは BackSpace キーで行うことができる. 数字列の一致判定を Enter 押下後に行い, 一致ならば次の試行に進み, 不一致ならば数字の再入力

を促した. 各試行の完了にかかる時間を入力時間, 不一致な数字列の入力回数をエラー回数としてシステムの評価を行った.

また, 実験終了後には以下の質問に 5 段階評価で回答を依頼した.

- Q1. 疲労感はありましたか
- Q2. 装着機器に煩わしさはありましたか
- Q3. 実験中の映像は見やすかったですか
- Q4. キー打鍵時の音声に関して違和感はありましたか
- Q5. キー入力はしやすかったですか
- Q6. キー打鍵時の音は必要ですか
- Q7. キー打鍵時に生じる指先の振動は必要ですか
- Q8. キーの押し具合についてちょうど良かったですか

表 1: 刺激条件

	触覚刺激	聴覚刺激
(A)	なし	なし
(B)	あり	なし
(C)	なし	あり
(D)	あり	あり

5 実験結果

表 1 に示した刺激条件の組み合わせごとの入力速度及びエラー回数の平均値を図 3 及び図 4 に示す. 聴覚刺激ならびに触覚刺激を要因とした 4 条件間で 2 元配置分散分析を行なった結果, 入力時間について聴覚刺激 ($F(1, 76) = 1.23, p = .27$), 触覚刺激 ($F(1, 76) = 0.18, p = .67$), 交互作用 ($F(1, 76) = 0.05, p = .82$) の様に統計的な有意差は見られなかった. エラー回数について聴覚刺激 ($F(1, 76) = 0.33, p = .57$), 触覚刺激 ($F(1, 76) = 0.92, p = .34$), 交互作用 ($F(1, 76) = 0.15, p = .70$) の様に統計的な有意差は見られなかった.

アンケートの結果を図 5 に掲げる. 各質問項目の 5 段階尺度は, 1 が最も肯定的, 5 が最も否定的な回答を指す. Q6 について 8 人の被験者がキー打鍵時の音は必要である (評価段階 1) だと回答し, Q4 でキー打鍵時の音に違和感はない (評価段階 5) と答えた被験者は 6 人であった. 一方で, Q7 についてキー打鍵時に生じる指先の振動が必要である (評価段階 1) と答えた被験者は 3 人, 必要でない (評価段階 5) と答えた被験者は 3 人であり, 回答が別れた.

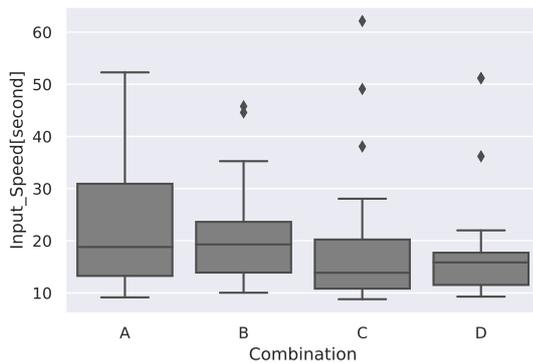


図 3: 入力速度

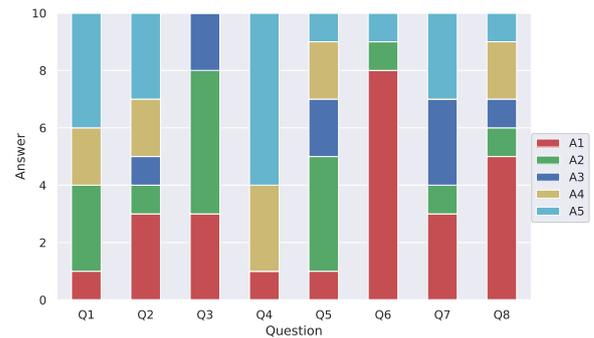


図 5: アンケート結果

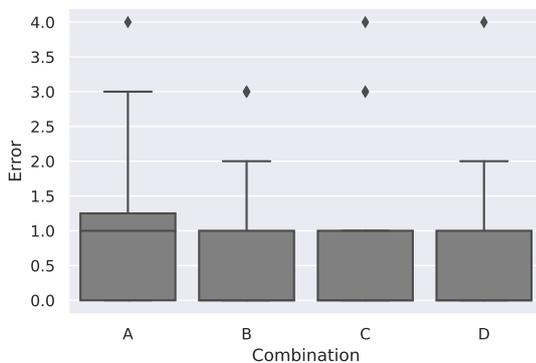


図 4: エラー回数

6 考察

本実験では聴覚刺激ならびに触覚刺激いずれについても4条件間の統計的な有意差は認められなかったが、アンケートではキー打鍵時の音が必要だと回答した被験者が多く確認された。自由記述に「音があればやりやすい」といった意見があった。このことから、音による聴覚刺激はユーザビリティの向上に強く影響している可能性があると考えられる。このことは図3でのばらつきの大きさ結果とも合致する。一方で振動による触覚刺激はアンケートにばらつきがあり、聴覚刺激と比較してユーザビリティへの影響は弱い可能性もあるが、触覚刺激の具体的提示内容に帰因することも考えられる。より具体的な検討を進めたい。また、エラー回数に関して(A)の組み合わせが他の組み合わせと比べて比較的に高いことから、視覚刺激に加えてなんらかの刺激を与えることは有効である可能性が考えられる。その他、Q2に関してばらつきがあったため、デバイス装着のストレスから実験結果に影響が生じた可能性がある。

仮想キーボードシステムに関して、自由記述の「指の認識ずれがきつい」「Leap Motionの位置によって認識されない」といった意見から、ハードウェアの制約

が入力速度やエラー回数に影響していた可能性もある。

7 おわりに

本研究では、テンキーを模した仮想キーボードとキー打鍵時の疑似触覚フィードバックによる、VR上での入力手法について検討した。

10桁の数を入力する評価実験を通して、入力速度とエラー回数について分析を行った。いずれの評価項目についても統計的有意差は認められなかった。一方、聴覚刺激は仮想キーボードのユーザビリティ向上に大きな影響を与える可能性が示唆された。このことから、従来の仮想キーボードシステムと比較して聴覚刺激の重要性について示唆された。反対に、触覚刺激は必要だと感じた被験者とそうでない被験者に別れ、より繊細なデザインの必要性の可能性もある。

今後の展望として、ハンドトラッキングの精度向上とQWERTY式キーボードでの実装を検討している。また、ユーザに対してストレスを与えないシステムの作成を検討している。

参考文献

- [1] 小澤 宗馬, 梅澤 猛, 大澤 範高, 空中におけるつまむ動作を用いた効率的な文字入力 of 検討, 電子情報通信学会, 第14回情報科学技術フォーラム, 2015.
- [2] 細野 敬太, 笹倉 万里子, 田邊 浩亨, 川上 武志, Leap Motionを用いたジェスチャ操作による文字入力方法の提案, 人工知能学会, 2014年度人工知能学会全国大会, 2014.
- [3] 喜多 修太郎, 小倉 加奈代, Bista Bhed Bahadur, 高田 豊雄, Leap Motionを用いたVR上での文字入力手法の検討, 情報処理学会, 第182回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2019.
- [4] 福仲 伊織, 謝 浩然, 宮田 一乗, VR環境におけるフリック入力形式インタフェースの開発, 情報処理学会, 第181回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2019.

- [5] A. Lécuyer et al, Pseudo-Haptice Feedback:Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?, *Proc. IEEE VR*, pp.83-90, 2000.
- [6] 雨宮 智浩, 視触覚への過渡振動重畳による擬似衝突感覚の生成, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21 No.2 pp.381-384, 2016.
- [7] 茂山 丈太郎, 小川 奈美, 鳴海 拓志, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, アバタの関節角補正による疑似抵抗感提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22 No.3 pp.369-378, 2017.
- [8] 白井 亮人, 中島 武三志, 菅野 由弘, 視覚及び聴覚刺激によるクロスモーダル現象を利用した力覚の錯覚, 情報処理学会, エンタテインメントコンピューティング 2017, 2017.