

Bump Pie Menu : VR 環境で「レイを引っ掛けて」ターゲットを選択する円形メニュー

笠原 暢仁* 宮下芳明*

概要. デスクトップ環境では、2次元平面を安定的に滑ることによって操作するマウスが主流な入力デバイスであり、非常に細かな操作が可能である。また、ボタンを押下する場合も安定した平面である机に向かって押下するため、安定的である。一方、VRやARなどの3次元仮想環境においてポインティングでターゲットを選択する場合、コントローラや手といった3次元空間を自由に動かことができる入力手法によって選択される。そのため、ターゲットから外れることなく空中でコントローラのボタンを押下したり、指で選択ジェスチャを行ったりするためには、注意深く腕を固定しながら選択動作を行う必要があり容易ではない。そこで、物理的な引っ掛かりによって安定してターゲットを選択できる円形メニュー、Bump Pie Menuを提案する。マウス操作における画面角にカーソルをぶつけて高速選択できるという利点を3次元に拡張し、カーソルを引っ掛けて操作することでより安定的にターゲットを選択できる。ユーザ実験では、既存の円形メニューであるPie Menuよりも低いエラー率を示し、カーソルを引っ掛けることで正確に選択できる可能性が示唆された。

1 はじめに

VRやARなどの3次元仮想環境において、空間の1点に自分の腕やコントローラを固定し続けることは容易ではない。そのため、ハンドトラッキングやコントローラのレイによってターゲットを選択することは、注意深く腕を固定しながら選択ジェスチャやボタンの押下を行う難しい動作となってしまう。一方、デスクトップ環境において、平面上の1点にマウスを固定し続けることは机という平面に支えられているため容易である。また、ボタンを押下する場合、机に向かって押下するため、マウスが意図せず動いてしまうことも少ない。

そこで本稿では、VR環境において物理的な引っ掛かりによって安定してターゲットを選択できる円形のメニュー、Bump Pie Menuを提案する。Bump Pie Menuでは、3次元空間上のカーソルの移動領域を当たり判定のある円形の壁と選択領域を分割する円形の引っ掛かりによって制限する。引っ掛かりの角にカーソルを引っ掛けてターゲットを選択できるため、選択動作時にコントローラや手が動いたとしても、問題なく選択しやすい。

2次元GUIにおいて、画面角や画面端などのカーソル侵入不可領域に接するターゲットは、高速に選択できることが示されている[1, 2, 4, 8, 9]。カーソルを端や角に向かって動かしても侵入不可領域の壁にとどまるため、実質的にターゲットの大きさが無

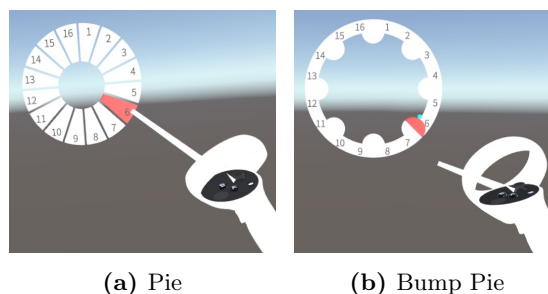


図 1: Pie ではレイ（白線）をターゲットに合わせる必要があるが、Bump Pie ではカーソル（水色の球）を引っ掛けることで、レイが合っていないでも選択できる。

限大になり、弾道運動によってポインティングできる[3]。そのため、ターゲットに壁を生成することで操作時間を短縮する手法が提案されている[5, 7, 10]。これらのことから、角や端にカーソルを引っ掛けて選択する操作は安定して高速に選択できると言える。安定して操作可能なマウスだけでなく、不安定な操作手法である3次元においてこそ有用である可能性がある。

既存の円形メニューであるPie Menuと比較するユーザ実験の結果、全ての参加者で一貫して提案手法のエラー率が低かった。そのため、Pie Menuよりも正確に選択できる手法であることが明らかになった。また、一部の参加者では操作時間も提案手法の方が短かったことから、十分習熟すればPie Menuよりも速く選択できる手法である可能性が示唆された。

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 明治大学

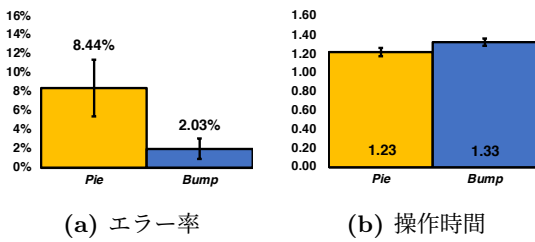


図 2: 精度と速度に関する比較. 精度は向上し, 速度は低下した.

2 提案手法

2次元 GUI では, カーソル侵入不可領域の角のターゲットは, カーソルが角に留まることで高速かつ正確に選択できる [1, 2, 4, 8, 9]. この利点を 3次元に適用させるため, 図 1b のような形状の当たり判定付きオブジェクトを作成した. コントローラのレイはこのオブジェクトを通過するが, レイとメニュー平面の交点に表示される水色のカーソルは, このオブジェクトと衝突することにより, 円形のメニューの中に留まる. そのため, カーソルが外壁とオブジェクトの選択項目を分割する円形の壁の角に引っ掛かることにより, コントローラのレイがターゲットに合っていないなくても, ターゲットを選択することができる. これにより, ボタンの押下やジェスチャといった選択動作中にコントローラが動いてしまうことによる誤選択を減らすことができると考えられる. また, ユーザはカーソルを引っ掛けたい角に近づけた後, 角に向かって直線的な操作を行えば良いため, コントローラを減速させたり, ターゲット上で固定したりする必要がない. これにより, ユーザはターゲットが含まれる凹み (図 1b では 5 と 6 の凹み) に向かって直線的に操作し, その後どちらかの角に向かって外壁を滑らせながら直線的に操作できるため, 2段階の容易なタスクに分割できる可能性がある. そのため, 実質的に 1方向に向かって大雑把に操作する簡単なタスクを 2回行うタスクとなり, 速くタスクを完了できる可能性がある.

3 実験と結果

既存手法である Pie Menu (図 1a) と提案手法である Bump Pie Menu (図 1b) を比較する実験を行った. 実験参加者は 4名 (男性 2名, 女性 2名, 全員右利き) であった. 順序効果を避けるため, 2名は既存手法を先に, 残りの 2名は提案手法を先に実施した. 選択項目数は 16個とした. それぞれの手法で実験を開始する前に操作方法について説明し, 十分操作に慣れるまで練習を行った. 提案手法の練習フェーズでは, カーソルを引っ掛けて選択するように指示した. 16個の選択肢から被らないようにランダムにターゲットを提示する 16試行を 1セット

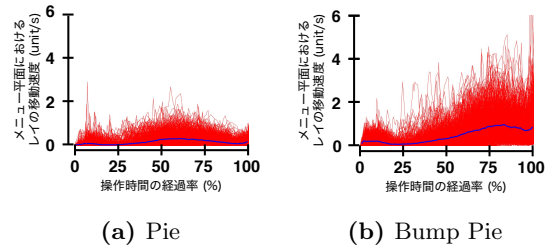


図 3: 提案手法ではコントローラを注意深く減速させずに選択動作が行われている.

とし, 各メニューで 10セットのタスクを行った.

16試行 \times 10セット \times 4名の 640試行について分析した. エラー率の平均値は, 既存手法で 8.44%, 提案手法で 2.03%であり, 提案手法により発生するエラーが 4分の 1程度まで低下した (図 2a). また, 全ての参加者においてエラー率が低下した. これらのことから, Bump Pie Menu は 3次元空間において Pie Menu よりも安定的に項目を選択できることが示唆された.

操作時間の平均値は, 既存手法で 1.23秒, 提案手法で 1.33秒であり, 0.102秒 (10%程度) 提案手法の方が遅かった (図 2b). このため, Bump Pie Menu では操作にかかる時間は増加してしまう可能性が示唆された. しかし, 1名の参加者では操作時間が低下しており, 参加者によって傾向が異なったことから, 十分操作に習熟することや操作戦略などによって操作時間も短縮できる可能性が示唆された.

レイの移動速度は提案手法の方が速く, タスクの後半になっても減速しなかった (図 3). このことから, 提案手法により選択動作を行うときに, コントローラを減速させずに行えていることがわかる. コントローラを減速せず, 低いエラー率で選択できることから, カーソルを引っ掛けて操作することで正確にターゲットを選択できることが示された.

4 議論と考察

ユーザ実験の結果, 提案手法は正確に項目を選択できる可能性が示された. レイの速度分析から, 提案手法ではレイを減速させることなく選択できることがわかり, カーソルを引っ掛けて選択する動作が選択の正確性を向上させる可能性が示唆された. しかし, 自由記述のアンケートにおいては, レイの動きを最初に間違えると別のターゲットに引っ掛けてしまい修正に時間がかかるという問題点が明らかになった. そのため, 修正動作をより簡単に行えるメニュー形状や, 動的に引っ掛けりの大きさや形を変化させるといった改善が必要である可能性が示唆された.

参考文献

- [1] C. Appert, O. Chapuis, and M. Beaudouin-Lafon. Evaluation of pointing performance on screen edges. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pp. 119–126, 2008.
- [2] C. Dizmen, E. R. Hoffmann, and A. H. Chan. Movement time to edge and non-edge targets. *Ergonomics*, 57(1):130–135, 2014.
- [3] K.-C. Gan and E. R. Hoffmann. Geometrical conditions for ballistic and visually controlled movements. *Ergonomics*, 31(5):829–839, 1988.
- [4] Y. Oba and H. Miyashita. Effect of a Cursor Warping Left and Right of the Notch. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–8, 2023.
- [5] S. Yamanaka and H. Miyashita. The Nudging Technique: Input Method without Fine-Grained Pointing by Pushing a Segment. In *Adjunct Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13 Adjunct*, p. 3–4, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [6] Q. Zhou, G. Fitzmaurice, and F. Anderson. In-depth mouse: Integrating desktop mouse into virtual reality. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–17, 2022.
- [7] 山中祥太, 宮下芳明. 細長いターゲットのドラッグ開始を支援する手法とその評価. *コンピュータソフトウェア*, 33(1):1.111–1.125, 2016.
- [8] 山中祥太, 宮下芳明. 無限大のサイズを持つターゲットのポインティングに関する調査. *情報処理学会論文誌*, 57(4):1319–1329, 2016.
- [9] 大場洋介, 木下大樹, 宮下芳明. カーソル進入不可領域による反応時間未満でのポインティング. 第 30 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2022) 論文集, 2022.
- [10] 木崎駿也, 薄羽大樹, 山田開斗, 宮下芳明. Valve Icon: オーバーシュート後に生成される壁を用いたポインティング高速化手法の提案. *研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)*, 2019(23):1–8, 2019.

未来ビジョン

本稿は、大場らのノッチに関する研究に多大な影響を受けている [4]。Macbook に配置されたノッチをカーソル侵入不可能な領域にすることで、ノッチにカーソルを引っ掛ける戦略を取ることができ、ノッチ両脇のターゲットを高速に選択できることを示唆している。この利点は、ノッチに関わらず活用されるべきだと著者らは考えている。実際に大場らは、この利点を 2 次元 UI において拡張したが [9]、この利点はデバイスがより不安定な 3 次元 UI においてこそ活用できると我々は考えた。

本稿では、コントローラのレイによる操作で実装を行ったが、ハンドトラッキングによる実装も考えられる。さらに、人差し指からのレイや、直接操作でも有用である可能性があると考えている。指による操作は、複数の関節により複雑な動作が可能のため、カーソルが引っ

掛かる利点が多い可能性がある。また、触覚フィードバックを与えることで、更なる拡張が期待される。例えば、メニューを視界に入れずに手探りでターゲットを選択することすら可能になると考えられる。さらに、視線ポインティング、ウェアラブルデバイスといった、よりポインティングしづらい環境においても本稿の知見が活用されることを期待している。

本稿では、3 次元空間において 2 次元の円形メニューを実装したが、3 次元での引っ掛かりにも利点があると考えられる。現状の操作手法では、レイが交差する 2 次元平面に操作が制限されている。近いうちに、1 点のカーソルが平面に縛られず、自由自在に 3 次元空間を移動できる「本当の 3 次元操作」を実現するデバイスや UI が発展すると考えられる [6]。それらの操作に人間の認知機能が追いついた時、3 次元の引っ掛かりの有用性が検討されるかもしれない。