

VR 環境向けの焦点座標を用いた 3 次元バブルカーソルの評価

平井 李音* 鈴木 健介† 山口 泰生† 志築 文太郎‡

概要.

3 次元的なポインティングを要求される VR 環境においてはターゲット群が異なる奥行にて表示されるため、ターゲットが他のターゲットに一部遮蔽、あるいは完全に遮蔽されることによりオクルージョン問題が生じるため、サックード運動によるポインティング性能に対する悪影響は顕著に表れる。そこで、我々は動的エリアカーソル法の 1 つである Bubble Gaze Cursor を 3 次元に拡張した VR 環境向けのポインティング手法を実装している。本手法ではユーザの焦点座標に最も近いターゲットが注視され続けるためサックード運動の影響を軽減でき、同時にオクルージョンによる影響も軽減される。今回、本手法を他手法と比較する評価を行った。またその結果に基づき本手法を改良したので、これらの結果を報告する。

1 はじめに

ポインティングは Virtual Reality (以降, VR) 環境においてもターゲットを選択するための基本的な操作である。近年, VR 環境におけるポインティングではアイトラッキングに基づいたハンズフリー手法も用いられるようになってきている [4, 5]。

一方で, アイトラッキングによるポインティング手法ではサックード運動によりある一点を注視し続けることが難しいという問題がある。特に 3 次元的なポインティングを要求される VR 環境においては複数のターゲットが異なる奥行にて表示されることから, ターゲットが他のターゲットに一部遮蔽, あるいは完全に遮蔽されることにより選択が困難あるいは不可能になるというオクルージョン問題が生じるため, サックード運動によるポインティング性能に対する悪影響は顕著に表れる。

この問題を軽減するために我々は動的エリアカーソル法の一つである Bubble Cursor [1] を用いることを考えた。特に, 本研究では Bubble Gaze Cursor [7] を 3 次元に拡張したポインティング手法を実装している [8]。今回, 我々はその性能を他手法と比較する評価を行った。また, その結果に基づき手法の改良を行った。本稿ではこれらの結果を報告する。

2 関連研究

本節では, バブルカーソルに関する研究, および VR 環境における視線によるポインティングに関する研究を述べる。

ターゲットが密集している状況において 1 つのターゲットを高速に選択できるようにするために, バブルカーソル [1] が提案されている。バブルカーソルは, カーソルおよびターゲットの位置をもとにして, 常にターゲットを 1 つだけ含むようにカーソルの大きさを動的に変更し続ける円のエリアカーソルである。このバブルカーソルを視線インタフェースにて行った手法として崔らの Bubble Gaze Cursor [7] がある。そして我々の手法は, Bubble Gaze Cursor を焦点座標を用いて 3 次元に拡張することにより VR 環境におけるポインティングに対応させた。

また, これまでに VR 空間におけるオクルージョン問題を解決するための研究が行われてきている [4, 5]。ただし, これらの手法では, 遮蔽されたターゲットを注視した後にターゲットを選択するための視線によるジェスチャを行う必要がある。一方, 我々の手法は, ユーザがターゲットへの注視のみにより選択を行えるという特徴を有する。

3 実験環境

本節では, 今回, 我々が評価対象とした VR 環境向けのポインティング手法 [8] のシステムおよびポインティング方法を述べる。

3.1 システム

今回の評価において用いた Head Mounted Display (以下, HMD) はアイトラッカを標準で搭載している HTC VIVE Pro Eye であり, コンピュータは HP OMEN by HP 16-c0161AX である。また, Unity 環境にて C# を用いてアプリケーションを実装した。

3.2 ポインティング方法

本手法 [8] のポインティングは, 3 次元的に拡張したバブルカーソル [1] を視線にて操作することに

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.

* 筑波大学 情報理工学位プログラム

† 筑波大学 情報科学類

‡ 筑波大学 システム情報系

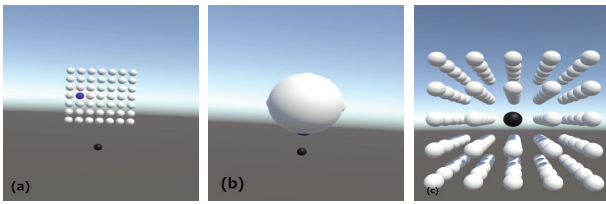


図 1. 3 種類のターゲット配置条件の例. (a) 高密度条件. (b) 高オクルージョン条件. (c) 密度&オクルージョン条件.

より行われる. HMD に搭載されたアイトラッキングデバイスによって取得したユーザの 3 次元的な焦点座標と各ターゲットの座標を比較して最も近いターゲットを算出する. そうして同一のターゲットが 1.0 秒間連続で算出され続けることにより, そのターゲットが選択される. なお, この時間は Zhang らの実験 [6] に従っている.

また, カーソルに最大半径を導入し, かつ既存手法とは異なりカーソルを透明化することによりユーザの注視行為を妨害しないようにした. この時の最大半径は, Oculus の公開している開発者用手順書 [3] に従い 1 m としている. カーソルを透明化することによりシステム上にてユーザによって注視されていることとなっているターゲットがユーザ側にわからなくなるため, 注視状態となったターゲットは黄色になるようにしている.

4 比較実験

Lu らの研究 [2] に倣い, 5 人の実験参加者を募り, 高密度条件 (図 1a), 高オクルージョン条件 (図 1b) および密度&オクルージョン条件 (図 1c) の 3 種類のターゲット配置条件にて, 本手法 (以下, BGS), 視線によるレイキャスト手法 (以下, RG) およびコントローラによるレイキャスト手法 (以下, RC) の 3 手法にてポインティングタスクを行って貰うことにより, ポインティング性能の比較を行った.

その結果を図 2 に示す. タスク完了時間に関しては, 全ての配置条件において RC が最も短く, RG が最も長くなった. 一方, 高オクルージョン条件においては BGS および RC の差は小さかった. また, エラー率に関しては, 高密度条件および密度&オクルージョン条件において RG が最も低くなった. 一方, 高オクルージョン条件においては BGS が最も低く RG が最も高くなった.

5 議論および今後の計画

今回, 注視時間として Zhang らの実験 [6] の結果を用いたが, この実験は 2 次元における視線インタフェースを対象としたものである. そのため, 3 次元における適切な時間を調査する必要がある.

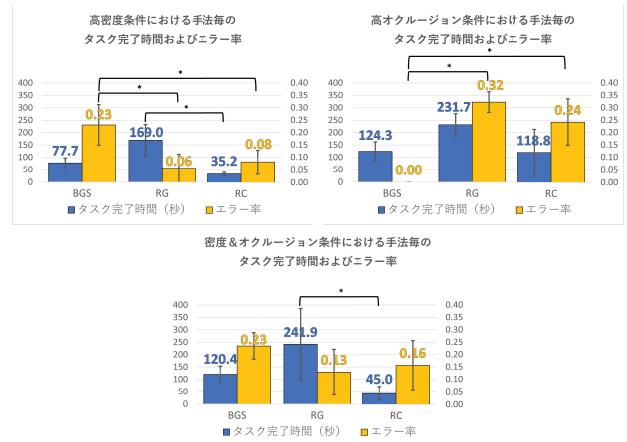


図 2. 各手法および配置条件におけるタスク完了時間およびエラー率.

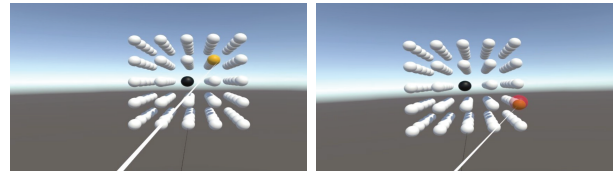


図 3. 改良した手法によるポインティングの様子. 左: ユーザに見えている光景. 右: 透明化されていたカーソルを半透明な赤色にして表示した状態.

また, 実験参加者の感想より, RG が高密度条件にて BGS より優れたポインティング性能を発揮したのはレイによる補助が大きかったからだと考えられる. そのため, BGS にもレイを描画することによりポインティング性能を向上させられる可能性がある. そこで, BGS においても RG と同様のレイを描画する改良を行った (図 3). さらに, レイを描画するだけでなくレイによる当たり判定を組み合わせることにより更にポインティング性能を向上させられると考えている.

6 おわりに

本稿では, 2 次元的な動的エリアカーソル法の 1 つである Bubble Gaze Cursor [7] を 3 次元に拡張して VR 空間に対応させたポインティング手法の性能を調査した. 本手法では, ユーザの視線の焦点座標に最も近いターゲットを注視状態とし, 1.0 秒間の連続した注視をもって選択とすることによりポインティングを行うことができ, 同じく視線を用いたレイキャストによるポインティング手法と比較して速度およびエラー率の両方にて上回った.

今後は上記の改良を行った本手法にて改良前と比較実験を行い, ポインティング精度, 作業負荷, およびユーザビリティなどの調査および評価を行う.

7 謝辞

本研究は科学研究費助成事業 21H03472 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Grossman and R. Balakrishnan. The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor's Activation Area. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '05, pp. 281–290, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [2] Y. Lu, C. Yu, and Y. Shi. Investigating Bubble Mechanism for Ray-Casting to Improve 3D Target Acquisition in Virtual Reality. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 35–43, 2020.
- [3] Oculus. Vision | Oculus Developers. <https://developer.oculus.com/resources/bp-vision/>.
- [4] T. Piumsomboon, G. Lee, R. Lindeman, and M. Billinghurst. Exploring Natural Eye-gaze-based Interaction For Immersive Virtual Reality. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pp. 36–39, 2017.
- [5] L. Sidenmark, C. Clarke, X. Zhang, J. Phu, and H. Gellersen. Outline Pursuits: Gaze-Assisted Selection of Occluded Objects in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, pp. 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [6] X. Zhang, P. Xu, Q. Zhang, and H. Zha. Speed-Accuracy Trade-off in Dwell-Based Eye Pointing Tasks at Different Cognitive Levels. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Pervasive Eye Tracking; Mobile Eye-Based Interaction*, PETMEI '11, pp. 37–42, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [7] 崔明根, 坂本 大介, 小野 哲雄. Bubble Gaze Cursor: バブルカーソル法の視線操作への適用. 情報処理学会論文誌, 61(2):221–232, 2020.
- [8] 平井 李音, 富永 浩暉, 横山 海青, 志築 文太郎. VR 環境向けの視線を用いた 3 次元バブルカーソルの提案. 第 29 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 (WISS 2021), pp. 1–2. WISS, 2021.