

ARにおけるバブルカーソルを用いた視線入力に関する検討

藤原 智宏[†] 金成 慧[‡] 佐藤 美恵[‡]

[†] 宇都宮大学大学院地域創生科学研究科 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

[‡] 宇都宮大学工学部 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

E-mail: [†] mc216531@cc.utsunomiya-uac.jp, [‡] {mie, kanari}@is.utsunomiya-u.ac.jp

あらまし 近年、拡張現実に関する研究が盛んに行われており、拡張現実における入力方法の一つとして視線入力が注目されている。視線入力における問題の一つとして、ターゲットが小さい場合や密集している場合に入力が難しいことが挙げられる。この問題に対して、バブルカーソルは円形のカーソルの大きさを最も近傍にあるターゲットまでの距離に応じて変化させることで、視線入力を容易にする可能性がある。本研究では、ARにおけるバブルカーソルを用いた視線入力が有用であるかを調査する。

キーワード 視線入力, バブルカーソル, AR

An Examination on Eye-Gaze Input Using a Bubble Cursor in AR

Tomohiro FUJIWARA[†] Kei KANARI[‡] and Mie SATO[‡]

[†] Graduate School of Regional Development and Creativity, [‡] School of Engineering,

Utsunomiya University 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, Tochigi, 321-8585 Japan

E-mail: [†] mc216531@cc.utsunomiya-uac.jp, [‡] {mie, kanari}@is.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract In recent years, research on augmented reality (AR) has been actively conducted, and eye-gaze input has been attracting attention as one of the input methods in AR. One of the problems with eye-gaze input is that it is difficult to input by eye-gaze when targets are small or crowded. The bubble cursor, on the other hand, has the potential to solve this problem by changing the size of a circular area according to the distance to the nearest target. In this study, we investigate the usefulness of eye gaze input using a bubble cursor in AR.

Keyword Eye-Gaze Input, Bubble Cursor, AR

1. はじめに

近年、仮想現実(Virtual Reality : VR)や拡張現実(Augmented Reality : AR)に関する研究が盛んに行われている。特にポインティングに関する研究は多く存在し、ターゲットが小さい場合や遠くにある場合、密集している場合に意図したターゲットの選択が難しいことが問題として挙げられている。現在のポインティング手法としてはコントローラを用いたレイキャスティングが主流となっているが、最近では、視線追跡機能が搭載された HMD の登場により視線入力が注目されている。人の視線は動きが速いうえに、固視微動と呼ばれる人の意識とは関係のない微小な眼球運動や、アイトラッカーの精度の影響等もあり、視線入力において上述の問題はより顕著に現れる。

この問題に対してバブルカーソル[1]が有効であると考えられている。バブルカーソルとは、円形のカーソル(エリアカーソル)の大きさを最も近傍にあるタ

ーゲットまでの距離に応じて変化させることで、ターゲットが小さい場合や密集している場合のポインティングを補助することが可能なカーソルである。図1にバブルカーソルの概略を示す。

関連研究[2]では、2Dディスプレイ上でのポインティングタスクにおいて、通常の視線入力よりもバブルカーソルを用いた視線入力の方が高速に動作し、ユーザビリティ評価指標でも高いことが示された。関連研究[3]では、VR環境下でのポインティングタスクにおいて、コントローラを用いる7つの手法の中で、レイキャスティングにバブルカーソルを適用した手法が、タスクの完了時間やエラー率といった点で優れていることが示された。関連研究[4]では、バブルカーソルを用いた視線入力をVR環境下で3次元に拡張した手法を提案している。このようにバブルカーソルを視線入力やVR環境で活用している研究は多く見られるが、AR環境下での視線入力にバブルカーソルを適用する

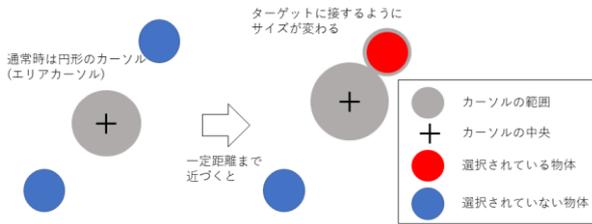


図 1: バブルカーソル

研究は報告されていない。

現実空間は仮想空間と比べ情報量が多く、細かい選択が必要とされることが考えられる。今後、AR 環境における小さな物体の選択や、物体が密集している中での意図した選択の正確性はより重要になってくる。本研究では、ポインティングタスクにおいて、通常の視線入力とバブルカーソルを用いる視線入力を比較し、AR におけるバブルカーソルを用いた視線入力が有用であるかを、タスク完了時間、エラー率、主観評価の点において調査する。

2. AR におけるバブルカーソルを用いた視線入力に関する調査

AR 環境でのポインティングタスクについて、被験者にバブルカーソルを用いた視線入力と通常の視線入力の 2 手法を体験してもらい、タスク完了時間、エラー率、主観評価 (手法の性能、疲労度、直感性、好み) について 2 手法を比較する。

2.1. 実験環境

被験者は椅子に座り Microsoft 社の Hololens2 を装着する。自然光の影響を排除するため、実験を行う大まかな時間帯は統一する。また、次節の実験刺激は Unity で構築されている。

2.2. 実験刺激

被験者は Hololens2 を通して現実空間に重畳表示された複数の球形オブジェクトに対して、ポインティングタスクを行う。

図 2 に被験者に表示するオブジェクトの配置を 3 種類 (シーン 1~3) 示す。

シーン 1: 縦横各 5 個で $5 \times 5 = 25$ 個のオブジェクトが被験者から奥行き 5m, 縦横幅それぞれ 2m の範囲に均等に配置される。

シーン 2: 縦横各 5 個で $5 \times 5 = 25$ 個のオブジェクトが被験者から奥行き 7m, 縦横幅それぞれ 2m の範囲に均等に配置される。

シーン 3: シーン 1 とシーン 2 を組み合わせたオブジェクトが配置される。シーン 2



(a) シーン 1

(b) シーン 2



(c) シーン 3

図 2: 被験者に表示するオブジェクト

の中央のオブジェクトは完全に重なるため、それを除いた計 49 個のオブジェクトが配置される。

オブジェクトの大きさは、すべてのシーンにおいて 0.1m に統一し、オブジェクトの見かけの大きさは、シーン 1 では約 1.1° であり、シーン 2 では約 0.8° である。

これらのオブジェクトまでの奥行きやオブジェクトの大きさについては、関連研究[3]を参考に設定した。奥行きは、手が届かずポインティングが必要となる距離とし、大きさは、関連研究[3]でポインティングタスクに使われているサイズのうち、視線入力にとっては選択がやや難しいサイズとした。また、シーン 1 とシーン 2 は奥行きによる違いが結果に及ぼす影響を、シーン 3 はオブジェクトの密集度の違いが結果に及ぼす影響を調べることを目的として設定した。

なお、オブジェクトは白色であるが、ポインティングタスクでは、表示されているオブジェクトのうち一つが青色となり、被験者にはそのオブジェクト (ターゲットオブジェクト) を選択してもらう。その際には、どのオブジェクトを選択しているかを被験者に伝えるために、視線が向けられたオブジェクトを白色から赤色に変化させ、選択と同時に効果音を流す。

2.3. 実験システム

2.3.1. 視線入力

本実験では、視線入力として注視を用いる。注視による入力とは、対象に一定時間視線を向け続けることで入力を行う手法である。注視は視線入力の中でも一般的に用いられている手法ではあるが、対象を観察しているのか、選択及び入力をしようとして注視しているのかの判断が難しく、意図せず入力が行われるとい

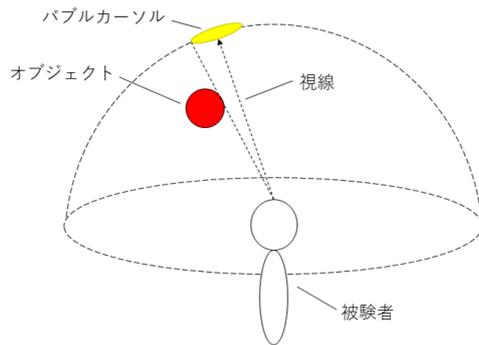


図 3：実装したバブルカーソル

う問題が存在する．そのため，注視と見なす時間の適切な設定が重要となる．本実験における注視時間は，関連研究[4, 5]を参考に，誤入力を抑えつつ素早いポインティングが可能と考えられることから，1.0 秒とした．

2.3.2. バブルカーソル

本実験で実装したバブルカーソルの概略を図 3 に示す．バブルカーソルの実装については関連研究[3]を参考にした．バブルカーソルは被験者を中心とした天球の表面上を，視線に追従して動く．通常時は一定の大きさの円形のエリアカーソルであるが，視線とオブジェクトとのなす角が一定の角度以内になると，被験者の視界で見かけ上，そのオブジェクトに接しているようにエリアカーソルの大きさが動的に変化する．本システムでは，視線とオブジェクトとのなす角の閾値を 5 度とした．バブルカーソルを用いる手法では，エリアカーソルがオブジェクトに接している状態が，通常の視線入力における視線を向けている状態と同じである．すなわち，エリアカーソルがオブジェクトに 1.0 秒間接することで注視と見なされる．

また，人の視線にカーソルを追従させると，常に視界内でカーソルが動いている状態になり気が散ると考えられる．そこで，本実験では，バブルカーソルを視覚的に表示する被験者群と表示しない被験者群に分け，バブルカーソルの表示が結果にどのような影響を与えるかを調べる．

2.4. 実験方法

初めに，被験者の特性として AR やアイトラッキングの使用経験を把握するため，視力，AR 及びアイトラッキングの経験の程度について事前アンケートに答えてもらう．その後，視線入力，バブルカーソルについて説明し，練習試行に移る．練習試行では，視線追跡に必要なキャリブレーションをした後，各手法の使用方法を確認するため，実際にポインティングタスクを行ってもらう．ここでは，3 つのオブジェクトが表

示され，それらを時間的な制限を設けずに自由に選択してもらう．そして被験者が，視線追跡が正しく行われ，各手法でオブジェクトの選択が行うことができると確認できたら本試行に移る．

本試行では，2.2.節で説明した 3 種類のシーンについて，バブルカーソルを用いた視線入力と通常の視線入力の 2 手法でポインティングタスクを行ってもらう．シーン 1 とシーン 2 では，25 個すべてのオブジェクトが表示された状態で，そのうちの一つがターゲットオブジェクトとして被験者に示される．そして，被験者がターゲットオブジェクトを選択すると，次のターゲットオブジェクトが順次示される．それぞれのシーンで，ターゲットオブジェクトとして 25 個のオブジェクトが各一回ずつランダムに選ばれる．シーン 3 では，まず，表示された 49 個のオブジェクトからランダムに 25 個が選ばれる．そして，選ばれた 25 個のオブジェクトを対象に，シーン 1，シーン 2 と同様に，被験者にポインティングタスクを 25 回行ってもらう．ポインティングタスクでは，被験者には失敗しないように意識したうえで，できるだけ早くタスクを終了させるように指示する．カウンターバランスをとるため，被験者間での 2 手法の順番はランダムとする．

各シーンにおいて，タスク完了時間として，本試行の開始から 25 個すべてのオブジェクトを選択し終わるまでの時間を記録する．また，被験者が誤って選択したオブジェクトの位置や回数を記録する．最後に，主観評価として以下に示す，手法の性能，疲労度，直感性それぞれについて，リッカート尺度を用いて 1 から 7 の 7 段階で評価してもらう．

手法の性能：ポインティングタスクにおいて，ターゲット選択が簡単で素早いと感じたか
疲労度：ターゲット選択を成功させるための精神的及び身体的な負担

直感性：手法を使用するにあたり，扱い方を学習し適応する必要があると感じたか

加えて，被験者にとって，バブルカーソルを用いた視線入力と通常の視線入力のどちらが好みであったかを調べるために，総合得点（100 点満点中）を付けてもらう．

被験者は 22 歳から 23 歳の男性 6 名であり，全員が正常な視力，または矯正された視力を有している．また，全員が AR 及びアイトラッキングを 1 度は使用していた．なお，バブルカーソルを表示する被験者群，表示しない被験者群はそれぞれ 3 名ずつである．

3. 実験結果

3.1. タスク完了時間

各シーンにおける手法間のタスク完了時間を図 4(a)

に示す。データ数が少なくノンパラメトリックであるため、対応のある2群間の比較で用いるWilcoxon符号付順位和検定を行った結果、すべてのシーンにおいて手法間で有意差が見られた($p < .05$)。これはバブルカーソルを用いる手法が、通常の注視よりもタスクを終える時間が短いことを示している。

また、各手法におけるシーン間のタスク完了時間を図4(b)に示す。対応のある3群以上の間の比較で用いるFriedman検定の結果、有意差が見られた($p < .01$)ため、Holmの多重比較を行った。その結果、通常の注視による手法において、シーン1とシーン2、シーン3で有意傾向が見られた($p < .10$)。これは通常の注視では、奥行き、密集度の違いがポインティングにかかる時間に影響を与えている可能性を示している。

バブルカーソルの視覚的表示の有無による差に関しては、対応のない2群間の比較で用いるMann-WhitneyのU検定の結果、有意性は見られなかった($p > .05$)。

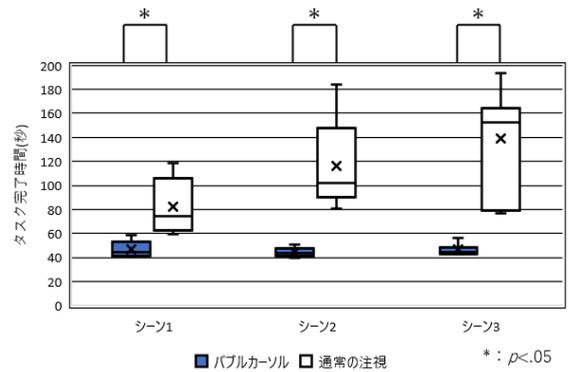
3.2. エラー率

エラー率として、オブジェクトを選択する回数に対する誤選択の回数の比率で求めた。バブルカーソルを用いる手法において、シーン毎に見ても0%~0.08%程度であり、通常の注視においては一度もエラーが起きなかった。エラー率に関しては、3.1節と同様に検定を行ったが、どの比較においても有意性は見られなかった($p > .05$)。

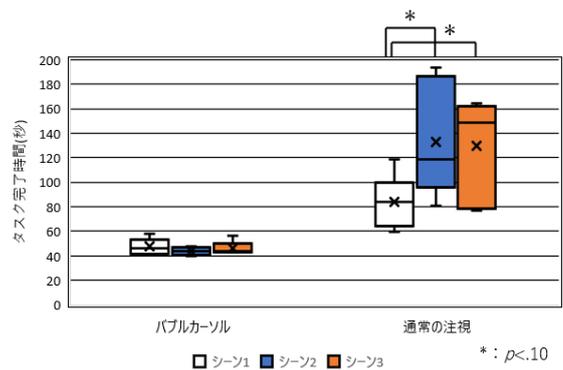
3.3. 主観評価

各項目に対する手法間の差を図5に示す。疲労度は、得点が高いときに被験者が低い評価をしていることを示している。Wilcoxon符号付順位和検定を行った結果、手法の性能において有意差が見られ($p < .05$)、疲労度、直感性において有意傾向が見られた($p < .10$)。このことから、被験者は、バブルカーソルを用いる手法が通常の注視よりも、簡単かつ素早くターゲット選択を行うことができたことが示され、精神的及び身体的な疲労を感じづらく、扱い方の学習や適応の必要性がないと感じていることが示唆された。また、被験者の好みを調べるために付けてもらった総合得点(100点満点)の結果を図6に示す。Wilcoxon符号付順位和検定を行った結果、手法間で有意差が見られた($p < .05$)。被験者はバブルカーソルを用いた手法を好んでいることが示めされた。

バブルカーソルの視覚的表示の有無による差については、Mann-WhitneyのU検定の結果、有意性は見られなかった($p > .05$)。



(a) 各シーンにおける手法間の比較



(b) 各手法におけるシーン間の比較

図4: タスク完了時間の結果

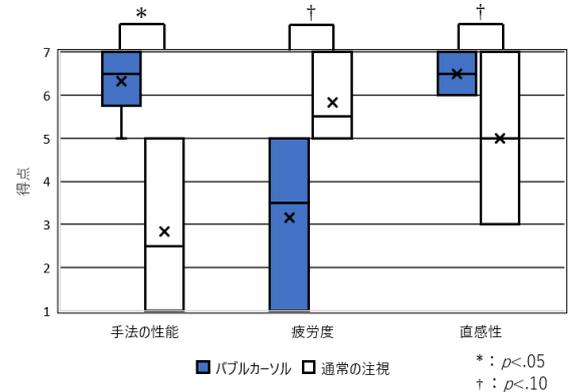


図5: 主観評価の結果

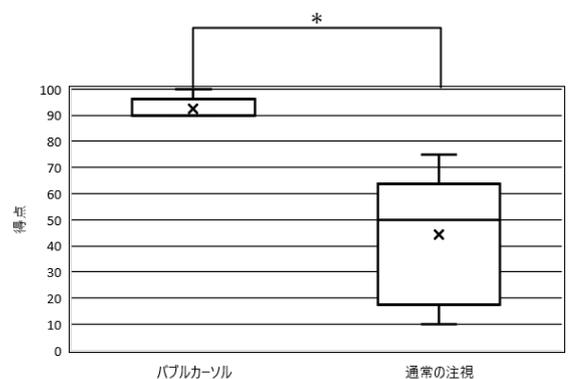


図6: 総合得点の結果

4. 考察

タスク完了時間に関して、通常の注視におけるシーン1とその他のシーンで有意傾向が見られたことから、従来の注視では、奥行きや密集度がポインティングに影響を及ぼすが、バブルカーソルを用いた手法では、それらの要素の影響を受けづら可能性が示された。

また、エラー率に関して、どちらの手法においてもエラーがほとんどなかった。これは1.0秒という注視時間がエラーを引き起こしづら値であったと考えられる。注視時間を短くすることにより、素早いポインティングが可能になるが、代わりにエラーが起りやすくなるため、この2つのバランスについては今後も検討していく必要がある。

主観評価に関しては、手法の性能、好みにおいて有意差、疲労度、直感性において有意傾向が見られたことから、通常の注視では、固視微動やアイトラッカーの精度が影響により選択が難しい奥行きや密集度においても、バブルカーソルを用いることで改善されることが示唆された。

バブルカーソルの視覚的表示の有無に関しては、どの結果においても有意性は見られなかった。視線の先に常にエリアカーソルが表示されると、AR環境では現実空間の情報を遮蔽することになるため、結果に差がないならバブルカーソルは表示しない方が良いと考えられる。

5. おわりに

本研究では、AR環境におけるポインティングタスクについて、バブルカーソルを用いた視線入力と通常の視線入力の2手法を、タスク完了時間、エラー率、主観評価の点で比較した。結果として、タスク完了時間や、手法の性能、疲労度、好みにおいてバブルカーソルを用いた手法が優れている可能性が示された。ただし、本実験はデータ数が少ないため、今後、被験者を増やし、より多くのデータで検討する必要がある。

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(2005)
- [2] Myunguen Choi, Daisuke Sakamoto, and Tetsuo Ono: "Bubble Gaze Cursor : Applying Bubble Cursor Technique to Eye-gaze Interaction", Journal of Information Processing Society of Japan, Vol.61, Number 2, pp.221-232(2020)
- [3] Yiqin Lu, Chun Yu, and Yuanchun Shi: "Investigating Bubble Mechanism for Ray-Casting to Improve 3D Target Acquisition in Virtual Reality", 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces(VR), pp.35-43(2020)
- [4] 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27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, 3-B05,(2021)
- [5] Jonas Blattgerste, Patrick Renner, and Thies Pfeiffer: "Advantages of Eye-Gaze over Head-Gaze-Based Selection in Virtual and Augmented Reality under Varying Field of Views", In Proceedings of the Workshop on Communication by Gaze Interaction (COGAIN '18), pp.1-9(2018)