

Dwell and Pursue:

注視すると移動するターゲットを視線で追従するポインティング手法

大場 洋介* 島田 雄輝* 宮下 芳明*

概要. 本研究では、密集した小さなターゲットにおけるポインティング手法 (Dwell and Pursue) を提案する。提案手法では、まず滞留ベースの手法を用い、注視付近の複数のターゲットを選出する。次に、選出された複数のターゲットが移動し、選択したいターゲットを追従ベースの手法を用いて、選択を行う手法である。本稿では、提案手法を用いたポインティングのパフォーマンスを検証するため、実験を行った。

1 はじめに

視線を用いる代表的なポインティング (ボタンやアイコンなどのターゲットを選択する操作) 手法として、滞留ベースの手法が挙げられる [1]。滞留ベースの手法とは、ターゲットを一定時間注視することで、選択を行う手法である。しかしこの手法では、固視微動 (注視するときに意図せず行われる視線の微量な動き) や、アイトラッカーのトラッキング誤差により、小さいターゲットや密集したターゲットを選択することが困難である [2]。一方で、視線を用いて小さなターゲットをポインティングできる手法として、追従ベースの手法が挙げられる [3]。追従ベースの手法とは、移動するターゲットを視線で追従することで選択を行う手法である。この手法は、ターゲットと視線の動きの関係から選択を行うため、固視微動やアイトラッカーのトラッキング誤差による影響が小さい。しかしこの手法は、ターゲットが常に移動する必要がある、ターゲットが移動しない既存のデザインを用いることができない。

本研究では、滞留ベースの手法を用いたのちに、追従ベースの手法を用いる手法 (Dwell and Pursue) を提案する (図 1)。まず、滞留ベースの手法によって複数のターゲットを選出する。次に、追従ベースの手法によって、移動するターゲットを視線で追従することで選択を行う手法である。提案手法は、密集した小さなターゲットを選択できる手法であり、具体的には、Excel シートにおけるセルのポインティングなどに適していると考えられる。

本稿では、提案手法におけるポインティングのパフォーマンスを検証するため、滞留ベースの手法におけるターゲットを選出する基準、追従ベースの手法におけるターゲットの移動速度、ターゲットを追従する時間、の 3 つの変数を用いて実験を行った。

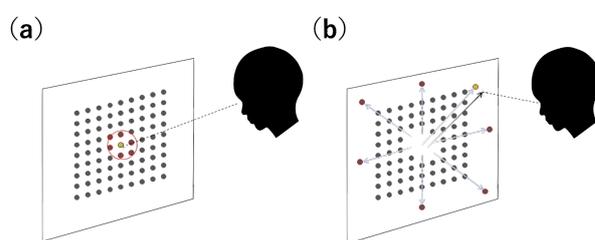


図 1. Dwell and Pursue 概要図: (a) まず、滞留ベースの手法によって、複数のターゲットを選出する。(b) 次に、追従ベースの手法によって、移動する複数のターゲットから、選択したいターゲットを視線で追従する。

2 提案手法

提案手法は、滞留ベースの手法による段階 (Dwell Phase) と、追従ベースの手法による段階 (Pursue Phase) で構成される。Dwell Phase では、選択したいターゲットを一定時間注視することで、選択の候補となるターゲットを注視付近から複数選出する (図 1 (a))。Pursue Phase では、Dwell Phase で選出されたターゲットがそれぞれの方向を一定速度で移動し、ユーザは選択したいターゲットを視線で追従する (図 1 (b))。Pursue Phase の開始から一定時間が経過すると、Pursue Phase は終了する。このとき、Pursue Phase で生じた視線移動方向と、選出された複数のターゲットの移動方向を比較し、最も類似度が高いターゲットを選択する。

3 実験

提案手法のパフォーマンスを検証するため、密集した小さなターゲットにおいてポインティングタスクを行った。

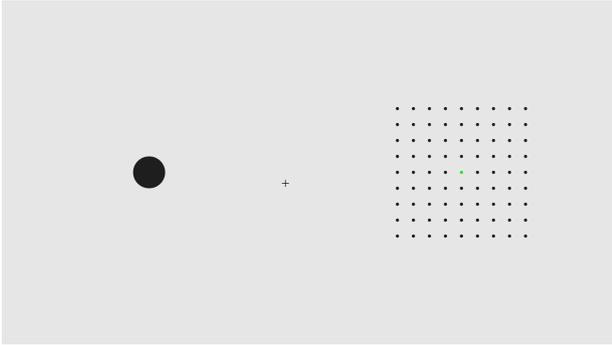


図 2. 実験画面.

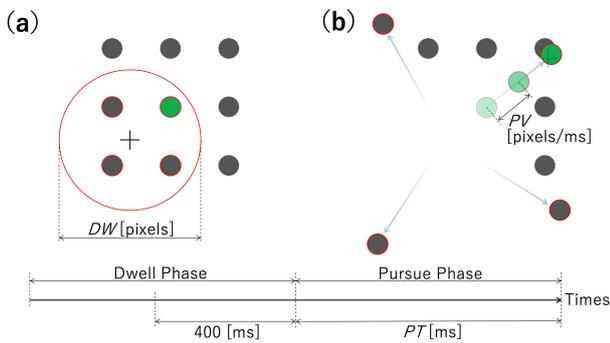


図 3. (a) Dwell Phase 概要図. (b) Pursue Phase 概要図.

3.1 環境

アイトラッカーは Tobii Eye Tracker 4C (サンプリング周波数: 90 Hz) を用い, PC (DAIV-DGZ500U2-SP2, Intel Core i7-6700K, 4.00 GHz, 32.00 GB RAM, Windows 10 Home) に外部ディスプレイ (KH245V, 23.8 inch, 1920 × 1080 pixels) を繋ぎ, 実験を行った. 実験プログラムは GazeTrack¹ を用いて Processing で作成され, 約 60 FPS で動作し, 外部ディスプレイにフルスクリーンで表示された. 視線位置に十字のカーソルが表示された. 参加者は, 顔が外部ディスプレイの中心に位置するように着席した. 外部ディスプレイの中心から参加者の眼までの距離は約 60 cm であり, 実験中はなるべく顔を動かさず, 瞬きを行わないように指示した. 計測データは約 60 FPS で出力された.

3.2 参加者

実験には 6 名 (21–25 歳, 3 名が男性, 3 名が女性) が参加した. 3 名が裸眼, 2 名が眼鏡, 1 名がコンタクトを装着していた.

¹ <http://web.tecnico.ulisboa.pt/augusto.esteves/GazeTrack/>

3.3 タスク

画面上に 100 pixels (視角 2.62°) を直径とした円形の開始ターゲット 1 個と, 10 pixels (視角 0.262°) を直径とした小さいターゲット 81 個が提示された (図 2). 参加者は, 開始ターゲットを選択したのち, 終了ターゲットを選択するタスクを行った. 開始ターゲットは画面左側, 81 個の小さいターゲットは画面右側に提示された. 終了ターゲットは 81 個のターゲットの中央に緑色で提示され, 他の 80 個は非ターゲットであった. 参加者が開始ターゲットを 400 ms 注視することで試行が開始された. 試行の開始を知らせるため, 開始ターゲットの明度が下がり, 音が鳴った.

開始ターゲット選択後, Dwell Phase が開始された. Dwell Phase では, 直径 DW の赤枠の円が提示された (図 3 (a)). この円は, 毎フレームごとに得られた視線位置の平均座標を中心として, 円内に中心が位置するターゲットが 1 つ以上ある場合に提示された. また, あるフレームで DW の 1/2 以上の距離の視線移動が発生した場合, 次のフレームから視線位置の平均座標を算出した. Dwell Phase は, DW の 1/2 以上の距離の視線移動が 400 ms の間発生せず, 赤枠の円が提示されている場合に終了した. Dwell Phase が終了する際に, 赤枠の円内に中心が位置したターゲットが Pursue Phase で移動するターゲットに選出された.

ターゲットの選出が終了すると, Pursue Phase が開始された. 選出されたターゲットは, Dwell Phase 終了時の赤枠の円の中心座標からそれぞれのターゲットの初期位置に対する直線上を速度 PV で移動し (図 3 (b)), 参加者は終了ターゲットを視線で追従した. 一定時間 PT が経過すると, Pursue Phase が終了した. Pursue Phase 終了時に, Pursue Phase 開始時の視線位置の座標から Pursue Phase の 1 フレーム内で生じた最も距離の長い視線移動後の座標までのベクトルと, ターゲットの移動した方向ベクトルを比較し, 最もコサイン類似度が高いターゲットが選択された. 参加者が終了ターゲットを選択できた場合を成功, 非ターゲットを選択した場合をエラーとし, タスクの成否を知らせる音が鳴った. また, 参加者にできるだけ速く正確に試行を行うことを指示した.

3.4 デザイン

Dwell Phase で提示される赤枠の円の直径 DW は 3 条件であり, 40, 80, 120 pixels であった. Pursue Phase でターゲットが移動する速度 PV は 3 条件であり, 0.3, 0.6, 0.9 pixels/ms であった. Pursue Phase でターゲットの選択を決定するまでの時間 PT は 3 条件であり, 300, 500, 700 ms であった. ディスプレイから参加者の眼までが 60 cm 離れている時, DW は視角 1.05°, 2.10°, 3.15° であった.

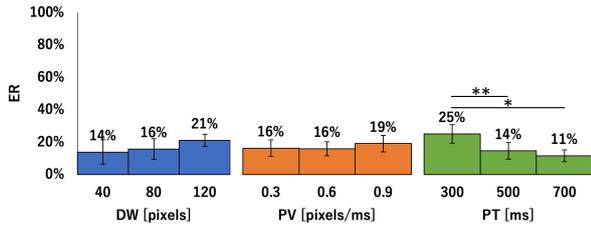


図 4. ER に対する DW , PV , PT の影響. PT において主効果が見られた.

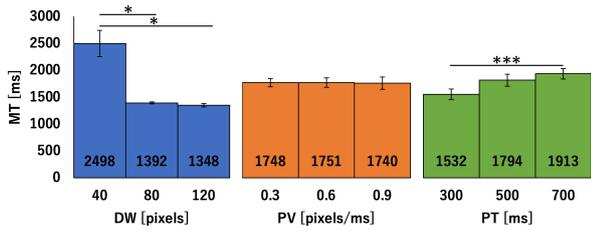


図 5. MT に対する DW , PV , PT の影響. DW , PT において主効果が見られた.

3.5 手順

初めにタスクの説明を口頭で行ったのち、視線のキャリブレーションを行わせた。その後、練習を1ブロック ($3DW \times 3PV \times 3PT = 27$ 試行)、本番を10ブロック行わせた。ブロック内の条件の提示順序はランダムであった。実験時間は約20分であり、試行間に適宜休憩を取らせた。

4 結果

1620 試行のデータが計測された。繰り返しのある分散分析を行い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。独立変数は DW , PV , PT であり、従属変数は操作時間 (Dwell Phase 開始から Pursue Phase 終了までの時間) MT , エラー率 ER であった。グラフ中のエラーバーは標準誤差を示し, ***, **, * はそれぞれ $p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.05$ を示す。すべての分析には IBM SPSS を用いた。

4.1 エラー率 ER

1620 試行中、エラーは274試行であり、約17%であった。 PT ($F_{2,10} = 21.7$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.813$) において主効果が見られ、 DW ($F_{2,10} = 0.577$, $p = 0.579$, $\eta_p^2 = 0.103$), PV ($F_{2,10} = 1.65$, $p = 0.240$, $\eta_p^2 = 0.248$) において主効果は見られなかった。 $DW \times PT$ において交互作用が見られた ($F_{4,20} = 8.94$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.641$)。

4.2 操作時間 MT

エラーを除いた1346試行のデータを用いて分析を行った。平均は1742msであった。 DW ($F_{2,10} = 23.2$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.823$), PT ($F_{2,10} = 12.3$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.711$) において主効果が見られた。 PV ($F_{2,10} = 0.0379$, $p = 0.963$, $\eta_p^2 = 0.00753$) において主効果は見られなかった。

5 考察

実験の結果より、 DW は MT に対して主効果が見られた。図5(左)より、 $DW = 40$ pixels は他の条件に比べて MT が有意に遅かった。これは、Dwell Phase において、 DW が小さいと、赤枠の円内にターゲットの中心を位置させることが難しかったためと考えられる。したがって、本実験条件においては、 $DW \geq 80$ pixels が適すと考えられる。 PT は ER , MT に対して主効果が見られた。しかし、 MT は速いほうがよいため、図5(右)より、 $PT = 700$ ms のときに最もよいと考えられるが、図4(右)より、エラー率が低いのは $PT = 300$ ms のときである。したがって、 PT に対して ER と MT はトレードオフの関係にあると考えられる。そのため、設計者は ER , MT に対する PT の影響を考慮したうえで、 PT を設定する必要があると考えられる。また、全試行において ER は約17%であり、 MT はエラーを除いて平均約1742msであった。これらは、提案手法のアルゴリズムの改善により、向上すると考えられる。

6 結論

本稿では、密集した小さなターゲットに対してポインティングできる手法 (Dwell and Pursue) を提案した。また提案手法におけるポインティングのパフォーマンスを調査するため、実験を行った。実験の結果、本実験条件においては、 $DW \geq 80$ pixels が適し、 PT は、 ER , MT に対する影響を考慮したうえで設定する必要があることがわかった。

7 今後の展望

本実験では、密集したターゲット同士の間隔の距離が一定であったため、条件に追加して実験を行いたい。また、密集した小さなターゲットに対してポインティングできる手法として Bubble Gaze Lens [4] が提案されているため、提案手法との比較を行いたい。さらに、本実験では、Dwell Phase において非ターゲットのみが選出されたときに、選択したいターゲットの選択が行えない問題が生じた。今後は、Dwell Phase におけるターゲットの選出をやり直す方法の追加を行いたい。具体的には、Pursue Phase において、一定時間ターゲットの追従が行われない場合、Dwell Phase をやり直すことを考えている。

参考文献

- [1] Colin Ware and Harutune H. Mikaelian. An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. In *Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, CHI '87*, p. 183–188, New York, NY, USA, 1986. Association for Computing Machinery.
- [2] I. Scott MacKenzie. An eye on input: Research challenges in using the eye for computer input control. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research Applications, ETRA '10*, p. 11–12, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [3] Mélodie Vidal, Ken Pfeuffer, Andreas Bulling, and Hans W. Gellersen. Pursuits: Eye-based interaction with moving targets. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '13*, p. 3147–3150, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [4] Myunguen Choi, Daisuke Sakamoto, and Tet-suo Ono. Bubble gaze cursor + bubble gaze lens: Applying area cursor technique to eye-gaze interface. In *ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '20 Full Papers*, p. 1–10, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.