

航空路マウス：親指ジョイスティックでのターゲット方向指示によるポインティング高速化手法

中辻 智裕^{1,a)} 山本 景子^{1,b)} 倉本 到^{1,c)} 辻野 嘉宏^{1,d)}

概要：ポインティングの高速化を目的として、本稿では「航空路マウス」を提案する。航空路マウスでは、マウスの親指を添える位置に取り付けた小型ジョイスティックをカーソルの現在位置から見てターゲットの方向に倒す事によりターゲットへの移動を行う。また同じ方向にオブジェクトが複数ある場合、遠い方のオブジェクトへの移動は、この操作を繰り返すことで行う。これにより、ターゲットへの移動時間を短縮することを目指す。この手法を評価するため、被験者に操作に十分慣れさせた上で、航空路マウス、バブルカーソル、Delphian Desktop、ポイントカーソルで比較実験を行った。その結果、航空路マウスはほぼ全ての配置で既存手法より有意に速くターゲットを選択することができた。またそれ以外の配置においても既存手法より有意に遅くなる結果は見られなかった。

Airway Mouse: A Mouse with a Thumb Joystick to Input Rough Direction Towards a Target

TOMOHIRO NAKATSUJI^{1,a)} KEIKO YAMAMOTO^{1,b)} ITARU KURAMOTO^{1,c)} YOSHIHIRO TSUJINO^{1,d)}

Abstract: In conventional pointing device such as a mouse, it takes long time when the target object is small or the distance between the target object and the current cursor position is large. To solve the problematic situation, we propose the new pointing device named “Airway Mouse,” which is a mouse with a small joystick under the position of the thumb when a user grabs a mouse. When the user taps the joystick to input the direction towards a target object, a cursor jumps to the target object. When there are several objects between the target object and the current position of the cursor, the user can select the target object by carrying out repeatedly this operation on the intermediate non-target objects till the target object is reached. This technique can reduce the time to select a target object. We conduct an experimental evaluation of Airway Mouse compared with the conventional pointing cursor and two practical pointing techniques for reducing the time to select a target object, which are Bubble Cursor(BC) and Delphian Desktop(DD). As the result, Airway Mouse is significantly faster than these techniques in all experimental arrangements of object except the arrangements of objects in which BC and DD have their own advantages of target acquisition. However in such cases, the target selection time with Airway Mouse can keep up with them.

1. はじめに

コンピュータのグラフィカルユーザインタフェース (GUI) 環境において、ターゲットの選択には一般的にはポイントカーソルが使われている。ポイントカーソルで目標となるオブジェクト (以降「ターゲット」) を選択する

ためには、ユーザはターゲット上の領域までカーソルを移動させなければならない。つまりポイントカーソルでオブジェクトを選択できる領域はオブジェクト上である。Fittsの法則として知られているように、画面上のカーソルの位置とターゲットの位置が離れているほど、ユーザはカーソルを長い距離にわたって移動させる必要があり、またターゲットが小さいほどターゲット内にカーソルを入れるのが難しく、ターゲット選択に時間がかかる問題がある [1][2]。本稿ではこの問題を解決し、将来のディスプレイの大型

¹ 京都工芸繊維大学

a) nakatsuji@hit.is.kit.ac.jp

b) kei@kit.ac.jp

c) kuramoto@hit.is.kit.ac.jp

d) tsujino@kit.ac.jp

化に対応するために、ターゲット選択のためのマウス移動の必要性を排し、カーソルの現在位置から見たターゲットの方向を直接指示することでカーソルをターゲットまで瞬間的に移動（ジャンプ）させる新しいポインティング技法である「航空路マウス」を提案する。

航空路マウスでは、マウスに取り付けたジョイスティックを倒すことによりターゲットの方向を指定することで、カーソルをターゲットまでジャンプさせることができる。そうすることでターゲットの選択にかかる時間を短くすることを目指している。

Fitts の法則に基づいた問題の解決方法は大きく分けて 2 種類ある。一つ目はマウスの移動距離を短縮する手法であり、カーソルの位置に一番近いオブジェクトを選択できるバブルカーソル [3] や、マウス移動による情報からターゲットまでの距離を予測してカーソルをターゲットの位置まで移動させる Delphian Desktop [4]、Drag and Pop [5] などがある。航空路マウスはマウス移動の必要性自体をなくす手法であり、これらマウス移動距離を短縮するものとはアプローチが異なる。

二つ目はカーソルが勢い余ってターゲットを通りすぎてからクリックしてしまうエラーを起こりにくくする手法であり、Sticky Icon [6]、Birdlime Icon [7] や Semantic Pointing [8] などがある。これらは、実効的にオブジェクトサイズを大きくする手法である。航空路マウスではマウスを移動させずにカーソルをターゲットに移動させられるため、この種のエラーは起こらない。

航空路マウスのようにマウスに入力用の部品を取り付ける手法にはマウスにタッチディスプレイを取り付けた LensMouse [9] が存在する。この研究ではディスプレイ内のターゲットであれば素早く選択できるが、注視すべきディスプレイが分断されてしまう問題がある。

また航空路マウスと同様に、カーソルからのオブジェクトの方向に着目してターゲット選択時の操作量を低減しようとするものに、Beam Cursor [10] や Vacuum [11] がある。これらはタッチディスプレイでスタイラスを使う環境での使用を想定しており、スタイラスでターゲットをできるだけ身体に近い位置でタッチして選択するための手法である。よってタッチディスプレイ以外の GUI 環境で使うことは想定されていない。

他にターゲットの座標を直接指定してターゲットを選択することでマウス移動を必要としない手法として、手に持ち空中で操作するリモートポインティングデバイス [12] や、アイトラッカにより視線を使ったターゲット選択手法 [13] がある。リモートポインティングデバイスは、空中で操作するためボタンを押した時や停止時にブレが発生するため、細かい操作が難しいことや、腕の疲労が大きくなるために、長時間の操作には向かないなどの問題がある。一方アイトラッカによる手法は従来のポインティング技法



図 1 航空路マウスのデバイス

より速くポインティングができることが明らかになっている。しかし、固視微動や計測誤差のために、小さなオブジェクトの選択には向かない。またメガネなど目を覆うものをつけると計測誤差が大きくなりやすくなったり、頭部位置をある程度固定しなければならなかったりするなどの問題も存在する。

2. 航空路マウス

2.1 概要

航空路マウスはターゲット選択にかかる時間を短縮することを目指し、マウスにジョイスティックを付け加えたデバイスを用いる新たなポインティング技法である。このデバイスは図 1 に示すマウスの親指を添える位置に小型のジョイスティック（親指ジョイスティック）を付けたものである。

親指ジョイスティックを倒すことで、倒した方向に対応したオブジェクトの中心にカーソルをジャンプさせることができる。図 2 のように、カーソルの位置を中心として領域を扇状に分割し（詳しくは 2.2 に詳述）、その扇形領域の中にあるオブジェクトとそれぞれ対応付ける。この扇形領域を以降「オブジェクト方向域」と呼ぶ。ジョイスティックをカーソルの位置からそれぞれのオブジェクト方向の側へ倒すと、対応したオブジェクトにジャンプできる。

このとき、オブジェクト方向域の角度が小さくなりすぎないようにするため、カーソルから遠い位置のオブジェクトにはオブジェクト方向域を与えないようにする。以降、この時の閾値となる角度を「最低オブジェクト角度」と呼ぶ。このようなオブジェクト方向域を持たないターゲットへの移動は、図 3 のように、ジョイスティックを複数回倒すことで、つまりカーソルの初期位置とターゲットの間のオブジェクトを複数個経由することで行う。なお、一回ジャンプさせた後は、ジョイスティックが初期位置に戻るため、すぐに次のジャンプができる状態になる。

例えば図 4 のようなオブジェクト配置の場合を考える。複数回ジャンプさせることにより、ターゲットとの間にある他のオブジェクト（例えば図 4 中の④）を経由することになる。この動作を以降では「中継」と呼び、中継するオ

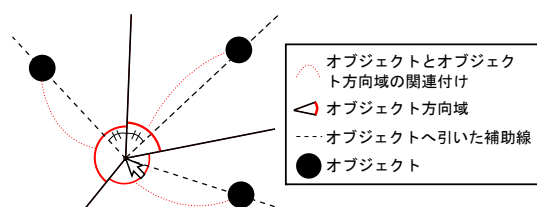


図 2 航空路マウスのオブジェクト方向域の分割例

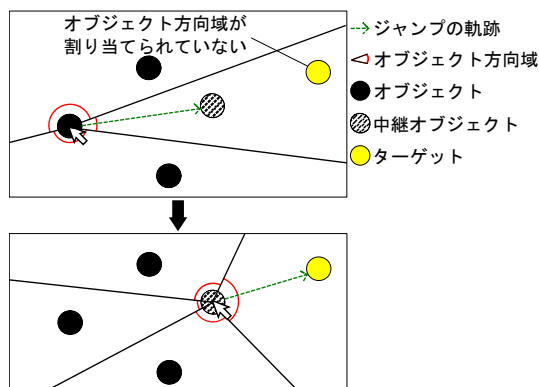


図 3 オブジェクト方向域が割り当てられていないオブジェクトへの中継による移動例

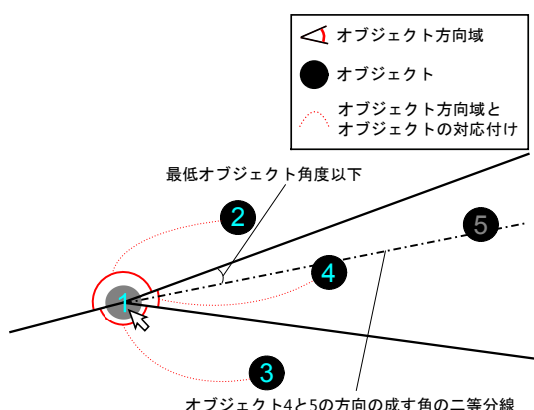


図 4 オブジェクト方向域決定例

オブジェクトを「中継オブジェクト」と呼ぶ。

航空路マウスでは、(中継オブジェクトの数)+1 回ジョイスティックを倒せばターゲットへ到達できる。つまり選択時間はターゲットまでの距離に比例せず、中継回数にのみ依存することがわかる。このとき、中継オブジェクトにジャンプしてもカーソルからターゲットへ方向は大きくは変わらないため、ジャンプ毎に操作を再計画する必要はなく、移動の間の思考時間は極めて小さいと考えられる。さらに、ジョイスティックを倒すのにかかる時間は、ターゲットまでの距離に関わらず小さいことが期待されるため、結果として、ターゲットまでマウスを動かす場合に比べ、ターゲットの選択にかかる時間は短縮できると予想される。

なお、オブジェクトの選択はポイントカーソル同様ターゲット上で左クリックすることで行う。

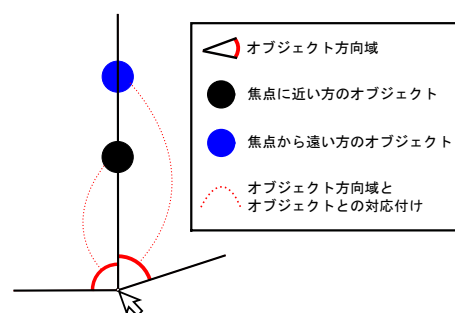


図 5 2 個のオブジェクトが焦点から同方向にあるときのオブジェクト方向域の割り振り

2.2 オブジェクト方向域の割り当て

オブジェクトにオブジェクト方向域を割り当ててる手順を以下に示す。

- (1) (a) カーソルの位置がオブジェクト上にある場合；
オブジェクト (O_f) の中心を焦点とする
(b) カーソルの位置がオブジェクト上にない場合；
カーソルの位置を焦点とする
- (2) オブジェクトの集合 S_a , S_b を作る。 S_a は O_f を除く全てのオブジェクトを含み、 S_b は空集合である
- (3) S_a に含まれるオブジェクトの中で焦点に最も近いオブジェクトを O_n とし、 O_n を S_a から除く
- (4) (a) S_b が空集合でない場合；
(i) $S_b \cup \{O_n\}$ に含まれるオブジェクト群に対して、焦点とオブジェクトの中心との間に直線を引き、隣り合う直線同士が成す角の 2 等分線 (オブジェクト境界線) を焦点から引く
(ii) どの隣り合う 2 本のオブジェクト境界線をとっても最低オブジェクト角度以下にならない場合 $S_b = S_b \cup \{O_n\}$ とする
(b) S_b が空集合の場合；
 $S_b = \{O_n\}$ とする
- (5) (a) S_a が空集合でない場合；
手順 (3) に戻る
(b) S_a が空集合の場合；
(i) S_b に含まれるオブジェクト群に対して、オブジェクト境界線を引く
(ii) S_b に含まれる各オブジェクトに対して、焦点からオブジェクトの中心へ引いた線を間に挟む 2 本のオブジェクト境界線のなす扇形の領域を、そのオブジェクトのオブジェクト方向域とする。ただし、焦点からそのオブジェクトの中心へ引いた線がオブジェクト境界線と重なるとき、つまり焦点から全く同じ方向にオブジェクトが 2 個存在するとき、図 5 のように焦点から遠い方のオブジェクトに対応するオブジェクト方向域は、焦点から見て右側とする。

表 1 図 4 の配置でのオブジェクト方向域決定例の過程

Step #	Process	O_f	O_n	S_a	S_b
1	1.	1	—	—	—
2	2.	1	—	2, 3, 4, 5	ϕ
3	3.	1	2	3, 4, 5	ϕ
4	4.(b)	1	2	3, 4, 5	2
5	5.(a)	1	2	3, 4, 5	2
6	3.	1	3	4, 5	2
7	4.(a)	1	3	4, 5	2, 3
8	5.(a)	1	3	4, 5	2, 3
9	3.	1	4	5	2, 3
10	4.(a)	1	4	5	2, 3, 4
11	5.(a)	1	4	5	2, 3, 4
12	3.	1	5	ϕ	2, 3, 4
13	4.(a)	1	5	ϕ	2, 3, 4
14	5.(b)	1	5	ϕ	2, 3, 4

— : N/A

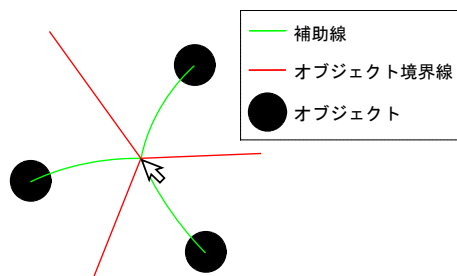


図 6 航空路マウスの画面表示例

例として、図 4 に示すオブジェクト配置におけるオブジェクト方向域の対応付けの過程を表 1 に示す。図 4 の赤い破線が最終的なオブジェクト方向域とオブジェクトの対応を示す。最後の手順 4(a) でオブジェクト⑤を含めてオブジェクト境界線（図 4 の破線）を作ると最低オブジェクト角度を下回る角度が発生するため、オブジェクト⑤のオブジェクト方向域は作成されない。

2.3 表示

航空路マウスの画面表示例を図 6 に示す。カーソルの現在位置に白抜き矢印、オブジェクト方向域を示すためにオブジェクト境界線を赤色直線、オブジェクト方向域がどのオブジェクトに対応しているかを示すための補助線をカーソル位置とオブジェクトの中心の間に緑色曲線で表示する。

補助線を曲線にする理由は、オブジェクト境界線とオブジェクトへの角度が近接している場合、補助線が直線だと見づらくなってしまうからである。補助線は 2 次元ベジェ曲線で描き、制御点は図 7 のように、対応したオブジェクト方向域の角度を 2 等分した方向に焦点からオブジェクトの間の距離だけ離れた座標に設定している。ただし、求めた制御点が画面から外れる場合は補助線が切れてしまいオブジェクトとオブジェクト方向域の対応を示せないため、求めた座標に最も近い画面内の座標に制御点を設定する。

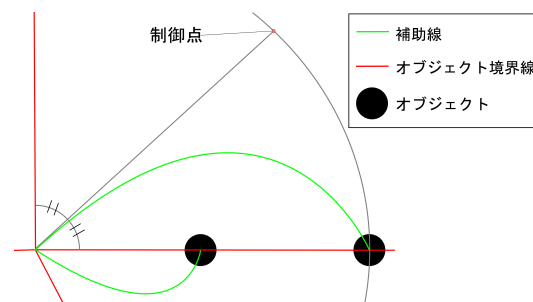


図 7 補助線における二次元ベジェ曲線の制御点の求め方

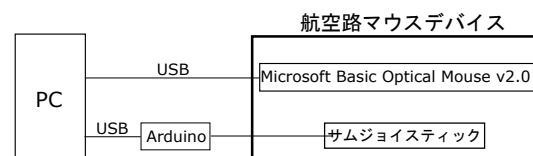


図 8 航空路マウスの構成

2.4 デバイス

デバイスを含むシステムの構成を図 8 に示す。実デバイスの実装は市販のマウス (Microsoft Basic Optical Mouse) をくり抜き、内部に親指ジョイスティックの部品を埋め込んでいる。ジョイスティックは Arduino を介して縦横 2 軸の 2 値 (x, y) を返す。値はそれぞれ 0 ~ 1023 の範囲の値をとり、初期位置で 511 を返す。入力角度の分解能は 0.11° である。

3. 評価実験

3.1 実験設計

航空路マウスのターゲットの選択にかかる時間を他のポインティング技法と比較し、航空路マウスの性能と有効な状況を調べる。

比較するのは以下の 4 種類のポインティング技法である。

- ポイントカーソル (C_p)
- バブルカーソル [3] (C_b)
- Delphian Desktop [4] (C_d)
- 航空路マウス (C_a)

バブルカーソルと Delphian Desktop は、航空路マウス同様に制限が少なく、一般的なオブジェクト配置に適用できるポインティング技法であるため、比較対象とした。

ポイントカーソルと比べて、それ以外のポインティング技法は使い方や方針が新奇であるため、被験者には各技法による操作が身に付くまで 3 週間練習させた上で評価をする。被験者は GUI 環境に慣れている大学生及び大学院生 12 名である。

評価のためのタスクは、それぞれのポインティング技法でターゲットを選択するものである。各オブジェクトは円形で半径は 20[pixel] である。オブジェクトを円形にするのは、オブジェクトの中心からの方向に依らず等距離の位置からオブジェクトまでの距離が変わらないようにするため

表 2 配置ごとの特徴

配置名	F_1	F_2	F_3	F_4
α_{1S}	不必要	×	無し	400
α_{1L}	不必要	×	無し	600
α_{2S}	不必要	×	有り	400
α_{2L}	不必要	×	有り	600
β_{1S}	必要	ターゲット	無し	400
β_{1L}	必要	ターゲット	無し	600
β_{2S}	必要	ターゲット	有り	400
β_{2L}	必要	ターゲット	有り	600
γ_{1S}	必要	カーソル初期位置	無し	400
γ_{1L}	必要	カーソル初期位置	無し	600
γ_{2S}	必要	カーソル初期位置	有り	400
γ_{2L}	必要	カーソル初期位置	有り	600

F_1 =中継の必要性

F_2 =中継オブジェクトが何の周りにあるか

F_3 =ターゲットの後ろのオブジェクトの有無

F_4 =ターゲットまでの距離 [pixel]

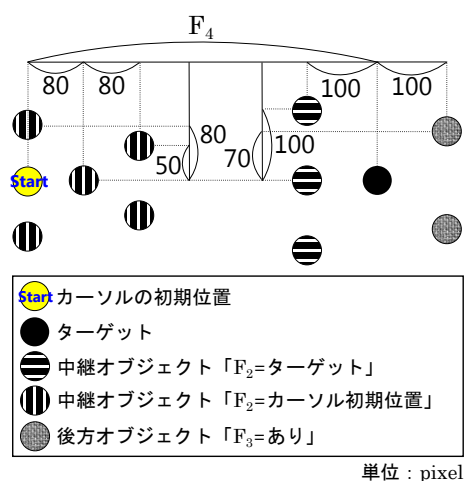


図 9 オブジェクト配置

である。

タスクを開始するオブジェクトを開始オブジェクトと呼ぶ。これを選択すると、画面に描写されているオブジェクトのうち一つの色が変わる。これをターゲットと呼び、このターゲットを選択するとタスクは完了となる。

このターゲット選択タスクで使うオブジェクトの配置は表 2 の下部に示す $F_1 \sim F_4$ の 4 種類の特徴の組み合わせによる 12 種類である。図 9 にその配置を示す。図 9 ではターゲットが右方向にあるが、この他にターゲットが下および左方向となる合計 3 種類の配置がある。よってタスクは合計 36 通りである。実験ではポインティング技法ごとに 36 通りのタスクを 2 回ずつ、合計 72 回を順序効果が出ないように行わせた。

3.2 結果と考察

中継オブジェクトの配置別のターゲット選択時間の平均値を図 10, 11, 12 に示す。これらから、どの配置において

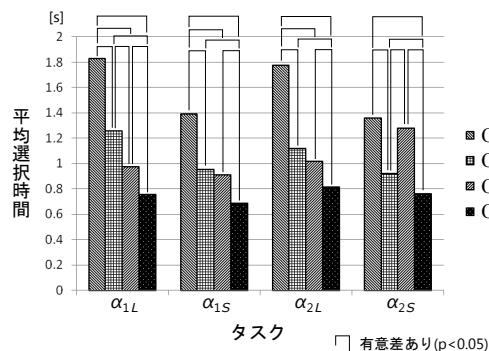


図 10 α タスクの平均ターゲット選択時間

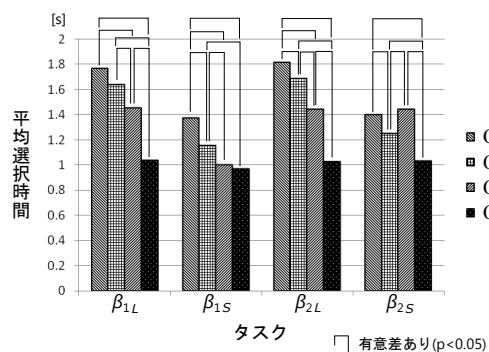


図 11 β タスクの平均ターゲット選択時間

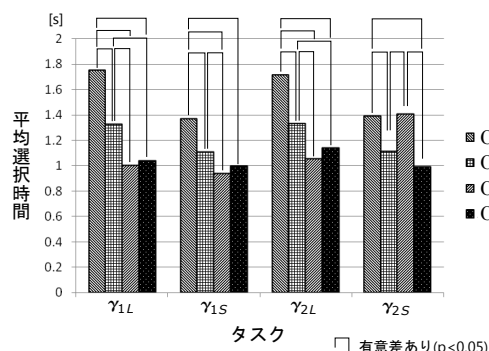


図 12 γ タスクの平均ターゲット選択時間

も提案手法 C_a は C_p より速くターゲットを選択できることがわかる。また図 10 より、ターゲットとカーソルの間にオブジェクトがないオブジェクト配置 (α) では、 C_a が最も速くターゲットを選択できることがわかる。さらに、図 11, 12 より、中継の必要なタスクの場合も C_a は多くの配置で別のポインティング技法より有意に速くターゲットを選択でき、またそれ以外の C_b , C_d の選択時間が短くなりやすい配置でも、 C_a は C_b と C_d と比べてターゲット選択が有意に遅くなることはなかった。

評価のためのオブジェクト配置では中継回数は最大でも 1 回であり、航空路マウスのジャンプを使ったターゲット選択にかかる時間は中継回数に依存することから、ターゲットまでの間に大量のオブジェクトが敷き詰められている配置においては操作時間が長くなることが予想される。しかし、このような配置の場合はターゲットの近くにある

オブジェクトの影響でバブルカーソルや Delphian Desktop も有効に機能しないことがわかっている。また航空路マウスはジャンプを行わずに通常のマウス移動によりカーソルを動かすこともできるため、一定以上中継が必要でジャンプが有効でない場合は、ポイントカーソル同様に扱うことで対応できると考えられる。よって実用的なオブジェクト配置においては航空路マウスは十分有効であると考えられる。また画面が大きくなりターゲットまでの距離がこれ以上長くなったとしても、航空路マウスでターゲットを選択するのにかかる時間はターゲットまでの距離に影響しないので、より効果が発揮できると考えられる。

4. おわりに

本稿では、ポインティングの問題点を踏まえ、ターゲットを選択するのにかかる時間を短縮することを目指した新しいポインティング技法である「航空路マウス」を提案した。航空路マウスでは、マウスに親指ジョイスティックを付け、カーソルをジョイスティックを倒した方向にあるオブジェクトにジャンプできるようにすることで、マウス移動の必要性を排し、何度かのジョイスティックを倒す操作のみでターゲットまでの移動を可能とする。その結果としてターゲット選択にかかる時間を短くすることを目指している。

航空路マウスと既存手法を用いて、ターゲットを選択するタスクを行わせる比較実験を行った。その結果、航空路マウスは多くの配置では既存手法より有意に速くターゲットを選択することができ、またそれ以外のどのような配置においても既存手法より有意に遅くなる結果は見られなかった。このことから航空路マウスは有効であることがわかった。

今後の展開として、よりユーザの意図通りのジャンプを実現するために、オブジェクト方向域の割り当てのアルゴリズムの改良や、親指の身体的特性が関わりにくいトラックボールなどの方向指示デバイスによる改善を検討することが挙げられる。

参考文献

- [1] Fitts, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of Experimental Psychology, Journal of Experimental Psychology*, Vol. 47, No. 6, pp. 381–391 (1954).
- [2] MacKenzie, I. S.: Fitts' Law As a Research and Design Tool in Human-computer Interaction, *Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 7, No. 1, pp. 91–139 (1992).
- [3] Grossman, T. and Balakrishnan, R.: The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor's Activation Area, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 281–290 (2005).
- [4] Asano, T., Sharlin, E., Kitamura, Y., Takashima, K. and

- Kishino, F.: Predictive Interaction Using the Delphian Desktop, *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 133–141 (2005).
- [5] Collomb, M., Hascoët, M., Baudisch, P. and Lee, B.: Improving Drag-and-drop on Wall-size Displays, *Proceedings of Graphics Interface 2005*, GI '05, School of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, Canadian Human-Computer Communications Society, pp. 25–32 (2005).
- [6] Mandryk, R. L. and Gutwin, C.: Perceptibility and Utility of Sticky Targets, *Proceedings of Graphics Interface 2008*, GI '08, Toronto, Ont., Canada, Canada, Canadian Information Processing Society, pp. 65–72 (2008).
- [7] Tsukitani, T., Takashima, K., Asahi, M., Itoh, Y., Kitamura, Y. and Kishino, F.: The Birdlime Icon: Improving Target Acquisition by Dynamically Stretching Target Shape, *the 22th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 13–14 (2009).
- [8] Blanch, R., Guiard, Y. and Beaudouin-Lafon, M.: Semantic Pointing: Improving Target Acquisition with Control-display Ratio Adaptation, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, New York, NY, USA, ACM, pp. 519–526 (2004).
- [9] Yang, X.-D., Mak, E., McCallum, D., Irani, P., Cao, X. and Izadi, S.: LensMouse: Augmenting the Mouse with an Interactive Touch Display, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 2431–2440 (2010).
- [10] Yin, J. and Ren, X.: The Beam Cursor: A Pen-based Technique for Enhancing Target Acquisition, *People and Computers XX — Engage*, Springer London, pp. 119–134 (2007).
- [11] Bezerianos, A. and Balakrishnan, R.: The Vacuum: Facilitating the Manipulation of Distant Objects, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 361–370 (2005).
- [12] Hisamatsu, T., Shizuki, B., Takahashi, S. and Tanaka, J.: A novel click-free interaction technique for large-screen interfaces, *the 7th Asia-Pacific Conference on Computer-Human Interaction* (2006).
- [13] Monden, A., Matsumoto, K. and Yamato, M.: Evaluation of Gaze-added Target Selection Methods Suitable for General GUIs, *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, Vol. 24, No. 1, pp. 17–24 (2005).