

カーソルの遮蔽の影響を考慮したポインティングのモデル化

大場洋介¹ 宮下芳明¹

概要: ディスプレイと重なって配置されるウェブカメラやマイクなどは、ディスプレイの一部を遮蔽する。この遮蔽された領域にカーソルが進入した場合、カーソルの一部や全体も遮蔽してしまう。本稿では、カーソルの遮蔽がポインティングに与える影響を調査した。結果、遮蔽物とターゲットの間隔が近いほど、遮蔽物の幅が大きいほど、操作時間とその標準偏差が増加した。この2つの条件が操作時間に対して相互に影響することが示され、その影響を考慮した操作時間予測モデルを提案した。

1. はじめに

ディスプレイと重なって配置されたウェブカメラやマイクなどによって、ディスプレイの一部が遮蔽されてしまうことがある(図1)。この遮蔽された領域にカーソルが進入した場合、カーソルの一部や全体も遮蔽されてしまう。

ターゲット(ディスプレイ上に配置されたボタンやアイコンなど、選択の対象物)を選択する操作はポインティングと呼ばれ、速く正確に行えることが望ましいとされる。速く正確とは、操作時間が短く、エラー率が低いことを意味する。この操作時間にはターゲットまでの距離とターゲットの幅が主に影響し[1]、距離が長いほど、幅が小さいほど操作時間が増加する。著者らの先行研究において、MacBook Pro(2021)のノッチ(インカメラを配置するための領域。描画が行われず、ディスプレイやカーソルを遮蔽する。)が特定の状況下で操作時間を増加させることが示されている[2-4]。また、他対象物(ディスプレイやカーソルを遮蔽しない、ユーザが選択するつもりのないターゲット)がターゲット付近に配置されている場合にも、操作時間が増加することが示されている[5,6]。

本稿では、カーソルの遮蔽がポインティングに与える影響を調査した。ディスプレイやカーソルを遮蔽する遮蔽物と他対象物による影響の比較を行う実験を実施し、遮蔽物(もしくは他対象物)とターゲットの間隔、遮蔽物(もしくは他対象物)の幅を実験条件に設定した。

結果、遮蔽物がカーソルを遮蔽することは操作時間を増加させることが示された。また、遮蔽物は他対象物よりも操作時間を増加させる影響が大きいことが示された。他対象物の場合、他対象物の幅が大きいほど操作時間が増加する傾向が見られたが、他対象物とターゲットの間隔は操作



図1 ディスプレイの一部が遮蔽される例。カメラは上部中央、マイクは左下、ノートパソコンは下部を遮蔽している。

時間にはほとんど影響を与えなかった。遮蔽物の場合、遮蔽物とターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほど、操作時間が増加した。この2つの条件が相互に影響を与えており、間隔が小さいほど幅が与える影響が大きくなり、幅が大きいほど間隔が与える影響が大きかった。先行研究[6]の他対象物とターゲットの間隔を考慮したモデルをベースに、遮蔽物の幅の影響を考慮したモデルの構築を行った。

2. 関連研究

2.1 カーソルの遮蔽や見失いによる影響

著者らは、画面上端のターゲットから同じく画面上端の他のターゲットを選択する場合、MacBook Pro(2021)のノッチ(インカメラが配置され、ディスプレイの描画が行われない領域。この領域にカーソルが進入するとカーソルが遮蔽される。)が操作時間を増加させることを示した[2,4]。

¹ 明治大学

また、主にターゲット間にノッチがある条件で、操作時間が増加していた。原因として、参加者がマウス操作で行った主な2つの戦略が影響したと考えられた。画面上端にカーソルを沿わせる戦略では、カーソルがノッチに隠れてしまうため、ノッチ内でカーソルの位置が分からなくなり、ノッチを回避する戦略では、経路が長くなることが影響したとされた。著者らは、現行のノッチの仕様（カーソルが進入できる）に対して、ノッチを回避する戦略が望ましいことを示した [3,4]。ノッチを回避する戦略の方が画面上端に沿わせる戦略よりも、マウスを移動させる距離は長い傾向にあったが、操作時間はノッチを回避する戦略の方が短かった。ノッチにカーソルが遮蔽されず、常にカーソルを視認できたことが要因と考えられた。

ユーザがカーソルを一時的に見失ってしまうことが、操作時間を増加させることが知られている。複数のディスプレイ間で解像度の違いによって発生するカーソルの不自然なワープによる影響 [7]、ノッチの左右でワープするカーソルによる影響 [8,9]、高齢者の視力や継続的な集中力の低下による影響 [10]、画面のトラス設定（カーソルが画面上端に到達すると反対端から出現する設定）による画面上端でのカーソルの移動による影響 [11] が調査されている。ユーザがカーソルを見失い、カーソルの探索を強いられることで操作時間が増加したとされる。

2.2 ポインティングの操作時間予測モデル

ポインティングの操作時間を予測する代表的なモデルにフィッツの法則がある [1,12]。ターゲットまでの距離 A とターゲットの幅で算出されるタスクの難易度を示す指標 (Index of difficulty, ID) から操作時間 MT を予測する (式 1)。

$$MT = a + bID, ID = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) \quad (1)$$

a, b は回帰定数を示す。なお、式 1 はオリジナルのモデル [1] ではなく、HCI (Human-Computer Interaction) 分野において広く用いられている、フィッツの法則をシャノンの定理に対応させた式である [12]。

ターゲット付近に他対象物が配置されている場合の操作時間予測モデルが提案されている。Blanch らは、ディスプレイに配置された他対象物の密度を変化させる実験を行い、密度が減少すると操作時間が減少することを示した [5]。また、他対象物の密度 ρ が操作時間に与える影響を IS (Index of Sparseness) として、フィッツの法則に加えたモデルを提案した (式 2)。

$$IS = \log_2 \frac{1}{\rho}, MT = a + bID - cIS \quad (2)$$

c は回帰定数を示す。 ρ は $0 \leq \rho \leq 1$ の値をとり、 $\rho = 1$ は他対象物同士に間隔がないことを示し、 $\rho = 0$ は他対象物

がないことを示す。 $\rho = 1$ の時、式 1 と等しくなり、密度の減少に伴って操作時間が減少することを IS を用いて示している。なお、Blanch らが行った実験では、全ての他対象物とターゲットの ID が等しくなるように設定されていた。

Usuba らは他対象物とターゲットの間隔 I を考慮した操作時間予測モデルを提案した (式 3) [6]。

$$MT = a + b_1 ID + b_2 \log_2 \left(\frac{1}{I + 0.0049} + 1 \right) \quad (3)$$

b_1 と b_2 は回帰定数を示す。Usuba らはターゲットの選択領域 W_{click} と表示領域 W_{visual} による影響を調査しており、式 3 はターゲットの選択領域と表示領域が等しい状況 ($W_{click} = W_{visual}$) における近似式を示す。式 3 は、他対象物とターゲットの間隔 I が減少すると操作時間が増加することを示している。なお、Usuba らが行った実験では、ターゲットと他対象物の幅が常に同じであった。また、Usuba らの実験では I の定義が W_{click} と W_{visual} の条件によって異なり、 $W_{click} > W_{visual}$ の場合はターゲットの選択領域と他対象物の選択領域の間隔、 $W_{visual} > W_{click}$ の場合はターゲットの表示領域と他対象物の表示領域の間隔と定義されていた。本稿の実験では、ターゲットや遮蔽物、他対象物の選択領域と表示領域は常に同じであった。また、そのため、Usuba らの他対象物とターゲットの間隔の定義と、本稿における遮蔽物 (もしくは他対象物) とターゲットの間隔の定義が厳密には同一でないことに注意されたい。

著者らは MacBook Pro (2021) のノッチとターゲットの間隔 I を考慮した操作時間予測モデルを提案した (式 4) [2]。

$$MT = a + b_1 \log_2 \left(\sqrt{c \left(\frac{A}{W} \right)^2 + (1-c) \left(\frac{A}{H} \right)^2} + 1 \right) + b_2 \log_2 \left(\frac{1}{I + 0.0049} + 1 \right) \quad (4)$$

式 4 は、ノッチが画面上端に配置されており、画面上端のターゲットから同じく画面上端にある他のターゲットを選択する状況を想定している。式 4 は 2 次元タスクのモデル [12-16] のうち、画面上端から同じ画面端のターゲットを選択する動作の操作時間を予測できるとされる Zhang らのモデル [15,17] と、Usuba らのモデル (式 3) を組み合わせることで算出されている。ノッチとターゲットの間隔 I が小さいほど、操作時間が増加することを示している。また、式 4 が高い適合を示したことから、ノッチとターゲットの間隔は、他対象物とターゲットの間隔とほとんど同様の傾向で操作時間に影響を与えることが示されている。なお、この実験ではノッチの大きさは常に同じであり、カーソルを遮蔽する領域の幅による影響は調査されていない。

3. オブジェクトの定義

先行研究において、タスクの直線経路上やターゲット付近に配置されたオブジェクトによる影響が調査されている。Jax ら [18], Vaughan ら [19], Hoffmann ら [20] は実空間におけるポインティングタスクにおいて、タスクの直線経路上に配置され、回避を迫るオブジェクトを「Obstacle」と呼び、その影響を調査した。Yamanaka ら [21] は GUI (Graphical user interface) 上におけるクロッシングタスクにおいて、タスクの直線経路上に配置され、回避を迫るオブジェクトを「Obstacle」、回避を迫らず、タスクの直線経路付近に配置されたオブジェクトを「Distractor」と呼び、それらの総称を「Object」とした。Blanch ら [5], Usuba ら [6], Grossman ら [22], Komarov ら [23], Yamanaka ら [24] は GUI 上におけるマウスポインティングタスクにおいて、回避を迫らず、ディスプレイも遮蔽しないが、タスクの直線経路上やターゲット付近に配置されたオブジェクトを「Distractor」と呼んだ。Bi ら [25], Yamanaka [26,27], Yamanaka ら [24,28] は GUI 上におけるタッチポインティングタスクにおいて、回避を迫らず、ディスプレイも遮蔽しないが、ターゲット付近に配置されたオブジェクトを「Distractor」と呼んだ。

以上の先行研究を参考に、我々は「タスク中に回避を迫る」オブジェクトを「障害物 (Obstacle)」、 「タスク中に回避を迫らず、ディスプレイを遮蔽しない」オブジェクトを「他対象物 (Distractor)」と定義する。さらに、本稿では新たに「タスク中に回避を迫らず、ディスプレイを遮蔽する」オブジェクトを「遮蔽物 (Mask)」と定義する。また、これらの総称を「Object」と定義する。

4. 実験

4.1 機材

PC (Intel Core i9-12900KF, GeForce RTX 3070 Ti, 32GB RAM, Windows 10 Home) に外部ディスプレイ (AOPEN, 25XV2QFbmiiprx, 24.5 inches, 1920×1080 pixels) を接続し、システムは外部ディスプレイにフルスクリーン、360 Hz で表示された。マウスは有線マウス (Logicool, G300s, 1500 dpi) を使用した。カーソルに関する設定は Microsoft Windows のデフォルト設定を参考に、カーソル速度はスライダーの中間、「ポインターの精度を高める」はオンであった。システムは Hot Soup Processor 3.6 で実装された。

4.2 参加者

情報系の大学生・大学院生 12 名 (平均 21.6 歳, 標準偏差 1.28 歳) が参加した。全員がマウスの利用に慣れており、利き手の右手で操作を行った。

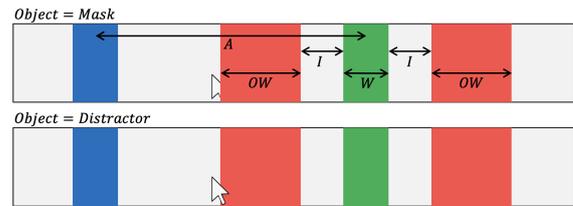


図 2 タスクの概要図。(上) 赤い矩形がカーソルを遮蔽する条件 $Object = Mask$, (下) 赤い矩形がカーソルを遮蔽しない条件 $Object = Distractor$ を示す。

4.3 タスク

タスクの概要図を図 2 に示す。灰色の背景に青色の開始ターゲットと緑色の終了ターゲットが表示された。参加者は青色の開始ターゲット内でクリックし、試行を開始した。開始ターゲットの消滅により、参加者は試行が開始されていることを知らされた。その後、参加者は緑色の終了ターゲットを目指した。システムは、参加者による次のクリックが終了ターゲット内で行われた場合は成功、それ以外の場合は失敗として記録し、成否に関わらず試行を終了した。試行の成否に対応した音のフィードバックを提示した。

4.4 デザイン

終了ターゲットの左右に赤い矩形のオブジェクトが配置されることがあった。このオブジェクトの条件 $Object$ は、カーソルを遮蔽する遮蔽物 $Mask$ 、カーソルを遮蔽しない他対象物 $Distractor$ の 2 条件を設定した。 $Object = Mask$ ではこの赤い矩形によってカーソルが遮蔽され (図 2 (上)), $Object = Distractor$ ではカーソルは遮蔽されなかった (図 2 (下))。黒色で縁取られた白色のカーソルがどの程度重なっているか明確にするため、遮蔽物や他対象物の色は赤色とした。遮蔽物 (もしくは他対象物) と終了ターゲットの間隔 I は 0, 20, 40, 70 pixels (0, 5.64, 11.3, 19.7 mm) の 4 条件を設定した。 $I = 0$ では、遮蔽物 (もしくは他対象物) と終了ターゲットが隣接し、間隔はなかった。遮蔽物 (もしくは他対象物) の幅 OW は 0, 20, 60, 129, 180 pixels (0, 5.64, 16.9, 36.4, 50.8 mm) の 5 条件を設定した。Usuba らの実験 [6] では、他対象物の幅は常に終了ターゲットの幅と同じであった。本実験では、遮蔽物の幅がポインティングのパフォーマンスに影響を与えると考え、終了ターゲットの幅とは別に、 OW を実験条件に設定した。 $OW = 0$ は遮蔽物 (もしくは他対象物) がない条件を示す。開始ターゲットから終了ターゲットまでの距離 A は 600, 800 pixels (169, 226 mm) の 2 条件、終了ターゲットの幅 W は 20 pixels (5.64 mm) の 1 条件を設定した。開始ターゲットは終了ターゲットと同じ幅であった。赤い矩形のオブジェクトに関する条件 ($Object$, OW , I) の条件数を多く確保しつつ、参加者の負担を増大させないように A と W は最小限に設定した。カーソルは一般的な矢印の形状であった。

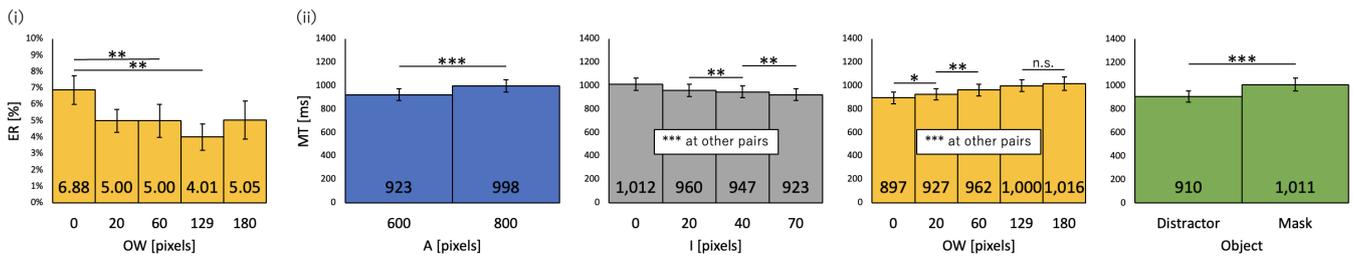


図 3 (i) エラー率 ER に対する OW の影響.
(ii) 操作時間 MT に対する A , I , OW , $Object$ の影響.

4.5 手順

参加者は $Object$ ごとに実験を行った. 40 試行 (= $2A \times 1W \times 4I \times 5OW$) を 1 set とし, 初めに片方の $Object$ で, 練習 1 set と本番 10 set を行った. 本番後, 2 分間の休憩を取らせた. その後, もう片方の $Object$ で練習 1 set と本番 10 set を行った. 12 名の参加者のうち, 6 名が $Object = Distractor$ から, 他の 6 名は $Object = Mask$ から実験を開始した. 1 set 内の条件の提示順序はランダムであった. 参加者は (1) できる限り正確に, かつ速くタスクを完了させること, (2) タスク中にできる限りクラッチ (マウスを持ち上げて置き直す動作) を行わないこと, (3) タスク開始前に条件の確認を行うこと, の 3 点を教示した. 実験は 1 名あたり約 30 分であった.

4.6 計測値

タスクの成否, 試行の開始から次のクリックまでの操作時間 MT を記録した.

5. 結果

9,600 試行 (= $2A \times 1W \times 4I \times 5OW \times 10 \text{ set} \times 12 \text{ 名}$) のデータが計測され, 498 試行が失敗であった ($ER = 5.19\%$). 独立変数は A , I , OW , $Object$ であり, 従属変数はエラー率 ER (失敗と記録された割合), 操作時間 MT であった. グラフ中のエラーバーは標準誤差, ***, **, * はそれぞれ $p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.05$ を示す. 分析は IBM SPSS Statistics 29 を用いて, 繰り返しのある分散分析, p 値の調整に Bonferroni の方法を用いた多重比較を行った.

5.1 エラー率 ER

主効果は, OW ($F_{4,44} = 3.21$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.226$) で見られた (図 3 (i)). $OW = 0$ の時, エラー率が高い傾向が見られた. 交互作用は見られなかった.

5.2 操作時間 MT

エラーの試行を除いた 9,102 試行に対して分析を行った. 主効果は, A ($F_{1,11} = 27.3$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.713$), I ($F_{3,33} = 78.1$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.877$), OW ($F_{4,44} = 72.6$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.868$), $Object$ ($F_{1,11} = 27.3$, $p < 0.001$,

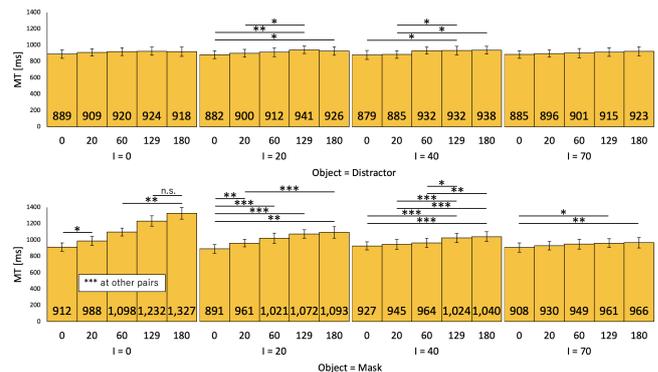


図 4 (上) $Object = Distractor$ (下) $Object = Mask$ における, 操作時間 MT に対する $I \times OW$ の影響.

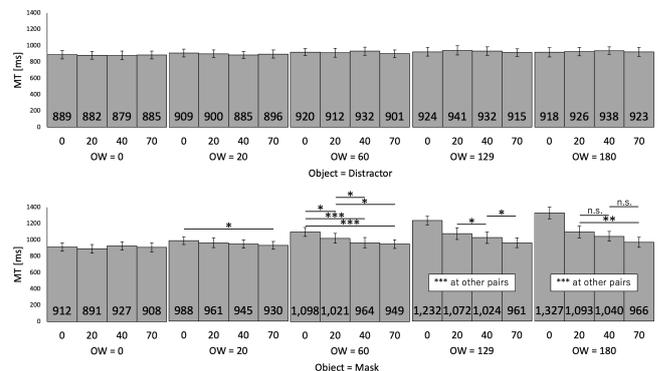


図 5 (上) $Object = Distractor$ (下) $Object = Mask$ における, 操作時間 MT に対する $OW \times I$ の影響.

$\eta_p^2 = 0.713$) で見られた (図 3(ii)). A が大きいほど, I が小さいほど, OW が大きいほど MT が増加する傾向が見られた. また, $Object = Mask$ の方が $Object = Distractor$ よりも MT が長い傾向が見られた. 交互作用は, $I \times Object$ ($F_{3,33} = 69.0$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.862$), $OW \times Object$ ($F_{4,44} = 38.0$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.776$), $I \times OW$ ($F_{12,132} = 9.93$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.474$), $I \times OW \times Object$ ($F_{12,132} = 16.3$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.597$) (図 4, 5) で見られた. どちらの $Object$ においても OW が増加するほど MT が増加する傾向が見られた (図 4). $Object = Mask$ では, I が小さいほど MT が増加する傾向が見られたが, $Object = Distractor$ では I による MT への影響はほとんど見られなかった (図 5).

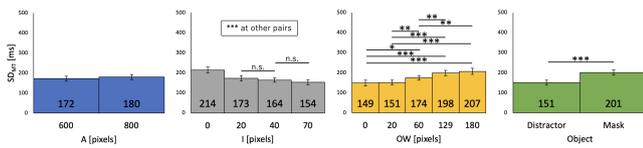


図 6 操作時間の標準偏差 SD_{MT} に対する A , I , OW , $Object$ の影響.

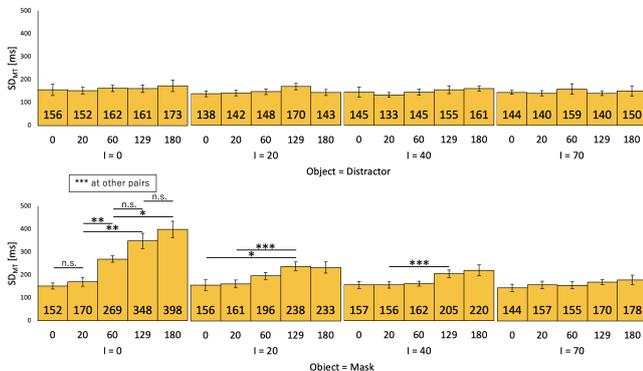


図 7 (上) $Object = Distractor$ (下) $Object = Mask$ における, 操作時間の標準偏差 SD_{MT} に対する $I \times OW$ の影響.

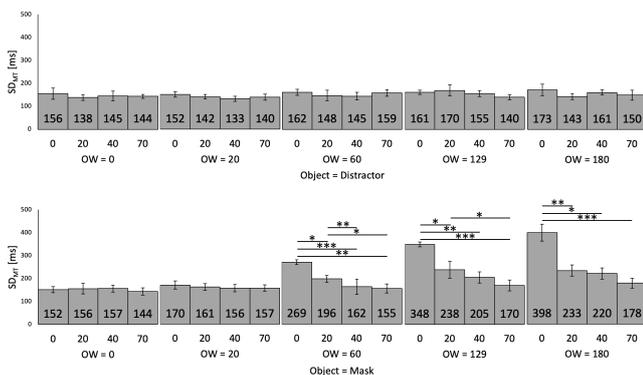


図 8 (上) $Object = Distractor$ (下) $Object = Mask$ における, 操作時間の標準偏差 SD_{MT} に対する $OW \times I$ の影響.

5.3 操作時間の標準偏差 SD_{MT}

エラーの試行を除いた 9,102 試行に対して分析を行った。主効果は, I ($F_{3,33} = 53.4, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.829$), OW ($F_{4,44} = 37.3, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.772$), $Object$ ($F_{1,11} = 48.3, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.814$) で見られた (図 6)。 A ($F_{1,11} = 3.82, p = 0.0764, \eta_p^2 = 0.258$) では見られなかった。 I が小さいほど, OW が大きいほど SD_{MT} が大きい傾向が見られた。また, $Object = Mask$ の方が $Object = Distractor$ よりも SD_{MT} が大きい傾向が見られた。交互作用は, $I \times Object$ ($F_{3,33} = 20.5, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.650$), $OW \times Object$ ($F_{4,44} = 24.2, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.687$), $I \times OW$ ($F_{12,132} = 5.51, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.334$), $I \times OW \times Object$ ($F_{12,132} = 5.12, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.317$) (図 7, 8) で見られた。 $Object = Distractor$ では, I と OW が SD_{MT} にほとんど影響しなかった。 $Object = Mask$ では, I が減少するほど, OW が増加するほど SD_{MT} が増加する傾向が見られた。

5.4 参加者アンケート

参加者 12 人中 9 人が他対象物による影響は特に感じなかったと回答した。他 3 人のうち 2 人が他対象物を少し邪魔に感じて慎重に操作したと回答し, 残り 1 人は他対象物が終了ターゲットを目指す位置の指標になったと回答した。対して, 遮蔽物による影響は全員が感じたと回答した。遮蔽物によるデメリットとして, 「遮蔽物の幅が大きいほど高い確率でカーソルを見失ってしまった」「たまたまカーソルを終了ターゲット上で発見できた場合はほとんど影響を感じないが, カーソルが遮蔽されて見失ってしまった場合は時間がかかってしまった」「遮蔽物の幅が大きいとカーソルを見つけるのに時間がかかってしまった」「カーソルの位置を見失わないように慎重に操作した」といった回答があった。また, 遮蔽物によるメリットについて, 「遮蔽物があると終了ターゲットの位置の目安になった」「遮蔽物と終了ターゲットが隣接している条件 $I = 0$ では, “カーソルが見えている” ことが “選択できる” ことの指標になった」といった回答があった。

6. 議論

6.1 操作時間 MT

$Object = Mask$, $Object = Distractor$ 共に, 幅が増加すると操作時間が増加する傾向が見られたことから, 先行研究 [5, 6, 18–28] と同様, ターゲット付近にオブジェクトが配置されたことによる操作時間の増加が確認された。遮蔽物の方が他対象物よりも操作時間が長い傾向が見られた。遮蔽物がカーソルを遮蔽することで, 他対象物よりも操作時間を増加させる影響が大きくなったと考えられる。

遮蔽物は, 遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど, 遮蔽物の幅が大きいほど, 操作時間を増加させた。また, 遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど遮蔽物の幅が与える影響が大きく, 遮蔽物の幅が大きいほど遮蔽物と終了ターゲットの間隔が与える影響が大きくなる傾向が見られた。そのため, 遮蔽物と終了ターゲットの間隔と遮蔽物の幅が操作時間に対して相互に影響を与えられられる。遮蔽物が配置されていないことを示す $OW = 0$ を除いた, 本実験における最小の遮蔽物の幅 $OW = 20$ でも, 遮蔽物による操作時間の増加が見られた。この遮蔽物の幅は, 著者らの先行研究 [2] にて調査されている MacBook Pro (2021) のノッチの幅 (129 pixels (36.4 mm)) よりも小さく, カーソルが遮蔽される領域の幅がより小さい条件でも操作時間を増加させる影響があることが示された。遮蔽物と終了ターゲットの間隔が大きくなるほど, 遮蔽物の幅による影響が小さくなるものの, 本実験における最大の遮蔽物の間隔の条件 $I = 70$ でも, 遮蔽物の幅が大きくなるほど操作時間が増加する影響はなくならなかった。遮蔽物による影響を最小化するには, 70 pixels よりも大きい間隔が必要だろう。

表 1 モデルの定数の推定値と適合度.

行 式	Object	a	b ₁	b ₂	c	adj.R ²	AIC
1 $MT = a + b_1 \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$	Distractor	-55.3	187			0.739	187
	Mask	78.1	181			0.052	243
2 $MT = a + b_1 \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) + b_2 \log_2 \left(\frac{1}{I+0.0049} + 1 \right)$	Distractor	-56.0	187	0.327		0.731	189
	Mask	43.6	181	17.7		0.308	237
3 $MT = a + b_1 \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) + b_2 OW \log_2 \left(\frac{1}{I+0.0049} + 1 \right)$	Distractor	-57.0	187	0.0113		0.741	188
	Mask	38.5	181	0.260		0.773	220
4 $MT = a + b_1 \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) + b_2 OW \log_2 \left(\frac{1}{I+0.0049} + 1 \right) + cOW$	Distractor	-73.3	187	-0.00476	0.240	0.869	178
	Mask	-3.90	181	0.219	0.627	0.899	207
5 $MT = a + b_1 \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) + cOW$	Distractor	-73.3	187		0.231	0.870	176
	Mask	-3.90	181		1.05	0.443	235

他対象物では、他対象物の幅のみが操作時間に対して影響し、他対象物と終了ターゲットの間隔の影響は見られなかった。この結果は、他対象物と終了ターゲットの間隔が減少するほど操作時間が増加するとして先行研究 [6] と異なる結果であった。これは先行研究 [6] と本実験で、他対象物やターゲットの性質が異なっていたことが原因として考えられる。先行研究 [6] では他対象物やターゲットの選択領域と表示領域が異なる条件があった。そのため、カーソルが他対象物やターゲットの選択領域に入るまで、他対象物とターゲットの選択領域に間隔があるかわからなかった。また、ターゲットの選択領域の大きさを示すため、カーソルが他対象物やターゲットの選択領域に入るとその選択領域が白色にハイライトされた。本実験では、終了ターゲットや他対象物の選択領域と表示領域は常に同じであり、試行を開始する時点で他対象物と終了ターゲットの間隔を確認することができた。本実験で対象とした、選択領域と表示領域が等しく、ハイライトのような視覚フィードバックのないターゲットの場合、他対象物とターゲットの間隔が操作時間にほとんど影響を与えないと考えられる。

6.2 操作時間の標準偏差 SD_{MT}

遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほど操作時間の標準偏差が増加する傾向が見られた。これは参加者アンケートにおいて得られた遮蔽物によるデメリットの回答を裏付ける結果であり、参加者は実際にカーソルが遮蔽されることによってカーソルを見失ったり、カーソルの探索を余儀なくされたりしたと考えられる。遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほどカーソルの見失いやカーソルの探索が頻発し、操作時間の標準偏差が増加したと考えられる。

6.3 エラー率 ER

遮蔽物（もしくは他対象物）が配置されていない場合、遮蔽物（もしくは他対象物）が配置されている場合よりエラー率が高い傾向が見られた。参加者アンケートにおいて得られた、遮蔽物や他対象物が配置されていることで慎重に操作を行ったという回答や、選択の指標になったという

回答と一致する結果であった。遮蔽物や他対象物が配置されている場合に操作時間は増加するが、遮蔽物や他対象物が選択の指標になることで、エラー率が低下する可能性がある。

6.4 モデル適合

実験条件が操作時間に与える影響が Object ごとに異なったため、Object ごとにモデルの構築を行う。Object ごとのモデル適合を表 1 に示す。各 Object に対して、 $2A \times 4I \times 5OW = 40$ 条件に対する適合度を調査した。各モデル式に含まれる回帰定数の個数が異なるため、adj.R² 値と赤池情報量基準 AIC [29] の値を記載した。AIC は相対的に小さい値が望ましく、差が 2 以上ある場合は考慮に値する差とされ、差が 10 以上ある場合は有意に差があることを示すとされる。

フィッツの法則に対して、どちらの Object も低い適合度を示した（表 1（行 1））。図 5 より、Object = Mask において、先行研究 [6] と同様に I が減少するほど操作時間が増加する傾向が見られたため、I の影響を考慮した式 3 への適合を調査したところ、Object = Mask においてフィッツの法則よりも高い adj.R² と低い AIC を示した（表 1（行 2））。図 4 より、OW が増加するほど操作時間が増加する傾向が両方の Object で見られた。また、I が小さいときほど OW の影響が大きく、I が大きくなるにつれて OW の影響が小さくなる傾向が Object = Mask で見られた。そこで、Object = Mask において、OW ごとに式 3 への適合を調査したところ、全ての OW で高い R² を示した（表 2）。

表 2 Object = Mask における、OW ごとの式 3 に対するモデル定数の推定値と適合度

OW	a	b ₁	b ₂	R ²
0	146	148	0.433	0.823
20	63.7	171	5.62	0.923
60	-67.7	203	15.8	0.846
129	-251	246	28.0	0.876
180	327	137	38.5	0.894

全ての OW で式 3 が高い R² を示したため、式 3 の b₂

の項によって I の影響を反映できていると考えられる。そのため、式 3 をベースに $Object = Mask$ における OW の影響を考慮したモデルの構築を行う。各 I において OW が操作時間に対して線形に影響していると仮定し、 I の項に OW を加えた式への適合を調査したところ、両方の $Object$ でフィッスの法則と式 3 より高い $adj.R^2$ と低い AIC を示した (表 1 (行 3))。 $Object = Mask$ において、表 1 の行 3 のモデルにおける b_2 の項が OW の影響を反映できているか確認するため、実験条件の値から予測される数値と、実験で得られた数値 (図 4 (下)) の比較を行った。その結果、 b_2 の項は実験で得られた数値よりも常に小さい値を示した。つまり、 b_2 の項だけでは OW による操作時間に対する影響を反映できていないと考えられる。そこで $Mask$ が配置されている場合、操作時間に対して OW は I に関わらず独立に与える影響があると考えた (表 2 では OW ごとに適合を調査した。そのため、 OW による独立の影響は、回帰定数 a に吸収されている可能性がある)。 OW に回帰定数 c を乗算した項を加えた式への適合を調査したところ、 $Object = Mask$ において最も高い $adj.R^2$ と低い AIC を示した (表 1 (行 4))。 図 5 より、 $Object = Distractor$ においては I が操作時間にほとんど影響していないため、 OW のみが操作時間に影響を与えていると考えた。そこで I の項を除外し、 OW の独立の影響のみを考慮した式への適合を調査したところ、 $Object = Distractor$ において最も高い $adj.R^2$ と低い AIC を示した表 1 (行 5)。 I の影響を考慮したモデルと有意な差は見られないものの、モデルは単純であることが望ましいとされるため、 OW の影響のみを考慮したモデルが適していると考えられる。

7. 制約・展望

本稿の実験では、遮蔽物はカーソルのみを遮蔽していた。しかし、実環境においてディスプレイと重なって配置されるウェブカメラやマイクなどは、ターゲットの一部を遮蔽することもあるだろう。遮蔽物がターゲットを遮蔽する場合、カーソルがターゲット上にあることを認識できなかったり、ターゲットサイズを実際よりも小さく見積もってしまったかもしれない。また、カーソルがターゲットに入ったことを示す、ハイライトが行われるターゲットの場合、ターゲットが遮蔽される影響が軽減されるかもしれない。今後、遮蔽物によるターゲットの遮蔽や、ターゲットのハイライトがポインティングのパフォーマンスに与える影響を調査したい。

オブジェクトに関する条件 (オブジェクトの条件 $Object$ 、遮蔽物 (もしくは他対象物) の幅 OW 、遮蔽物 (もしくは他対象物) と終了ターゲットの間隔 I) の条件数を多く確保するため、ターゲットの幅の条件は 1 つのみであった。ターゲットの幅がある程度大きい場合、ポインティングを弾道運動で完了できることが知られている [30–32]。その

ため、より大きい幅を持つターゲットの場合、遮蔽物や他対象物がポインティングのパフォーマンスに与える影響が小さくなるかもしれない。参加者の負担を増大させないため、ターゲットの幅の条件を 1 つに限定したことが、本稿の制約と言える。

本稿の実験ではターゲットの左右両方に遮蔽物を配置した。また、遮蔽物と終了ターゲットの間隔や遮蔽物の幅は左右で等しかった。例えば、左側にのみ遮蔽物が配置されている場合、遮蔽によってカーソルを見失わないために、一度大きくターゲットを通り過ぎてからターゲットを目指す、といった操作が行われる可能性がある。この間隔や幅が左右で異なれば、間隔が小さい側でのクリックを避けたり、幅の大きい遮蔽物を素早く通り過ぎたりするかもしれない。タッチポインティングにおける他対象物の影響を調査した Yamanaka [26] の実験では、ターゲットの片側のみ他対象物が配置された条件や、他対象物とターゲットの間隔が片側ごとに異なる条件が設定され、それらがタップ座標に影響することを示している (ただし、条件数の増加により各条件に対する試行数が極端に少ない実験となっていた)。今回、遮蔽物がターゲットの左右片方だけに配置される条件や、遮蔽物と終了ターゲットの間隔や遮蔽物の幅が左右で異なる条件がなかったことが、本稿の制約と言える。

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*, Vol. 47, No. 6, pp. 381–391 (1954).
- [2] 大場洋介, 宮下芳明: ノッチがポインティングの操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, Vol. 2022-HCI-199, No. 2, pp. 1–8 (2022).
- [3] 大場洋介, 宮下芳明: カーソルが進入できないノッチがポインティングの操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-HCI-200, pp. 1–8 (2022).
- [4] Oba, Y. and Miyashita, H.: Effect of the Notch a Cursor Cannot Enter for Pointing Movement Time, *Graphics Interface 2023*, available from (<https://openreview.net/forum?id=xDLkyclEc3>) (2023).
- [5] Blanch, R. and Ortega, M.: Benchmarking Pointing Techniques with Distractors: Adding a Density Factor to Fitts' Pointing Paradigm, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1629–1638 (2011).
- [6] Usuba, H., Yamanaka, S. and Miyashita, H.: A Model for Pointing at Targets with Different Clickable and Visual Widths and with Distractors, *OzCHI '20*, New York, NY, USA, pp. 1–10 (2020).
- [7] Baudisch, P., Cutrell, E., Hinckley, K. and Gruen, R.: Mouse Ether: Accelerating the Acquisition of Targets across Multi-Monitor Displays, *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '04, New York, NY, USA, Association for Computing

- Machinery, pp. 1379–1382 (2004).
- [8] 大場洋介, 宮下芳明: ノッチの左右でワープするカーソルの効果の検証, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2023-HCI-201, pp. 1–8 (2023).
- [9] Oba, Y. and Miyashita, H.: Effect of a Cursor Warping Left and Right of the Notch, *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3544549.3585766 (2023).
- [10] Hollinworth, N. and Hwang, F.: Cursor Relocation Techniques to Help Older Adults Find 'lost' Cursors, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 863–866 (2011).
- [11] Huot, S., Chapuis, O. and Dragicevic, P.: TorusDesktop: Pointing via the Backdoor is Sometimes Shorter, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 829–838 (2011).
- [12] MacKenzie, I. S. and Buxton, W.: Extending Fitts' Law to Two-Dimensional Tasks, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/142750.142794 (1992).
- [13] Crossman, E. R.: The measurement of perceptual load in manual operations., *PhD thesis, University of Birmingham* (1956).
- [14] Accot, J. and Zhai, S.: Refining Fitts' Law Models for Bivariate Pointing, CHI '03, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 193–200 (2003).
- [15] Zhang, X., Zha, H. and Feng, W.: Extending Fitts' Law to Account for the Effects of Movement Direction on 2d Pointing, CHI '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3185–3194 (2012).
- [16] Appert, C., Chapuis, O. and Beaudouin-Lafon, M.: Evaluation of Pointing Performance on Screen Edges, AVI '08, New York, NY, USA, pp. 119–126 (2008).
- [17] Yamanaka, S.: Mouse Cursor Movements towards Targets on the Same Screen Edge, GI '18, Waterloo, CAN, Canadian Human-Computer Communications Society, pp. 115–122 (2018).
- [18] Jax, S., Rosenbaum, D. and Vaughan, J.: Extending Fitts' Law to manual obstacle avoidance, *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, DOI: 10.1007/s00221-007-0996-y (2007).
- [19] Vaughan, J., Barany, D. A., Sali, A. W., Jax, S. A. and Rosenbaum, D. A.: Extending Fitts' Law to three-dimensional obstacle-avoidance movements: support for the posture-based motion planning model, *Experimental brain research*, Vol. 207, No. 1, pp. 133–138 (2010).
- [20] Hoffmann, E. R. and Sheikh, I. H.: Goal-directed aimed movements with path obstructions, *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2012.681809 (2012).
- [21] Yamanaka, S. and Stuerzlinger, W.: Necessary and Unnecessary Distractor Avoidance Movements Affect User Behaviors in Crossing Operations, *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, DOI: 10.1145/3418413 (2020).
- [22] Grossman, T. and Balakrishnan, R.: The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor's Activation Area, CHI '05, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/1054972.1055012 (2005).
- [23] Komarov, S., Reinecke, K. and Gajos, K. Z.: Crowdsourcing Performance Evaluations of User Interfaces, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/2470654.2470684 (2013).
- [24] Yamanaka, S., Kinoshita, T., Oba, Y., Tomihari, R. and Miyashita, H.: Varying Subjective Speed-Accuracy Biases to Evaluate the Generalizability of Experimental Conclusions on Pointing-Facilitation Techniques, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3544548.3580740 (2023).
- [25] Bi, X. and Zhai, S.: Bayesian touch: a statistical criterion of target selection with finger touch, UIST '13, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/2501988.2502058 (2013).
- [26] Yamanaka, S.: Effect of Gaps with Penal Distractors Imposing Time Penalty in Touch-Pointing Tasks, Mobile-HCI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3229434.3229435 (2018).
- [27] Yamanaka, S.: Risk Effects of Surrounding Distractors Imposing Time Penalty in Touch-Pointing Tasks, *Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3279778.3279781 (2018).
- [28] Yamanaka, S., Shimono, H. and Miyashita, H.: Towards More Practical Spacing for Smartphone Touch GUI Objects Accompanied by Distractors, *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3343055.3359698 (2019).
- [29] Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 19, No. 6, pp. 716–723 (1974).
- [30] Gan, K.-C. and Hoffmann, E. R.: Geometrical conditions for ballistic and visually controlled movements, *Ergonomics*, Vol. 31, No. 5, pp. 829–839 (1988).
- [31] 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, Vol. 57, No. 4, pp. 1319–1329 (2016).
- [32] 大場洋介, 薄羽大樹, 山中祥太, 宮下芳明: 画面角と画面端のターゲット配置が操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-HCI-197, No. 55, pp. 1–8 (2022).