

ポインティングにおける低視力者のための ターゲットサイズ補正

富張 瑠斗¹ 木下 大樹¹ 大場 洋介¹ 山中 祥太² 宮下 芳明¹

概要：視力が低下すると、ターゲットとカーソルの位置や輪郭を正確に認識できないため、ポインティングの操作時間やエラー率が増加する可能性がある。著者らの先行研究では、視力の変化を画面のぼかしで代替した実験において、ぼかし度が大きいほど操作時間やエラー率が増加することを示した。そして、ぼかし度を考慮した操作時間の予測モデルを提案したが、その検証は行っていない。本稿では、そのモデルの検証を行うとともに、モデルを用いてターゲットサイズを補正することの有用性を調査する。結果、モデルは参加者ごとに高い適合度を示し、モデルを用いてターゲットサイズを補正することで操作時間に対するぼかし度の影響が減少した。これにより、モデルがターゲットサイズを補正するために有用であると示された。また、このモデルを、ユーザの視力に応じて UI を補正するツールに利用できる可能性が示唆された。

1. はじめに

ポインティングの操作時間はターゲットの大きさと距離に依存し、エラー率はターゲットの大きさに依存することがわかっている。ターゲットが小さいほど慎重に狙うため時間がかかり、またターゲット間の距離が長いほど到達までに時間がかかる。UI を設計する際には主にこの距離と大きさの2つを考慮する。ポインティングの操作時間 (MT) をターゲット間の距離 (A) とターゲット幅 (W) を用いて予測するモデルに Fitts' Law (式1) がある [1]。

他の要因も操作時間やエラー率に影響を与えうる。パソコンではポインティングの際、カーソルをターゲット上に移動させたのを確認してからクリックする。ターゲット上にカーソルが存在するかを判別する際、視力が低いと視界がぼやけるため慎重に行う必要があり、選択までの時間が長くなる。また、正確にターゲットとカーソルの位置関係を把握できないため操作ミスも増える。そのため、老眼といった視力の低い高齢者向けの UI はボタンやアイコンが大きく設定されている [2]。しかしながら、画面上のスペースは限られているため、必要以上に大きくするのは好ましくない。

著者らは先行研究において、視力を考慮した操作時間の予測モデル (式2) を提案した [3]。このモデルを用いて、視力の低下をターゲット幅を大きくすることで補う式 (式

3) も提案した。しかし、式2と式3が個人ごとに適合するのかが検証されていない。式3は個人ごとに用いるため、式2を個人ごとに当てはめても高い適合度を示す必要がある。本稿では式2と式3の検証と有用性の確認を行った。

2. 関連研究

2.1 視力が運動パフォーマンスに及ぼす影響

視力が低下すると正確な視覚フィードバックを得られないので、運動パフォーマンスが低下すると考えられる。例えば、手を伸ばして物に触れる・つかむとき、手の位置を修正するため視覚フィードバックを必要とする。この時、正確な視覚フィードバックを得られないと効率的な位置の修正が行えず、さらに修正するために多くの時間を費やす必要がある。Chen らは弱視、近視、正常視の参加者間でリーチング課題を行った。リーチング課題は、机上の LED が示す始点と終点に交互に触れるタスクであった。この参加者間でリーチング動作の完了時間を比較した場合、弱視の参加者の完了時間が有意に長かった [4]。なお、この実験では参加者間で比較しているため、同一人物の視力低下については考慮されていない。

年齢によるポインティング操作のパフォーマンスへの影響も多く研究されており、マウス操作では若年者よりも高齢者の方が2倍以上の時間がかかり、エラー率が2倍以上になる [5]。スタイラスおよび指でのポインティングでも同様に、高齢者ほど時間がかかり、エラー率が高くなる [6]。しかしこれらの研究も、年齢の影響は参加者間で比較して

¹ 明治大学
² ヤフー株式会社

おり、年齢が高くなるほど知覚能力と運動能力が低下すること (decline of perceptual and motor abilities) が要因だと述べているものの、それらの影響を分離して評価されていない。

2.2 視力低下の再現

視力の低下を再現、体験するには、再現用のゴーグルを用いたり、ガウシアンフィルタを用いて描画をぼかしたりする方法がある [7,8]。ゴーグルを用いる場合、ディスプレイのみに限らず現実空間で使える利点がある。しかし、度の合っていないゴーグルをかけさせるため、参加者によっては頭痛やめまいなどの症状を引き起こす可能性があるといった問題がある。

森ら [9] によるとガウシアンフィルタのカーネルサイズと視力は反比例の関係にある。

2.3 操作時間の予測モデル

Fitts' Law (式 1) はポインティングの操作時間 (MT) をターゲット間の距離 (A) とターゲット幅 (W) を用いて予測するモデルである [1]。 a, b は回帰分析によって得られる定数である。また、式 1 の対数項は Index of Difficulty (ID) と呼ばれ、そのタスクの難易度の指標を示す。

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

2.4 視力を考慮した操作時間の予測モデル

式 2 は、先行研究において著者らが考案した、視力を考慮しつつ操作時間 MT を予測するモデルである [3]。これは Fitts' Law の修正版であり、視力の低下をガウシアンフィルタによるぼかしで代替している。式 2 に含まれるぼかし度 B は、OpenCV におけるガウシアンフィルタのカーネルサイズのパラメータ (Gaussian kernel standard deviation, 正の奇数) である。この値からガウシアンフィルタのカーネルサイズが決定され、値が大きいほど強いぼかしがかかる。ぼかしのない状態 ($B = 1$) の時に Fitts' Law に戻るようになっている。式 2 における a, b, c, d はいずれも回帰分析によって得られる定数である。

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A + d(B - 1)}{W - c(B - 1)} + 1 \right) \quad (2)$$

式 2 をもとに W を補正するための式も考案されている。視力が低下すると操作時間が増加するが、 W を大きくすれば操作時間が短縮され、これによって視力の低下を補うことができる。ここでは、あるぼかし度に相当する視力の人が、正常の視力 (ターゲットとカーソルが明瞭に見える程度の視力) を持っていた場合と同じ時間で操作するために、ターゲットを ΔW だけ大きくする必要があるとする。

式 3 は、この ΔW を求める式である。

$$\Delta W = \frac{(B - 1)(cA + dW)}{A} \quad (3)$$

3. 実験

本実験では、 W を ΔW だけ大きくすることで正常視の時と同程度の MT でターゲットを選択できるのかを検証する。式 2、式 3 の回帰定数と ΔW は個人ごとに算出されるため、式 2 は個人ごとに適合する必要がある。そのため、実験は 2 ブロックに分けて行った。1 ブロック目では、式 2 の適合度と回帰定数を個人ごとに求める実験を行った。2 ブロック目では、1 ブロック目で求めた式 2 をもとに式 3 を導出する。

式 3 より算出された ΔW だけ W を大きくすることで MT が実際に正常視のときと同程度に保たれるかを検証する。

3.1 機材

デスクトップ PC (Core i9-12900KF, GeForce RTX 3070Ti, 48.0 GB RAM, Windows 10 Pro) を用いた。実験システムは HSP (Hot Soup Processor ver3.6)*1 で実装され、ディスプレイ (PHILIPS 328P6A, 31.5 inches, 2560×1440 pixels) にフルスクリーンで表示された。また、マウス (Logicool G300s, 1000 dpi) を接続し、Windows のデフォルトのマウス設定で使用した。

3.2 参加者

参加者は 20~23 歳の 6 名 (平均 21.0 歳, 標準偏差 1.10 歳) であった。すべての参加者が右利きであり普段右手でマウスを使用していると回答したため、実験ではすべての参加者が右手でマウスを操作した。また、眼鏡を掛けた参加者が 4 名、裸眼が 2 名であった。

3.3 タスク

画面には ISO 9241-9 を参考に、図 1 のように円周上に並んだ 15 個の円が表示された [10,11]。最も上に位置する円を開始ターゲットとし、開始ターゲットをクリックすると試行が開始した。直前にクリックした円から最も遠い円を次に選択するターゲットとし、赤く表示した。次に選択するターゲットの順は図 1 左の数字の順である。直前のターゲットをクリックしてから、次のターゲットをクリックするまでを 1 試行とし、開始ターゲットであった円を再びクリックするまでを 1 セットとした。つまり、1 セット内では 15 試行のポインティングを行う。クリック時にカーソルがターゲット内にあれば成功音が、ターゲット外にあれば失敗音が鳴った。ターゲット間の距離を一定にするため

*1 <https://hsp.tv/>

表 1 NASA-TLX の項目とそれぞれの詳細.

項目	端点	説明文
知的・知覚的要求	小さい/大きい	どの程度の知的・知覚的活動（考える，決める，計算する，記憶する，見るなど）を必要としましたか。課題はやさしかったですか難しかったですか，単純でしたか複雑でしたか，正確さが求められましたか大ざっぱでよかったですか
身体的要求	小さい/大きい	どの程度の身体的活動（押す，引く，回す，制御する，動き回るなど）を必要としましたか。作業はラクでしたかキツかったですか，ゆっくりできましたかキビキビやらなければなりませんでしたが，休み休みできましたか働きづめでしたか
タイムプレッシャー	弱い/強い	タスクのペースや課題が発生する頻度のために感じる時間的切迫感ほどの程度でしたか。ペースはゆっくりとして余裕があるものでしたか，それとも速くて余裕のないものでしたか
作業成績	良い/悪い	作業指示者（またはあなた自身）によって設定された課題の目標をどの程度達成できたと思いますか。目標の達成に関して自分の作業成績にどの程度満足していますか
努力	少ない/多い	作業成績のレベルを達成・維持するために，精神的・身体的にどの程度いっしょうけんめいに作業しなければなりませんでしたが
フラストレーション	低い/高い	作業中に，不安感，落胆，いらいら，ストレス，悩みをどの程度感じましたか。あるいは逆に，安心感，満足感，充足感，楽しさ，リラックスをどの程度感じましたか

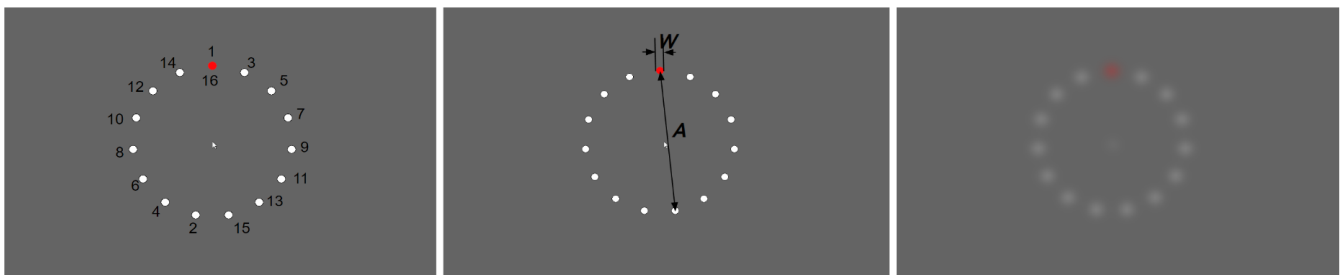


図 1 実験画面と実験条件（提示順序， A ， W ）：数字の順にクリックしていく（左）。失敗した場合は成功するまでやり直す必要がある。 A はターゲット間の距離であり， W はターゲット幅である（中央）。ぼかし度が 1 の時（中央）と 101 の時（右）。

に，ターゲットの選択に成功すると次の試行へ移行した。そのためターゲットの選択に失敗した場合，成功するまでターゲットを選択しなおさせた。また，参加者はできるだけ速く，できるだけ正確にターゲットを目指した。

3.4 条件

ターゲット間の距離 (A) は 2 条件 (300, 1100 pixels)，ターゲット幅 (W) は 4 条件 (12, 18, 36, 78 pixels)，ぼかし度 (B) は 6 条件 (1, 21, 41, 61, 101 pixels) であった (図 1)。我々の先行研究 [3] と同様に，OpenCV におけるガウシアンフィルタを用いて視力の低下を再現し，カーネルサイズのパラメータ B によってぼかし度を設定した。ID は 2.28 から 6.53 bits であり，先行研究で推奨されているように，簡単～困難な難易度を幅広くカバーするように設定した [11]。ぼかし度については，ぼかし無しのベースライン ($B=1$) から，ターゲットとカーソルが強くブレンドされて区別することが困難な条件 ($B=101$) までを含むように設定した。

参加者は $2A \times 4W \times 6B$ の組み合わせを補正なしと補正ありの 2 条件 (C) で行った。

3.5 手順

実験は 2 ブロックに分けて行われた。1 ブロックの手順はそれぞれの B で練習を 1 セット行った後，本番を 8 セット ($2A \times 4W$) 行うことである。つまり，1 ブロックでは練習を 6 セット ($1A \times 1W \times 6B$)，本番を 48 セット ($2A \times 4W \times 6B$) 行う。1 ブロック目のデータを用いて参加者ごとに式 2 の回帰定数を求める。2 ブロック目は回帰定数と実験条件を式 3 に代入することで ΔW を算出し W を補正した。練習では本番で使用されていない A (400 pixels) と W (23 pixels) の条件を設定した。参加者はすべての条件の組み合わせで，練習を $1A \times 1W \times 6B \times 15$ 試行 $\times 2$ ブロック = 180 試行，本番を $2A \times 4W \times 6B \times 15$ 試行 $\times 2$ ブロック = 1440 試行を行った。

B の順序はラテン方格法によってカウンターバランスを取った。8 セット ($A \times W$) の提示順序はランダムであった。疲れた場合はセット間に申し出てもらい，休憩を適宜入れた。また，試行中はマウスを持ち上げることはできるだけ行わないように指示した。参加者 1 名につき実験時間は 60 分であった。

各ブロック後に NASA Task Load Index (NASA-TLX)，主観による難易度評価，自由記述のアンケートを行った [12]。NASA-TLX では各 B に対して 6 つの項目を 5 点刻みで

回答させた（6つの項目に関しては表1参照）。なお、アンケートを作成する際には参考文献 [13–15] を参考にした。NASA-TLX の総合得点には、重みづけされたワークロードの平均値（WWL：weighted workload）や単純平均（RTLX：raw-TLX）などが用いられる [16]。WWL は6つの項目すべてに対して一対比較する必要があり、時間がかかる上に参加者にとって判断が難しく負担が大きい。RTLX と WWL の関係について、相関が 0.93-0.98 であるという報告がされている [15, 17, 18]。そのため、WWL よりも RTLX の使用が薦められている。よって、総合得点には RTLX を使用した。

また、主観による難易度評価では、各 B に対して 0（簡単、まったく問題なく操作できる）～100（難しい、操作が非常に困難である）の整数値で回答させた。参加者は、それぞれの B を比較できるようにそれぞれの B を表示したウィンドウ（図2）を見ながらアンケートに回答することができた。



図2 各ぼかし度におけるターゲット付近でのカーソルの見え方。

4. 結果

6名分の本番試行分のデータ（8640試行）を分析に用いた。独立変数は A , W , B , C であり、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。

4.1 エラー率 (ER)

8640試行中、エラーは1483試行あり、全体のエラー率 (ER) は 17.16% であった。ER に対する各条件の影響を図3に、分散分析の結果を表2左に示す。

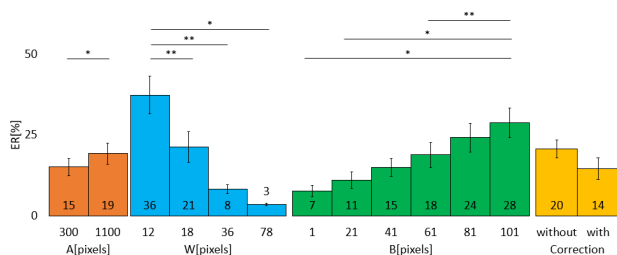


図3 ER に対する A , W , B , C の影響。

また、ER に対する C ごとの B の影響を図4左に示す。補正ありでは補正なしに比べ B の影響が小さくなる傾向がみられた。

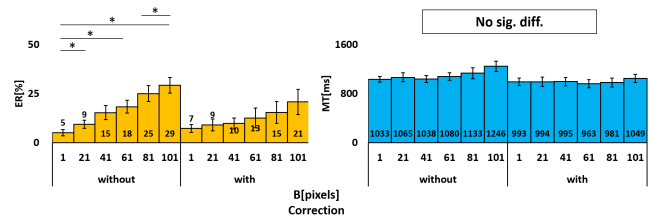


図4 ER (左) と MT (右) に対する C ごとの B の影響。

4.2 操作時間 (MT)

エラーを除いた 7157 試行のデータを用いて分析した。全体の MT の平均は 1048 ms であった。MT に対する各条件の影響を図5に、分散分析の結果を表2右に示す。

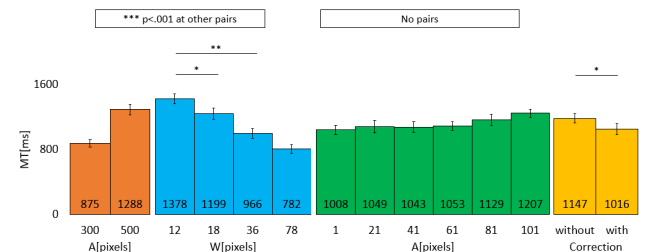


図5 MT に対する A , W , B , C の影響。

また、MT に対する C ごとの B の影響を図4右に示す。補正ありでは補正なしに比べ B の影響が小さくなる傾向がみられた。

参加者ごとに MT に対する C ごとの B の影響を図6に示す。参加者ごとにみても補正ありでは補正なしに比べ B の影響が小さくなる傾向がみられた。

4.3 ターゲット幅補正の影響

補正無し条件において、ベースライン ($B = 1$ の $MT = 1033$ ms) と比べて、 $B = 101$ のとき $MT = 1246$ ms であり MT は 213 ms (ベースラインの 20.6%) 増加した (図4)。それに対して、補正有り条件においてベースライン ($B = 1$ の $MT = 993$ ms) と比べると、 $B = 101$ のとき $MT = 1049$ ms であり、 MT はわずか 56 ms (ベースラインの 5.3%) の増加であった。 B が MT に与える影響は小さくなったといえる。参加者ごとにみても同じ傾向がみられる (図6)。

4.4 アンケート

各 B における主観による難易度評価を図7に示す。 B が大きいほど難易度が高いという評価が得られた。補正ありでは難易度と負荷が減少する傾向が見られた。

表 2 エラー率と操作時間それぞれの分散分析の結果.

Factors	ER					MT				
	DF	DFDen	F	p	η_p^2	DF	DFDen	F	p	η_p^2
A	1	5	9.664	< 0.05	0.659	1	5	353	< 0.001	0.986
W	3	15	30.10	< 0.001	0.858	3	15	150	< 0.001	0.968
B	5	25	17.88	< 0.001	0.781	5	25	7.639	< 0.001	0.604
C	1	5	4.800	0.08001	0.490	1	5	7.645	< 0.05	0.605
A × W	3	15	2.979	0.06496	0.373	3	15	4.15	< 0.05	0.454
A × B	5	25	0.9162	0.4866	0.155	5	25	2.317	0.07355	0.317
W × B	15	75	10.84	< 0.001	0.684	15	75	0.5485	0.9038	0.099
A × C	1	5	0.6244	0.4652	0.111	1	5	2.554	0.1709	0.338
W × C	3	15	14.39	< 0.001	0.742	3	15	2.092	0.1442	0.295
B × C	5	25	3.860	< 0.01	0.436	5	25	3.09	< 0.05	0.382
A × W × C	3	15	0.6071	0.6206	0.108	15	75	0.3039	0.9937	0.057
A × W × B	15	75	1.024	0.4409	0.170	3	15	1.958	0.1638	0.281
A × B × C	5	25	0.06569	0.9967	0.013	5	25	0.9328	0.4767	0.157
W × B × C	15	75	1.669	0.07596	0.250	15	75	2.191	< 0.05	0.305
A × W × B × C	15	75	1.516	0.1212	0.233	15	75	0.8708	0.5982	0.148

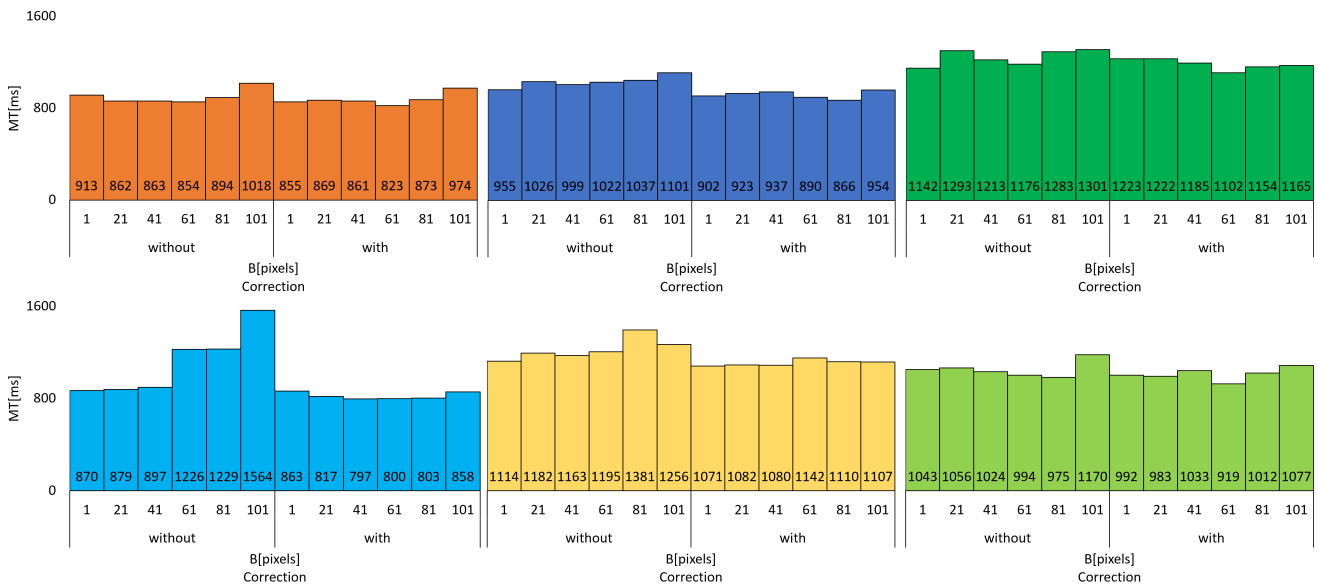


図 6 参加者ごとの MT に対する C ごとの B の影響.

また、各 B における NASA-TLX の 6 つの項目と RTLX (raw-TLX) の平均スコアを図 8 に示す。補正あり (図 8 下) では補正なし (図 8 上) よりも傾きが小さい傾向がみられた。B が大きいほど負荷や難易度が増加する傾向は先行研究 [3] と同じ傾向であった。

4.5 モデルの適合度

補正なし条件における Fitts' Law (式 1) と提案モデル (式 2) への適合度を検証した (表 3)。平均では提案モデルのほうがより高い適合度を示し、一般的な適合度の基準 ($R^2 > 0.90$) を上回っていた。また参加者ごとにみても提案モデルのほうがより高い適合度を示した。

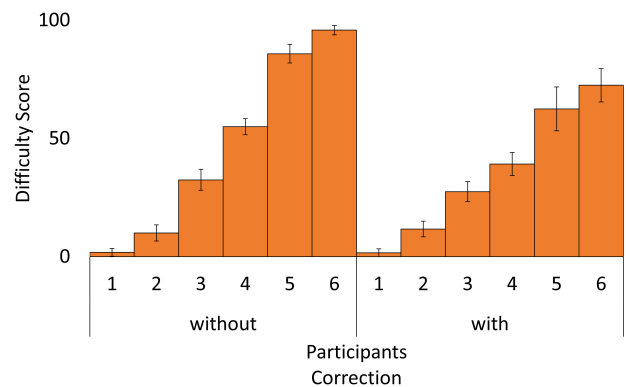


図 7 主観による難易度評価.

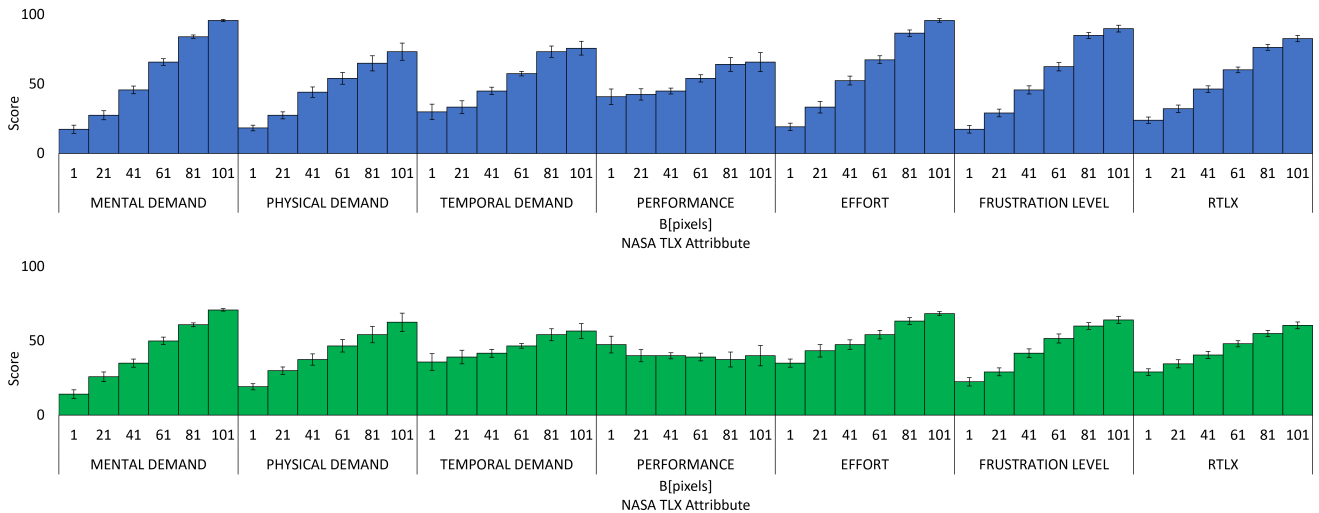


図 8 各ぼかし度における NASA-TLX の 6 つの項目と RTLX の平均スコア。補正あり（下）では補正なし（上）よりも傾きが小さい。

表 3 補正なしにおけるモデル適合度。

参加者	Fitts' Law				提案モデル					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>adj.R</i> ²	<i>AIC</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>adj.R</i> ²	<i>AIC</i>
1	55.87	199.3	0.8962	569.2	77.29	185.1	0.05711	0.1201	0.9135	562.3
2	64.21	230.9	0.8049	618.7	-80.82	242.8	0.01945	2.739	0.8498	608.0
3	245.1	236.7	0.8532	604.7	207.1	233.9	0.03121	0.8481	0.8643	602.8
4	-261.8	318.0	0.4628	723.7	-413.6	279.1	0.1173	4.914	0.8970	646.2
5	156.1	251.3	0.7586	639.8	75.92	247.1	0.05095	1.787	0.8029	631.9
6	68.07	231.0	0.8957	583.7	92.97	217.4	0.04679	0	0.90304	582.0
参加者平均	54.59	244.5	0.8581	605.9	80.08	215.6	0.09162	0.6946	0.9622	544.3

5. 議論

5.1 個人ごとのモデル適合度

補正なし条件において Fitts' Law よりも提案モデルがより高い適合度を示した (表 3)。これは先行研究と同じ結果であった。また、参加者ごとに適合度をみたときも提案モデルがより高い適合度を示した (表 3)。しかし、参加者ごとに適合度をみたとき平均よりも適合度が低かった。参加者ごとにみたときはデータが一人分となるので誤差の影響が大きいためだと考えられる。A と W の提示順序はランダムであったが、個人内では B についての順序効果が生じた可能性がある。

5.2 ターゲット幅の補正

補正ありでは補正なしに比べて MT に対する B の影響が小さくなった (図 4)。参加者ごとに見た場合も同じ傾向がみられる (図 6)。

補正なしにおいて単調増加でない参加者もみられた。B の提示順序についてカウンターバランスが取れていないことが要因の一つとして考えられる。また、自由回答のアンケートで「(ぼかしが強いときに) 円形にターゲットが並

んでいるので大体の位置を想像してそこをクリックした」、
 「少しだけぼけている条件だと、カーソルとターゲットの位置を認識できるが入っているかの認識をはっきり見えているときほどしないので気楽にできる」といった意見がみられた。慎重に狙ってもミスなく選択できないため、カーソルがターゲットの上にあるかを確認する手順を怠って雑になってしまったと考えられる。

6. 結論

本稿では視力を考慮した操作時間の予測モデルの検証と、このモデルを用いてターゲットサイズを補正することの有用性を調査した。操作時間の予測モデルは、個人ごとにも高い適合度を示した。このモデルを用いてターゲットサイズを補正することで MT に対する B の影響が減少した。これにより、モデルがターゲットサイズを補正するために有用であると示された。また、このモデルを、ユーザの視力に応じて UI を補正するツールに利用できる可能性が示唆された。

7. 制約と展望

本研究では視力の低下を画面をぼかすことで再現したが、実際の視力との対応付けを行っていない。そのため、モデ

ルの変数が視力ではないことが制約である。今後は、視力とぼかし度の変換を行い A と W と視力から操作時間の予測ができるモデルを提案したい。

式 3 を用いてターゲット幅を補正することで、 MT に対する B の影響が減少した。この手法を用いることで、ボタンやアイコンなどのサイズを自動的に補正するツールが実現できる可能性がある。このとき、回帰定数を求めるためにポインティングを使用前に行ってもらう必要がある。事前のポインティングで雑に行ってしまうと補正がうまくできない可能性があるため、ミスしないことを重視する等の教示を改善することが望ましい。補正ツールをユーザが使用する前に毎回テストを行うのは負担が大きいため、平均から求めた回帰定数を用いたり、ユーザが使用することに徐々に補正されていくなど負担を減らす方法も検討したい。

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] Leitão, R. and Silva, P. A.: Target and Spacing Sizes for Smartphone User Interfaces for Older Adults: Design Patterns Based on an Evaluation with Users, PLoP '12, USA, The Hillside Group (2012).
- [3] 富張瑠斗, 木下大樹, 大場洋介, 山中祥太, 宮下芳明: 視力の低下がポインティングパフォーマンスに及ぼす影響, 技術報告 5, 明治大学, 明治大学, 明治大学, ヤフー株式会社, 明治大学 (2022).
- [4] Chen, C.-F. and Huang, K.-C.: Effects of Background Lighting Color and Movement Distance on Reaching Times Among Participants With Low Vision, Myopia, and Normal Vision, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 122, No. 2, pp. 518–532 (2016).
- [5] Hwang, F., Hollinworth, N. and Williams, N.: Effects of Target Expansion on Selection Performance in Older Computer Users, *ACM Trans. Access. Comput.*, Vol. 5, No. 1 (online), DOI: 10.1145/2514848 (2013).
- [6] Hourcade, J. P. and Berkel, T. R.: Simple pen interaction performance of young and older adults using handheld computers, *Interacting with Computers*, Vol. 20, No. 1, pp. 166–183 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2007.10.002> (2008).
- [7] Zagar, M., . B. S.: Low vision simulator goggles in pharmacy education. (2010).
- [8] Gilbertson, T.: Industry attitudes and behaviour towards web accessibility in general and age-related change in particular and the validation of a virtual third-age simulator for web accessibility training for students and professionals, (online), available from (<https://hdl.handle.net/2134/16597>) (2015).
- [9] 森 一彦, 酒井英樹, 戒田真由美: 画像処理による視覚能力レベルに応じたロービジョン再現環境に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 76, No. 665, pp. 1213–1221 (2011).
- [10] ISO: 9421-9 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 9 : Requirements for non-keyboard input devices, *International Organization for Standardization* (2000).
- [11] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI, *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Vol. 61, No. 6, pp. 751–789 (2004).
- [12] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human Mental Workload* (Hancock, P. A. and Meshkati, N., eds.), *Advances in Psychology*, Vol. 52, North-Holland, pp. 139–183 (1988).
- [13] 芳賀 繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定, 人間工学, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79 (1996).
- [14] 富田 豊: 特集 3 人間工学のための計測手法, 人間工学, Vol. 52, No. 1, pp. 1–5 (2016).
- [15] 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観的評価法—NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案, *The Japanese journal of ergonomics*, Vol. 29, No. 6, pp. 399–408 (1993).
- [16] de Winter, J.: Controversy in human factors constructs and the explosive use of the NASA-TLX: A measurement perspective, *Cognition, Technology & Work*, Vol. 16, pp. 289–297 (2014).
- [17] James C. Byers, Alvah C. Bittner, S. G. H.: Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations : Are paired comparisons necessary?, *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, pp. 481–485 (1989).
- [18] 三宅晋司, 佐々木十太, 神代雅晴, 古田富彦, 久保田龍治: NASA-TLX 簡便法の有用性の検討, 人間工学, Vol. 31, pp. 404–405 (1995).