

ペイントツールにおけるマウス軌跡の手ぶれ補正

森本 大資^{†a)} 縄手 雅彦[†]

Hand Tremor Compensation of Mouse Trajectory in Painting Tool

Daisuke MORIMOTO^{†a)} and Masahiko NAWATE[†]

あらまし 手ぶれを含むマウスの軌跡を移動平均法によるリアルタイム処理を用いて補正を行い、補正後の軌跡を描画するペイントツールを提案した。脳性麻痺をもつ被験者による実験では、円のガイドを参考にマウスで円を描くタスクにおいて円軌跡からの二乗平均誤差が、この補正により44%減少したが、主観的意見では、被験者の約73%が操作性に不満をもっていた。この原因は、マウスカーソルの位置と異なる場所に線が描画されるためであった。そこで、マウスカーソルの表示位置を含めて補正する手法を検討した。カーソル位置補正により同様の実験において二乗平均誤差は59%減少した。主観的意見も操作性に違和感がある人が55.6%まで減少した。また補正効果が分かると答えた人がカーソル補正を行うことにより26.7%から66.7%まで増加した。また、使用者の幅広い障害の度合に対応するために補正の強度を自動設定する機能を付けたところ、自動設定された補正値についてはすべての被験者が補正がないときよりも描画しやすいと評価した。大きな手ぶれに対する本手法の有効性を検証するため手ぶれのシミュレーションも行った。手ぶれが顕著に現れた軌跡を生成し、補正を行い十分な補正効果が得られた。本論文での提案手法は、健常者から重度の手ぶれまで幅広い障害の度合に対応可能であった。そして、描画軌跡が視覚的に認識できるため、補正効果の認識率が高かった。そのため、提案手法は補正の有効性、ツール使用者の満足度ともに有用ではないかと考えられる。

キーワード 手ぶれ補正、障害者、移動平均法、マウス

1. まえがき

パソコンのOSやアプリケーションがほとんどGUIを前提としている現在、パソコンを操作する上でマウスなどのポインティングデバイスは必須となっている。パソコンは障害者にとっても、就労、コミュニケーションなどの手段として、必要不可欠のものとなってきている。しかし、上肢に障害をもつ人にとってマウスを自在に操ることは難しく、手ぶれなどの障害によってマウスの操作効率やポインティング精度の低下が見られる。そのため、上肢障害を有する人の場合、キーボードのカーソルキーを使うことにより8方向にマウスカーソルを動かして、マウス機能を代替したり、トラックボールのようなベクトル指定型デバイスや障害者向けの入力デバイス[1]を使用するのが一般的で

ある。

作業療法とコンピュータ利用の関連としては、脳性麻痺の障害をもつ子供にコンピュータを利用して絵を描かせたり、ぬり絵をさせている場合が見られる。そのとき、握力の不足や上肢の不随意運動や可動範囲の制限により自分の意図したとおりの描画ができないために作業意欲の低下が懸念されている現状がある。また、代替マウスの利用ではマウスカーソルの移動が8方向に制限されてしまうため、絵を描くような作業において、滑らかな線が描画できないという欠点がある。また、ポインティング操作に対してはトラックボールの使用も有効であるが、軌跡が問題となるペイントツールでトラックボールを用いて連続的に方向が変化する曲線を入力することは健常者においても困難を伴う作業であり、ペイントツールの使用にはマウスやペンタブレットが適している。

本論文では、マウスで描かれた描画軌跡を補正する手法を提案し、手ぶれがあってもそれを気にすることなく描画が可能なペイントツールの開発と評価を行った。

[†] 島根大学総合理工学部、松江市

Department of Electronics and Control System Engineering,
Shimane University, 1060 Nisikawatsu, Matsue-shi, 690-8504
Japan

a) E-mail: morimoto@mag.shimane-u.ac.jp

パソコンで絵を描画することについては、これまで多くの研究例があり、例えば、ドロー系ツールでは手書き軌跡を線や円弧等の基本図形の集まりとして自動認識する研究が行われてきた。描画中に手書き軌跡から基本図形の候補を提示する対話型のシステム^[2]や線分や楕円などの基本図形のテンプレートとの差分から手書き軌跡がどのテンプレートに近いか判断する手法^[3]やファジー理論を用いた手法^[4]等ほかにも様々な自動認識手法の研究^[5]が行われてきた。また、定規、コンパスなど文房具メタファを用いてあらかじめ描画を行う基本図形を指定するシステムも提案されている^[6]。

ポインティングデバイス関連の研究では、X ウィンドウシステム上でのマウスの動き始めや停止などのぶれを軽減する手法^[7]が提案されている。それ以前にもポインティングエラーを減らすための慣性機能をもったドライバの検討^[8]などが提案されている。マウスドライバの設定においてはマウスカーソルの移動速度を遅くすれば手ぶれによる問題は低減できるが、パソコン操作全般に影響が及ぶためにパソコン自体の使い勝手は悪くなる。障害者に見られるような継続的なぶれを伴う動きについてのマウス軌跡の補正の研究では、PC とマウスの間にデータ処理を行うアダプタを接続することで手ぶれの補正処理を低域フィルタを用いてハードウェア的に行う研究^[9]もある。本論文では、マウス移動時の手ぶれをリアルタイムで補正する手法の提案とその補正効果の評価を行う。ソフトウェア的な処理を取り入れることにより、経済的に、かつ、ハードウェアに依存しないで様々な障害の度合に対応できるツールの開発を目指す。また、手ぶれの度合は障害者ごとの個人差が大きいため、手ぶれ補正に用いた移動平均法の補正值（移動平均をとる個数）の設定を自動化することも試み、自動設定の妥当性について検証を行う。

なお、ペイントツールにおける線の描画は健常者にとっても細かいぶれを伴うものであり、このような補正機能は障害者以外にも有用であると考えられる。

2. 手ぶれの分類

上肢機能に関する障害は様々なものが依存しているが、筋ジストロフィ、脳性麻痺、脊髄損傷の三つが大きな比率を占めており、これらのそれぞれの症状に対応できれば、運動障害のかなりの症状に対応できると期待される。

この三つの症状の特徴は、筋ジストロフィは遺伝性筋疾患であり、筋力低下や筋萎縮が進行する^[10]。マウスを操作する上では、マウスの保持が難しく常に細かい手ぶれが生じることが予想される。

次に、脳性麻痺の症状の具体的なものとしては、関節可動制限、筋力低下、異常筋緊張などがある^[11]。これより、筋ジストロフィと同様に手ぶれと、更に、アテオゼ（不随意筋運動）が生じることが予想される。

最後に脊髄損傷は、強力な外力が加わり脊椎の脱臼に伴う脊髄への圧迫や挫創によって脊髄が損傷される病態をいう^[12]。この場合、麻痺で手が使えない等の状況が起こることがある。マウスステックの先にペンタプレットのペンを固定しポインティングをする場合、手で操作するのに比べてぶれ等が生じることが予想される。

以上のことより、上肢の運動機能に障害のある人がマウスを操作する場合の不要な動作が、マウス操作時に常に生じる細かなぶれ（以下、手ぶれ）と本人が意図しない方向への大きなぶれ（以下、突発的動作）の二つに分けられる。4. で手ぶれと突発的動作それぞれに対応した補正手法を提案する。

手ぶれの大きさについては障害の度合や個人差が大きく影響するため、それに対応できる手法の提案が期待される。

3. 開発したペイントツール

3.1 開発環境

ペイントツールは、Microsoft VisualC++ .NET を使用し、Windows 環境上で動作するよう開発を行った。本ツールは web 上 (<http://www.mag.shimane-u.ac.jp/~morimoto/>) で配布を行っている。

3.2 機能説明

開発したペイントツールの概観を図 1 に示す。ペ

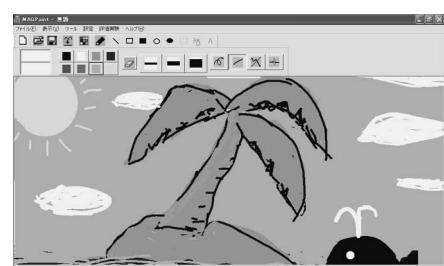


図 1 開発したペイントツール

Fig. 1 Developed paint tool.

イントールとして最低限必要と思われる機能として、ペンの太さや色の変更、円や方形の描画、BMP、JPG、GIF、PNG 形式での画像の読み込みと保存の機能を実装した。また、本ツールの特徴的な機能として、3 種類の手ぶれの補正機能と補正効果の評価を行うため、描画軌跡の保存を行う機能も実装した。

4. 手ぶれ補正手法の提案と評価

手ぶれの対策として 4.1.1 の補正手法、突発的動作の対策として 4.2.1、及び 4.2.2 の補正手法を提案する。

4.1 手ぶれへの対処

4.1.1 移動平均法

マウスの入力座標の x 軸、 y 軸それぞれに移動平均法を用い補正を行った。補正を行った結果の出力座標を描画することにより描画軌跡の補正を試みた。また、以下で出てくる n とは移動平均をとった個数を示す。

また、 x 軸と y 軸の両方に対して補正を行っているため最後の入力座標と出力座標の間に差が生じてしまっているので、描画直後にマウスの右ボタンを押すことにより 2 点間を直線で補完する機能を付けることで対応した。

図 2 に n の変化による補正効果を見るための予備実験の結果を示す。ここで描画方向は左側から右側となっている。上段に手ぶれの補正結果、下段に突発的動作の補正結果を示す。左側から n が 5, 20, 40 となっており、 $n = 5$ のときは補正後の軌跡が手ぶれ、突発的動作とともに補正が十分でないことが分かる。 $n = 20$ のときに手ぶれに対して、描画される軌跡にはほとんどぶれが残っていない。しかし、突発的動作に対してはまだ補正が不十分なことが分かる。 $n = 40$ のときも手ぶれに対しては補正効果は十分であるが、描画方向にも補正が行われるためマウスの操作感が $n = 20$ のときと比べて悪くなる。また、下段に示すような描画方向に対して垂直方向への大きなぶれは移動平均法による補正方法ではあまり効果がないことが分かる。そこで突発的動作に対しては 4.2 に示すような移動平均法とは別の手法が必要となる。

4.1.2 移動平均法による補正手法の評価実験

東部島根心身障害医療福祉センターにて、ペイントツールの描画領域に円（半径 150 pixel）と正方形（1 辺 300 pixel）のガイドを表示し、補正を行わない場合と $n = 20$ で移動平均法による補正を行う場合とで被験者にそれぞれでガイドをなぞってもらう実験を行つ

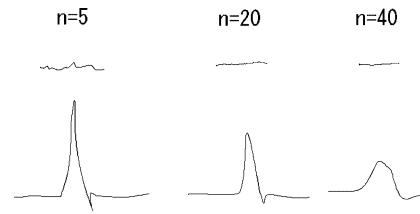


図 2 n の変化による補正効果

Fig. 2 Effect of the value of n .

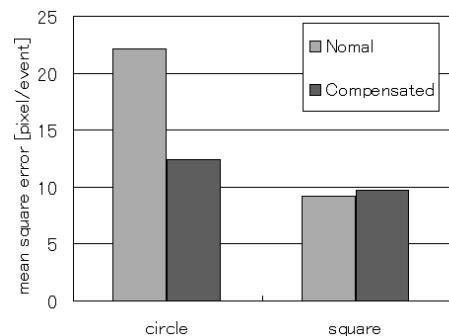


図 3 二乗平均誤差による補正法の比較

Fig. 3 Comparison on root mean square error.

てもらった。被験者は 8 歳から 30 歳までの主に脳性麻痺の障害をもつ人 17 名である。使用した入力デバイスは、各被験者が日常使っているものであった。具体的にはマウス、ペンタブレット、トラックボールの 3 種類であった。保存した描画軌跡から座標のガイドからの距離の二乗平均誤差を算出し、それをぶれの大きさの指標とした。

実験終了後に補正時の操作性、及び、補正によって描画軌跡がきれいに描けることが認識できたか（補正効果の認識）について 7 段階で評価をしてもらった。4 をどちらとも変わらないとし、数字が大きくなるほど補正手法の方が良い評価とした。

4.1.3 実験結果

二乗平均誤差の平均値の結果の比較を図 3 に示す。円の方は補正を行わない「Nomal」の方の平均値（標準偏差）は 22.1 (10.9) pixel/event となった。ここで pixel/event は MouseMove の event が発生した間に移動した距離を示す。一方、補正を行う「Compensated」は 12.4 (8.9) pixel/event となり「Compensated」の方が誤差に 44% の減少が見られ、補正の効果が現れている。しかし、正方形の場合は二乗平均誤差の平均値（標準偏差）が「Nomal」のときは 9.2 (5.4) pixel/event、「Compensated」のときは 9.7 (6.3) pixel/event と誤

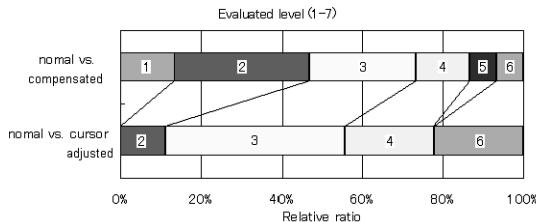


図 4 操作性の良さ

Fig. 4 Result of questionnaire about operability.

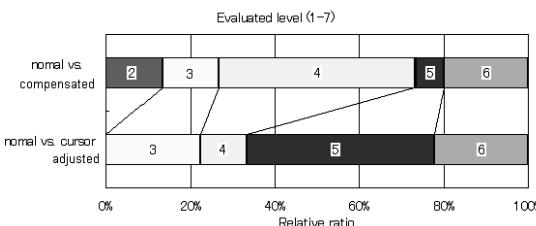


図 5 補正効果の認識度

Fig. 5 Result of questionnaire about compensation.

差にほとんど差が見られない。円の方では「Compensated」の方が減っていることから、連続的な曲線描画においては、補正の効果があるのに対して、角を伴う图形描画においては移動平均法により角が丸められることにより直角に曲げるところで誤差が大きくなり、補正の効果を相殺したことが原因だと考えられる。

主観的意見については図 4、図 5 の上側にそれぞれ操作性と補正効果のアンケート結果を示す。73.3% (1 ~ 3) の人が操作性に不満があり、これは移動平均の効果により描画中にマウスと描画位置が離れることに操作の感覚が特殊になるためだと考えられる。補正効果については、なぞるという実験上、うまく書こうとすると描画速度が遅くなり、移動平均の効果が薄くなつたことがどちらでもないという意見が 44.5% (4) と半数近くなった原因だと考えられる。マウスカーソルと描画位置がズれているため、補正効果が分かりにくいとも考えられる。

4.1.4 カーソル位置補正の実装

4.1.2 の実験においては実際のマウス座標ではなく平滑化後の移動平均法による補正座標 $S_i(x_i^{smooth}, y_i^{smooth})$ を画面上に表示するようになっていたが、マウスカーソルと描画座標の間に差ができるて描画しにくいという欠点があった。そこでマウスカーソルの位置を強制的に補正後の位置に移動させることで補正効果の向上と使用者の補正効果の認識度に向上がると考えた。

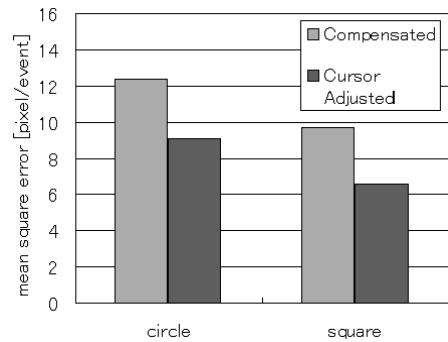


図 6 カーソル位置補正効果の比較

Fig. 6 Comparison on compensation about cursor position.

しかし、マウスカーソル位置を強制的に移動させることにより補正すべき座標と取得した座標とが異なることが問題となる。そのため、移動平均法を用いたカーソル位置補正時の出力座標 $S'_i(x_i'^{smooth}, y_i'^{smooth})$ を次のように変えた。

$$x_i'^{smooth} = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=i-n+1}^i x_j + (n-1) \sum_{j=2}^{i-n+1} (x_j - x_{j-1}'^{smooth}) + \sum_{j=1}^{n-2} j (x_{i-j} - x_{i-j}'^{smooth}) \right\} \quad (1)$$

$$y_i'^{smooth} = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=i-n+1}^i y_j + (n-1) \sum_{j=2}^{i-n+1} (y_j - y_{j-1}'^{smooth}) + \sum_{j=1}^{n-2} j (y_{i-j} - y_{i-j}'^{smooth}) \right\} \quad (2)$$

ここで、入力座標を $P_i(x_i, y_i)$ とし、 n は移動平均をとる個数を示す。

4.1.5 カーソル位置補正の評価実験

カーソル位置補正の実験は、4.1.2 と同じ被験者に実験を行ってもらった。実験方法もカーソル位置補正を行うこと以外は 4.1.2 と同条件であった。

図 6 に二乗平均誤差の比較の結果を示す。カーソル位置補正を行ったときの「Cursor Adjusted」における平均値（標準偏差）は円、正方形それぞれ 9.1 (5.4) pixel/event, 6.6 (3.2) pixel/event であった。円、正方形とともに誤差について減少が確認された。円においては、補正を行わない「Nomal」の 22.1 (10.9)

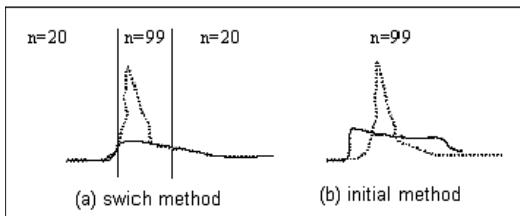


図 7 切換補正法の例
Fig. 7 Example of switch method.

pixel/event からカーソル位置補正により、59%の減少が見られる。

主観的意見については図 4、図 5 の下側にカーソル位置補正ありの場合の操作性と補正効果のアンケート結果を示す。アンケート結果からは操作性に不満をもっている人の比率(1~3)が 73.3%から 55.6%と半数近くまで減少し、補正効果が分かると答えた人(5~7)が 26.7%から 66.7%まで上昇して半数以上の人人が補正効果について良い評価を与えた。カーソル位置補正ありの場合が操作性、補正効果ともに向上していることが分かる。

4.2 突発的動作への対処

突発的動作で生じる大きなぶれに対しては、4.1.1 で示したような移動平均法による補正では補正が不十分であるため、突発的動作に対しては別の手法の提案を行う。

4.2.1 切換補正手法

切換補正手法では、通常時は $n = 20$ で描画を行い、大きなぶれが起きたときに移動平均をとる個数 n を大きく ($n = 99$) 切り換える。これにより常に $n = 99$ で補正を行ったときに比べ操作性と補正効果の両者ともに向上できると考えた。図 7 の左側に切換補正手法を行った結果を示す。大きなぶれを認識するまでは $n = 20$ で補正を行い、大きなぶれを認識してから一定期間 $n = 99$ で補正を行い、その後、再び $n = 20$ に切り換えて補正を行っている。点線が入力軌跡で、実線が補正結果の軌跡である。右側には常に $n = 99$ で移動平均を用いた補正を示している。両者を比較すると切換補正手法の方が手ぶれが滑らかに補正されていることが分かる。ここで、大きなぶれと認識するためにマウスイベント間の移動距離をしきい値としてとり、通常描画時のマウスイベント間の移動距離が 1~5 pixel の範囲内であるためしきい値は 15 pixel とした。

4.2.2 強制補正手法

切換手法においても移動平均を用いているため、大きなぶれに対して図 7(a) に示すように完全にはぶれが除去されていない。そこで、移動平均法を使わない手法として強制補正手法の提案を行う。

強制補正手法とは、平均的な描画方向を基準軸としてとり、そこから大きく変化した入力座標を強制的に基準軸上に移動させる手法である。 P_i の座標で大きなぶれが検知されると、 P_i から 10 個前の座標 P_{i-10} と P_i から 20 個前の座標 P_{i-20} から描画方向を基準軸として、 P_i からあとの入力座標を強制的に基準軸上の座標に移動させる。

4.2.3 突発的動作への補正の評価実験

被験者は、4.1.2 と同じ被験者に実験を行ってもらった。実験方法も突発的な動作に対する補正を行うこと以外は 4.1.2 と同条件であった。

実験中に突発的動作が起きた場合、被験者は途中で描画を中断し、実験をやり直すことがほとんどであった。二つの補正手法は突発的動作が生じても描画し続けることを前提としていたため、被験者が描画をやり直すことにより実験結果として得られたデータは移動平均による手ぶれの補正に対しての効果しか見ることができなかった。そのため、この実験では補正手法の評価はできなかった。

4.3 自動中断機能の実装

4.2 で示したように、切換手法と強制補正手法の実験中に突発的動作が生じると描画を中断して書き直す被験者が多かったため、大きなぶれを検出すると自動的に描画を中断する機能を実装した。これにより、ツール使用者が書き直すことによる負担の軽減を図るとともに、突発的動作には自動中断機能で対応するものとした。

4.4 補正手法に関するまとめ

本論文では補正手法は手ぶれに対してはカーソル位置補正を行う移動平均法を用いた補正方法を使い、突発的動作に対しては自動中断機能を用いることにより対応することを提案する。この補正手法の組合せが最大の補正効果と操作性が得られると考えられる。

ぶれの評価に対して、なぞるという評価方法では描画速度が通常よりも遅くなることや、きれいに描こうとしてガイドからはなれたときに、直そうとしてガイドに戻ることが生じる。このため、細かなぶれをなぞらない場合よりも増やしていることが考えられる。そこでなぞるという評価方法よりもより通常の描画に近

い評価方法が必要となる。

ここまで実験では被験者の障害の度合に関係なく $n = 20$ として一定の補正值で補正を行っていたが、障害の度合に合わせて被験者ごとに n を設定することにより、補正効果、操作性ともに向上すると考えられる。そのため、使用者の描画軌跡の特徴を抽出し、自動的に補正值を設定することが必要になってくる。

5. 補正值の自動設定の実装と評価

開発したツールではマウスイベント発生時のマウス座標と描画開始からの時間を ms 単位で収集を行っている。しかし、リアルタイム処理を行っていない Windows 環境においてはサンプリング周期は一定ではなく、ツールをインストールした環境や使用した入力デバイスにより、数 ms から数十 ms 単位で変わることが確認されている。そこでツールを使用する環境上で使用者ごとに自動的に補正值を設定する必要がある。また、使用者においても様々な障害の度合をもっており、それも考慮した補正值の自動設定も求められた。

5.1 しきい値の設定

ツール使用者の描画軌跡がどの程度の手ぶれ補正を必要としているのかを定量的に見る必要があり、健常者の描画軌跡のデータをとり、手ぶれの発生回数、描画速度、FFT 解析により求めた手ぶれの周波数等を参考するために、健常者の平均的な値の調査を行った。

5.1.1 しきい値設定のための予備実験

描画軌跡をとるために、描画領域上に表示された大小二つの円の間に円を 3 周描画する。被験者は 10 代から 30 代までの健常者 14 名であった。その後、取得した座標データから描画速度の算出と FFT 解析を行った。

この手法はリハビリテーションの分野で上肢訓練の手法として用いられているものと同様である [13]。また、ポインティングシステムの評価手法の一手法として使用されたり [14]、パーキンソン病や脊髄小脳変性症といった運動失調を伴う疾患に対する上肢運動機能の診断にもパソコン上で円を描画することが用いられている [15]。動作の特徴を把握することに向いていることから本研究においてもこの方式を採用した。

実験結果として、健常者による描画結果の一例を図 8 に示す。健常者であってもマウスではきれいな円が描きにくいことが分かる。健常者の描画速度の平均値は 274.9 pixel/s となった。また、マウスイベント間のぶれの大きさの平均値は 0.69 pixel、マウスイベン

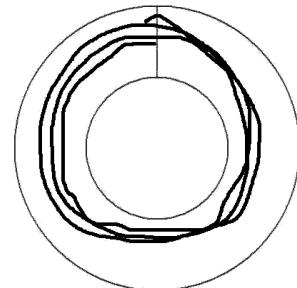


図 8 健常者の描画結果

Fig. 8 Example of result about people without disabilities.

ト間の時間の平均は 11.9 ms となった。FFT 解析結果よりほとんどの健常者の被験者では大きなスペクトル強度をもつピークは 4 Hz 以下に集中していた。

一方、不随意運動などを伴う障害者は描画速度が健常者よりも遅いため、手ぶれは健常者よりも低い周波数と推測し、3 Hz をしきい値として想定した。その結果、peak-to-peak 間の時間が 167 ms 以下でぶれの大きさがしきい値よりも大きなものを手ぶれと認識し、手ぶれがしきい値の大きさよりも小さくなるまで補正を行うようにした。ただし、ぶれの大きさがしきい値を超えたものでも peak-to-peak 間の時間が 167 ms を超えたものは意図的なマウスの移動と判別し手ぶれの数には入れないものとした。ぶれの大きさの平均値が最大の健常者で 4.3 pixel だったので、補正が必要となる手ぶれと認識するしきい値を 5 pixel とした。

5.2 自動設定値の設定方法

自動設定方法は図 8 に示す大小二つの円のガイドの間に円の描画を行う。次に入力軌跡のぶれの平均的な大きさを算出し、補正が必要な手ぶれと認識されるしきい値の 5 pixel を超えるか判定が行われる。5 pixel を超えた場合は n の値の初期値を 5 として定義し、入力軌跡に n の値での移動平均による補正を行い、補正後の軌跡におけるぶれの大きさの再計算を行う。再計算後もしきい値を超える場合は n を 5 ずつ増加し、しきい値よりもぶれが小さくなるまで再計算が繰り返される。しきい値よりも小さくなった場合、ぶれが健常者と同等になったことを意味するが、健常者でも細かな描画軌跡のぶれが生じるためしきい値より小さい値を示したときの n の値に 5 を加えたものを設定する補正值とした。

5.2.1 自動設定の有効性の検証

自動設定で妥当な値が設定されているかを調査する

表 1 補正値の調査結果
Table 1 Result of compensation value.

被験者	1	2	3	4	5	6	7
自動設定値	5	5	5	5	10	5	5
最適値	10	5	5	5	25	30	10
限界値	10	10	10	10	25	30	10

ための実験を行った。被験者は主に脳性麻痺の障害をもち、年齢は10歳から27歳の7名である。作業は5.1.1と同様の描画を行ってもらい補正値の自動設定を行ってもらった。そして、自動設定値での補正がある場合と補正のない場合とでどちらを使いたいかの主観的な意見の調査も行った。また、補正値の自動設定後、補正値を0(補正なし)から5ずつ増加していく、補正がない方が描きやすいという場合の補正値を限界値として、また、最も描きやすかった補正値を最適値として、最適値及び限界値の調査も行った。

実験結果として、表1にそれぞれの被験者の自動設定値、最適値及び限界値を示す。すべての被験者において自動設定値が、最適値及び限界値を超えることがなく、使えない補正値が設定されることはない。7人中3人の被験者において最適値と自動設定値が一致した。また、最適値に0(補正なし)がないことからすべての被験者について手ぶれの補正効果があることが分かる。被験者6については、手ぶれ、上肢の可動範囲の制限は観測できず、描画された軌跡は健常者と変わらないものだったが、被験者の主觀により最適値が増加した例と考えられる。

5.3 自由描画時の手ぶれ補正の効果

これまでの実験では円や四角などの特定の図形の描画について軌跡を見てきたが、この節では、手ぶれ補正がない場合と手ぶれ補正を用いた場合について自由に描画をしてもらい、自由描画時に発生する手ぶれ補正が描画結果に及ぼす影響の観察を行った。

5.3.1 自由描画実験

はじめに補正値の自動設定を行い、その後、手ぶれの補正がある場合とない場合の2通りで同じ絵を描いてもらった。ただし、描画される軌跡の描画の違いを容易に比較するために、塗りつぶし機能を使わずペン機能のみを使って描画を行ってもらった。

被験者は10~26歳の脳性麻痺の障害をもつ人5名であった。

実験結果として、表2に被験者の補正値を示す。また、図9に手ぶれ補正の特徴が表れた被験者の例を示す。図9については補正あり(図9(b))の場合、魚

表 2 補正値の調査結果
Table 2 Result of compensation value.

被験者	1	2	3	4	5
自動設定値	5	10	5	10	5

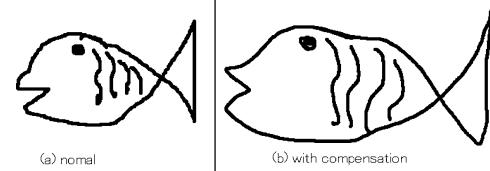


図 9 描画結果
Fig. 9 Result of drawing.

の尾の下側が補正の効果で丸まっていることを見ることができる。4.1.3の正方形の描画時に角が丸まつたものと同じことが起きている。角が丸まらないように描画するには、ストロークを分けることや角の描画時に描画速度を落とす等の工夫をする必要がある。

表2で見られるように、被験者で顕著に手ぶれがある人は今回の実験では参加していなかったが、実験後の主観的意見に補正時に角の描画等の違和感を示した被験者はいなかった。

6. 手ぶれ補正手法のシミュレーション

手ぶれの影響が顕著に見られる被験者のデータが少ないため、作成したツールの、より重度の手ぶれをもつ人に対する有用性を検証する必要があった。そのため、任意に大きなぶれのある軌跡を生成し、その軌跡の補正シミュレーションを行った。

6.1 補正を行う軌跡生成と補正結果

手ぶれのある半径150pixelの円と1辺300pixelの正方形の2種類の軌跡の生成を行った。手ぶれは大きく、常にぶれていることを想定して、ぶれの大きさが5pixel、周波数4Hzと設定した。また、描画速度は150pixel/sとした。

図10に補正を行う手ぶれのある円と正方形の軌跡と自動設定されたn=20のときの補正結果を示す。円の場合は補正の有効性が明確である。正方形の場合もぶれは補正されているが、角が丸まっていることも確認できる。この場合、使用者が角の描画時にストロークを分ける等の対策をとることで対応できる。よって、手ぶれが大きくなつたとしても本ツールの有用性は十分あると考えられる。

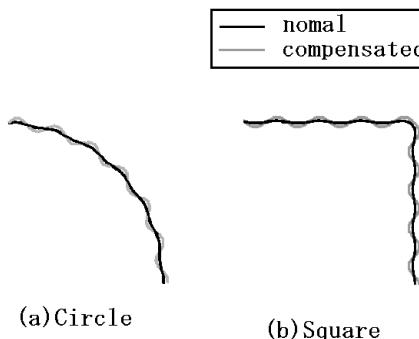


図 10 $n = 20$ の補正効果
Fig. 10 Compensation effect on $n = 20$.

7. む す び

本論文では、マウスカーソルの軌跡に対して移動平均法による補正をリアルタイム処理で行う手法を提案し、提案手法を実装したペイントツールの評価を行った。半径 150 pixel の円のガイドの描画では、 $n = 20$ でカーソル位置補正手法を行った場合、二乗平均誤差は 9.1 pixel/event まで減少し、補正を行わない場合よりも 59% の減少が見られた。主観的意見も操作性に違和感がある人が 55.6% まで減少した。また補正効果が分かると答えた人が 66.7% となった。突発的な動作に対しては自動的に描画を中断する機能を用いる補正手法を提案した。また、使用者の幅広い障害の度合に対応するために補正の強度を自動設定する手法の提案も行った。自動設定された補正值についてはすべての被験者が補正がないときよりも描画しやすいと評価した。

大きなぶれに本ツールが対応できるかの検証も行い、大きなぶれをもつ軌跡に対しても十分な補正効果が得られた。

本論文での提案手法は、健常者から重度の手ぶれまで幅広い障害の度合に対応可能であった。そして、描画軌跡が視覚的に認識できるため、補正効果の認識率が高かった。そのため、提案手法は補正の有効性、ツール使用者の満足度ともに有用ではないかと考えられる。

謝辞 実験に協力して頂いた皆様、東部島根心身障害医療福祉センターの安部あかね氏、島根リハビリテーション学院の谷口稔氏に感謝致します。また、本研究において有意義な御検討をして頂いたピッグボイスの渡辺哲也氏に感謝致します。この研究は一部、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C））

14550359) により行われた。

文 献

- [1] こことステップ, <http://www.kktstep.org/>
- [2] T. Igarashi, S. Matsuoka, S. Kawachiya, and H. Tanaka, "Interactive beautification: A technique for rapid geometric design," Proc. UIST, pp.105–114, 1997.
- [3] B. Yu, "Recognition of freehand sketches using mean shift," Proc. IUI'03, pp.204–210, 2003.
- [4] 辻井進也, 田中尚澄, 佐賀聰人, “描画動作同定に基づく構造的手書き图形認識”, 信学論 (D-I), vol.J82-D-I, no.5, pp.622–633, May 1999.
- [5] I. Triono, N. Ohta, and K. Kanatani, "Automatic recognition of regular figures by geometric AIC," IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E81-D, no.2, pp.224–226, Feb. 1998.
- [6] 風間信也, 加藤直樹, 中川正樹, “文房具メタファを用いた手書き作図システム”, 情処学論, vol.35, no.7, pp.1457–1468, 1994.
- [7] 斎藤明紀, 西田知博, 辻野嘉宏, 都倉信樹, “マウスドライバの改良によるポインティング精度改善について”, 情処学論, vol.40, no.2, pp.405–413, 1999.
- [8] 野中秀俊, 伊達 悅, “慣性機能を持つポインティング装置の開発”, 情処学論, vol.31, no.2, pp.268–274, 1990.
- [9] J.L. Levine and M.A. Schappert, "A mouse adapter for people with hand tremor," IBM Syst. J., vol.44, no.3, pp.621–628, 2005.
- [10] 鈴木正二, 南山堂医学大辞典, pp.971–972, 南山堂, 1990.
- [11] 五味重春, 脳性麻痺 第2版, pp.195–223, 医歯薬出版, 1990.
- [12] 鈴木正二, 南山堂医学大辞典, pp.1086–1087, 南山堂, 1990.
- [13] 松本和子, 動きづくりのリハビリテーション・マニュアル—上肢編, pp.133–134, 中央法規, 2002.
- [14] ISO9241-9, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part 9, "Requirements for non-keyboard input devices," Feb. 15, 2000.
- [15] 村山伸樹, “リハビリテーション医学における工学的アプローチ—上肢運動機能量量化システムの開発”, リハビリテーション医学, vol.39, no.11, pp.735–743, 2002.

（平成 18 年 6 月 26 日受付, 10 月 6 日再受付）



森本 大資 (学生員)

2004 島根大学大学院総合理工学研究科博士前期課程了。現在、同大学総合理工学研究科博士後期課程在学中。障害者支援入力インターフェース、福祉情報工学の研究に従事。工修。



縄手 雅彦（正員）

1981 広島大・工・第二類（電気系）卒。
1987 同大大学院工学研究科博士課程後期
材料工学専攻了。1987 名古屋大学工学部
助手。1990 広島大学工学部助手。1996 島
根大学地域共同研究センター助教授。1999
島根大学総合理工学部助教授。現在に至る。
2000 より福祉情報工学分野の研究に従事。工博。