

ペンの傾きと方位の操作性

土田 智章[†] 任 向実[†] 殷 継 彬[†]

現在のペン・インタフェースは、 x - y 情報に加え、筆圧やペンの傾きのような付加的な入力情報を提供している。しかしながら、これらの情報はあまり利用されていない。本研究では、人間とコンピュータ間の相互作用における補助的な入力情報としてペンの傾きと方位の活用法について着目する。そして、我々は人間の操作能力の限界を調査するため、様々なパターンの角度と方位や 2 つの異なる視覚フィードバックからなる目標選択タスクの実験を行った。この実験にはターゲットの選択を実行するときの異なった手法も含んでいる。その結果、傾きは 10 度以上、方位は 30 度以上に区分した放射状のターゲット構造が優れていることが分かった。さらに、持ち手でない方の手でボタンを押す選択手法、ペンを画面から離す選択手法、及びペンのボタンを押す選択手法が優れた性能を示していた。実験結果に基づき、我々はペンの傾きに関する技術に対する影響、及び実現例を討論した。

Pen Tilt and Azimuth Characteristics

TOMOAKI TSUCHIDA,[†] XIANGSHI REN[†] and JIBIN YIN[†]

In current pen-based interfaces, besides x - y information coordination, pens also provide additional input information which are seldom used such as tilt angle and azimuth. In this paper we investigate the use of pen tilt angle and azimuth as auxiliary in human-computer interaction. We conducted an experiment to explore the human capability of performing discrete target selection tasks by varying the pen tilt angle and azimuth, with full or partial visual feedback. The experiment included different techniques for confirming selection once the target is acquired. The results suggest that an angle for a radial target (sector) of more than 10 degrees can achieve good performance. Moreover, when azimuth was more than 30 degrees the target could be easily selected. The techniques of pressing a button with the non-preferred hand, releasing pen quickly from the screen, and pressing the barrel buttons are the best performance. We also discussed pen tilt techniques based on our experimental results.

1. はじめに

ペン入力インタラクションは、ヒューマン・インタフェースの概念として魅力的である。ハードウェア技術の進歩とともに、携帯情報端末やタブレットなどはペン・インタフェースをますます主流のアプリケーションにさせた。その結果、近年ではペン入力インタラクションの研究が活発に行われている。

ペンはマウスに比べ、様々な情報を持つ。マウスは x - y 座標値と二種類のボタンによって端末を操作する。ペンはそれらに加え、圧力、傾き、及び方位などの情報がある。これらの情報を使用することで人とコンピュータの間の情報が増え、様々なペン特有のインタフェースの作成が可能になり、マウスにはない大きな利点が生まれると考えられる。

しかしながら、これらの情報を利用したインタフェースを作成するに当たって、人間がコントロールできる傾きと方位の調査が行われていない。人間が快適にコントロールできるパラメーターが設定されていないと、ユーザは迅速かつ正確にアプリケーションを操作できない。例えば、ペン・タブレットのメーカーが 0-1024 [units] の筆圧、30-90[degrees] の範囲のペンの傾き、及び 0-360[degrees] の範囲のペンの方位の値を提供しているが、ユーザがこれらの値を細かく感知し制御することは不可能である。ユーザが制御しやすい区分（離散的なターゲット）、選択完了機構、及び選択に必要なフィードバックなどを解明する必要がある。このような視点の筆圧に関する研究⁴⁾ がすでに行われているが、ペン傾きと方位についての研究は皆無である。

特に、ペンの傾きの方位は様々な利点を持つ。圧力に比べてペンの傾きと方位は目視できるため操作しやすい。ペンの傾きと方位は操作レバーやジョイスティックと類似しているため直感的である。例えば、ジョイス

[†] 高知工科大学 情報システム工学科
Department of Information Systems Engineering,
Kochi University of Technology

スティックは垂直な棒を任意の方向に傾けることで素早い方向の入力が可能であり、現在フライトシミュレーションやアクションゲームなどで広く使用されている。また、普段、ユーザがペンを使用するとき、少なからず画面に圧力をかけているが、現在の圧力値を具体的に推測することは難しい。角度と方位は目視や感覚的にある程度現在の値を推測できる。

そこで、本研究では、ペンの傾きと方位に関する実験を行い、その特性を分析する。分析項目は人間のコントロールできるペンの傾きと方位における角度の区分、選択手法、及びフィードバックである。さらに、ペンの傾きを利用したペン・インタフェースの具体例を示す。

2章の関連研究で本研究の位置づけを明らかにする。3章で角度の実験、4章で方位の実験について記述する。5章でペンの傾きと方位における最適な角度の区分、選択手法、及びフィードバックを提案する。6章でペンの傾きを利用したインタフェースの実現例（右クリック手法）を紹介する。最後に、7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

我々が調査したところ、ペンの傾きと方位はモデリング操作に関する研究がいくらかあり、それ以外のインタフェースにはあまり利用されていないことが分かった。同時にペンの傾きと方位に関する基礎研究は行われていないことも判明した。我々はこの基礎研究を行い、ペンの傾きと方位を利用したペン・インタフェースのガイドラインを作ることが目的の一つである。

2.1 ペンの傾き情報によるモデリング操作法

ペンの傾きと方位はモデリング操作に関する研究がいくらかある。これはペンの傾きと方位でオブジェクトを動かすことが直感的であるからだと考えられる。

Oshita は仮想的な人間の操作に、ペンの傾きと方位のデータを使用した³⁾。ペンの傾きと方位に合わせて、仮想的な人間は傾斜、屈伸、及び伸びを行う。

越智ら⁵⁾、堀川ら⁷⁾、及び野田ら⁶⁾ はモデリング操作にペンの傾きと方位を利用した。越智らは立体表示オブジェクトの回転操作に、堀川らは3次元モデルにおける重ね描きの変形方向に、野田らは3次元モデルの削り取る領域の幅や深さの決定に利用している。

2.2 ペンの傾き情報によるユーザ・インタフェース

モデリング操作以外の研究は、人間の教育の支援、スクロールや拡大縮小などのユーザ・インタフェースなどがあるが、非常に少なかった。

村中らは書道学習支援システムに利用した²⁾。これ

はペンの傾きと方位を記録し、それを基にVR動画を作成する。ユーザはVR動画を見て書道を上達させるというものである。

黒木らはペンの傾きと方位の情報を利用した入力法（扇子型入力法とジョイスティックの入力法）を提案した¹⁾。扇子型入力法はペンが大きく傾いているときは領域の切り取り操作、垂直に近い角度ではペンのボタンを併用してコピーとペーストを行う。ジョイスティック的操作は、ペンの傾きによりスクロールスピードを決め、方位によりスクロール方向を指定するものである。また、パイ・メニューの選択状態も方位によって遷移する操作も報告されている。

Tianらはペン・インタフェースの画面の刺激応答を高めるために、ペンの傾きと方位のデータを使用した⁸⁾。彼らはカーソルにペンの傾きと方位を反映させるTilt Cursorを提案し、円形のメニューの選択と特有のマーキング・メニューの選択タスクにおいて性能を評価するための実験を行った。円形のメニューの選択はポインティング操作、特有のマーキング・メニューはドラッグ操作に類似している。その結果、円形のメニューの選択では以前のカーソルと有意差がなかったが、特有のマーキング・メニューの選択では以前のカーソルより著しくパフォーマンスが優れることを報告した。

上述した研究に利用されているパラメータはそれぞれが独自に設定したもので、必ずしもユーザが快適に操作できる値になっていない。ペンの傾きと方位に関する有効なインタフェースを作成するためには、各種のパラメータに関する特性と設計指針が必要である。本研究はこのような場面で役立つ。

3. ペンの傾きの実験

この章では、ペンの傾きの実験の詳細を説明する。

3.1 装置

WacomのCintiq21UX interactive LCD液晶タブレットとワイヤレスペンである。ペンは傾きを等間隔で細かく感知するチップを搭載している。これはペンの傾きを30度から90度まで（1度単位で）検出することができる。0度から29度までは検出できない。同様に、方位は0度から360度まで検出できる。ディスプレイは水平（傾斜角度が0度）になるように設置した。

実験用のソフトウェアは、3.2GHzのクロック周波数を持つPentium4を搭載しOSはWindows XP ProfessionalをインストールしたPC上で動作させた。また実験用のソフトウェアはSun MicrosystemsのJava

を使用して開発した。

3.2 検証項目

ペンの傾きを快適に操作するために、角度の区分、選択手法、及びフィードバックに関する特性を検証する。角度は、30度から90度までを等分したときの人間が操作できる限界を求める。選択手法はペンの傾きによる入力を完了させるもので、最も操作しやすいものを調査する。フィードバックはユーザに与える情報であり、ペンの傾きを操作するために必要な情報を明らかにする。

3.2.1 角度

2度、4度、5度、10度、20度で30度から90度までを等分した(図1)。

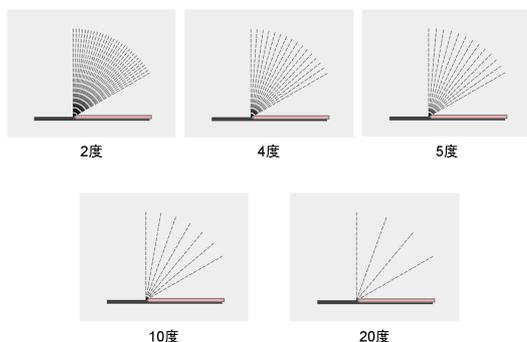


図1 傾きにおける角度の区分(画面のハードコピー)
Fig.1 Target angle (Hard Copy)

3.2.2 選択手法

選択手法はペンの傾きによる入力を完了させるものである。本研究では従来のGUI(Graphical User Interface)の選択手法以外のものについても調査を行う。

QuickRelease ペン先を画面から離すと、入力が完了する。

BarrelButton ペンの側面にあるボタンを押すと、入力が完了する。ボタンは上側と下側があるが、どちらでも良い。

NonPrefHand ペンを持ってない手でキーボードのキーを押すと、入力が完了する。今回の実験では、液晶タブレットの左側にキーボードを置いた。この実験で使用する選択手法の中で唯一、両手を使う手法である。

DrawStroke 画面上でペンを一定距離ストロークすると、入力が完了する。移動距離は21 pixelsとした。この距離は予備実験により決定した。選択に必要な移動距離は、青色の塗りつぶし円で表

示した。尚、ストロークする方向はどこでも良い。
TimeOut 一定時間(1秒)、ペンの傾きのある区分で維持すると、入力が完了する。この手法はBarrelButtonとともに、右クリックに使われている。

NonPrefHandを除く4つの手法は圧力の研究においても使用されている⁴⁾。

3.2.3 フィードバック

フィードバックは、人間の操作や入力を促進させる重要な要素である。今回の実験では、提供できる全ての情報を被験者に与えるFull-visual-feedback(以下FLV)とターゲットのみを表示するPartial-visual-feedback(以下PRV)を用意した。尚、ターゲットの色は現在の領域と一致しているときは緑色、一致していないときは赤色に変化する。この変化はフィードバックに関係なく起こる。

FLV 角度の区分、現在の領域(灰色)、現在の角度(ピンク色のペン)、及びターゲットをフィードバックとして与える(図2a)。

PRV ターゲットのみをフィードバックとして与える(図2b)。

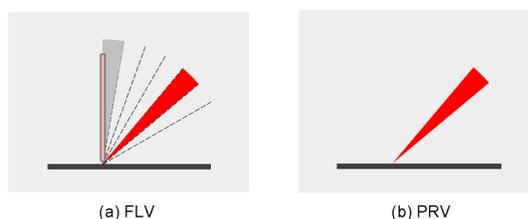


図2 角度の区分とフィードバック(画面のハードコピー)
Fig.2 Target angle and feedback (Hard Copy)

3.3 被験者

実験に20人のボランティア(全て男性)が被験者として参加した。平均年齢は21.4歳(20歳~31歳)である。全員利き手は右手だった。

3.4 実験タスク

実験前に、被験者に概要を説明し、“正確かつ迅速に行うこと”と指示した。次に、実験タスクを実行してもらった。尚、選択手法とフィードバックが変わるたびに、選択手法とフィードバックに練習タスクを慣れるまで行ってもらった。実験後にアンケートに答えてもらい、実験終了である。実験は2ブロック行った。実験の所要時間は休憩を含めて2時間弱である。

ペンを画面に置くと実験が開始される(図3a)。このとき、フィードバックがFLVの場合は、現在の角度と領域が表示される。これはリアルタイムで更新さ

れる。

次に、被験者はターゲットのある領域にペンの角度を調整する(図 3b)。ターゲットと現在の領域が一致すると、ターゲットの色が赤から緑に変わる。一致しないときは、常に赤色である。この変化はフィードバックに関係なく起こる。

最後に選択手法を用いて傾きの入力を完了させる(図 3c)。このとき、ターゲットと選択した領域が一致していると成功となり、ピープ音が鳴る。一致していなかった場合はエラーとして記録される。また、ペンが画面に置かれてから選択法を使用して入力を完了させる時間までを実行時間として記録する。

ターゲットは、30-50 度、50-70 度、及び 70-90 度の中から 1 回ずつ選出される。選出されたターゲットそれぞれを連続して 4 回繰り返した。

評価は実行時間、エラー率、及び 7 段階評価のアンケートで行う。アンケートは 1 が最も悪く、7 が最も良い。

3.5 実験結果

1 ブロック目を練習として、2 ブロック目のデータを分析した。

分散分析の結果、実行時間とエラー率に対する角度 × 選択手法 (実行時間: $F_{16,2747} = 16.55, p < .01$, エラー率: $F_{16,2850} = 6.56, p < .01$), 角度 × フィードバック (実行時間: $F_{4,2747} = 4.32, p < .01$, エラー率: $F_{4,2850} = 4.38, p < .01$) の交互作用に有意差があった。これらはそれぞれの要因が互いに影響をおよぼし合っていることを意味している。

3.5.1 角度 × 選択手法

角度と選択手法を 1 つの水準とみなし、実行時間に Tukey HSD の多重比較を行った結果、20 度の全ての選択手法、10 度の全ての選択手法、5 度の BarrelButton、5 度の NonPrefHand、5 度の QuickRelease、5 度の DrawStroke、4 度の NonPrefHand、4 度の QuickRelease、4 度の BarrelButton の間に有意差がなく ($p = 0.15$)、これらが同じく速かった(図 4)。

エラー率に HSD の多重比較を行った結果、20 度の全ての選択手法、10 度の全ての選択手法、5 度の TimeOut、5 度の NonPrefHand、5 度の QuickRelease、4 度の TimeOut、4 度の NonPrefHand の間に有意差がなく ($p = 0.19$)、これらのエラー率が同じく低かった(図 5)。

3.5.2 角度 × フィードバック

実行時間に Tukey HSD の多重比較を行った結果、20 度の 2 つのフィードバック、10 度の 2 つのフィー

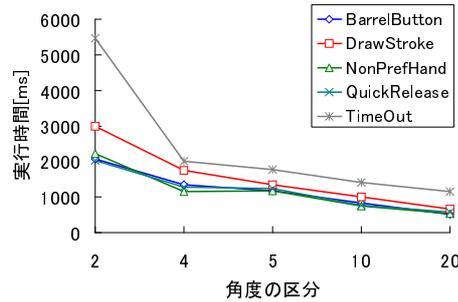


図 4 交互作用、角度 × 選択手法の実行時間
Fig. 4 The mean performance time for each angle and selection technique

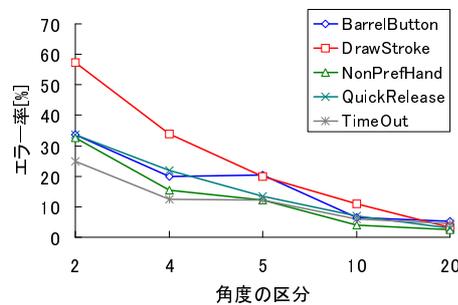


図 5 交互作用、角度 × 選択手法のエラー率
Fig. 5 The error rate for each angle and selection technique

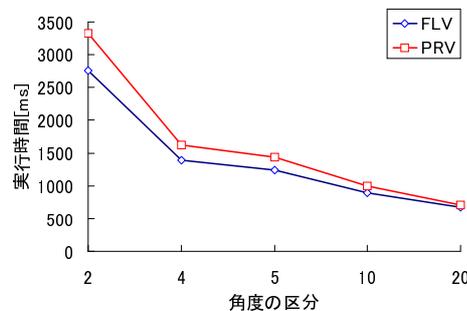


図 6 交互作用、角度 × フィードバックの実行時間
Fig. 6 The mean performance time for each angle and feedback

ドバック、5 度の FLV、6 度の FLV の間に有意差がなく ($p = 0.06$)、これらが同じく速かった(図 6)。

エラー率に Tukey HSD の多重比較を行った結果、20 度の 2 つのフィードバック、及び 10 度の 2 つのフィードバックの間に有意差がなく ($p = 0.72$)、これらのエラー率が同じく低かった(図 7)。

ペンの傾きと方位の操作性

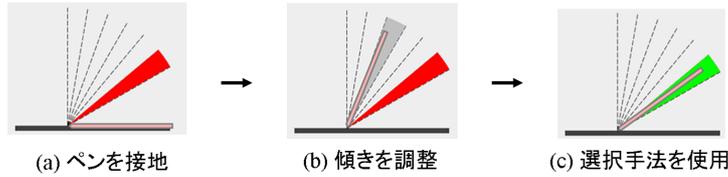


図3 実験タスク (画面のハードコピー)
Fig.3 Experimental task (Hard Copy)

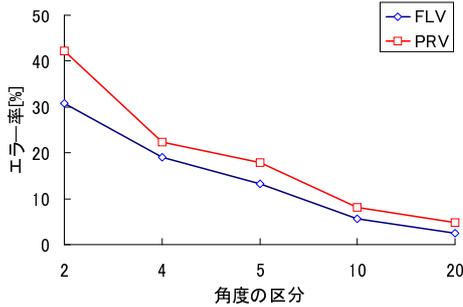


図7 交互作用, 角度 × フィードバックのエラー率
Fig.7 The error rate time for each angle and feedback

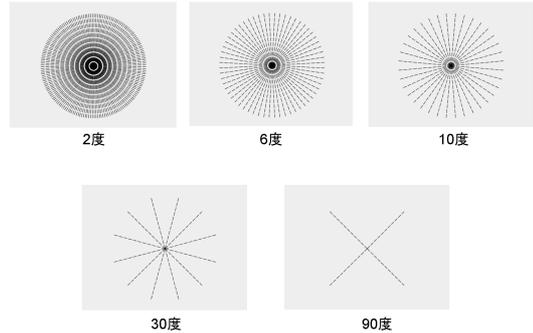


図8 方位における角度の区分 (画面のハードコピー)
Fig.8 Orientation Target (Hard Copy)

3.5.3 アンケート

角度の区分の分散分析の結果は評価値 ($F_{5,114} = 154.78, p < .01$) であった。20度が最も良く、10度、5度、4度、2度が後に続いた。Tukey HSDの多重比較を行った結果、20度と10度 ($p = 0.51$)、5度と4度 ($p = 0.05$)を除いて全ての角度の間に有意差があった ($p < .05$)。

選択手法の分散分析の結果は評価値 ($F_{4,95} = 8.17, p < .01$) であった。NonPrefHandが最も高く、QuickRelease, BarrelButton, TimeOut, DrawStrokeが後に続いた。Tukey HSDの多重比較を行った結果、NonPrefHand, QuickRelease, BarrelButtonの間には有意差がなかった ($p = 0.38$)。

フィードバックの分散分析の結果は評価値 ($F_{1,38} = 32.97, p < .01$) であった。FLVが良く、PRVが後に続いた。

4. 方位の実験

この章では、ペンの方位の実験の詳細を説明する。尚、実験装置、選択手法については、3章の傾きの実験と同じである。

4.1 検証項目

傾きと同様に、方位の区分、選択手法、及びフィードバックに関する特性を検証する。

4.1.1 方位

2度、6度、10度、30度、90度で0度から360度

までを等分した (図8)。

4.1.2 フィードバック

傾きの実験と同じFLVとPRVを用意した。ターゲットの色の変化は傾きのフィードバック (3.2.3小節)と同じである。

FLV 方位の区分、現在の領域 (灰色)、現在の方位 (ピンク色の矢印)、及びターゲットをフィードバックとして与える (図9a)。

PRV ターゲットのみをフィードバックとして与える (図9b)。

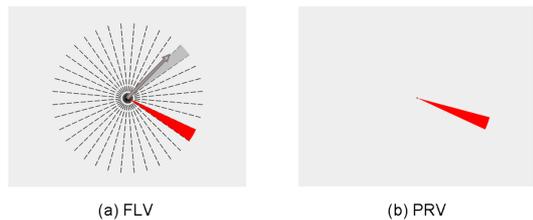


図9 方位の区分とフィードバック (画面のハードコピー)
Fig.9 Target orientation and feedback (Hard Copy)

4.2 被験者

方位の実験に20人のボランティア (全て男性) が被験者として参加した。平均年齢は21.2歳 (20歳~23歳) である。全員利き手は右手だった。このうち、8名が傾きの実験にも参加している。

4.3 実験タスク

傾きの実験と同じタスク (3.4 節) であった。

尚, ターゲットは東北を 0 度として 0-90 度 (東), 90-180 度 (南), 180-270 度 (西), 及び 270-360 度 (北) の中から選出した。

4.4 実験結果

傾きの実験と同様に, 1 ブロック目を練習として, 2 ブロック目のデータを分析した。

分散分析の結果, 実行時間とエラー率に対する方位 × 選択手法 (実行時間: $F_{15,3545} = 11.09, p < .01$, エラー率: $F_{15,3648} = 10.59, p < .01$), 方位 × フィードバック (実行時間: $F_{4,3545} = 36.77, p < .01$, エラー率: $F_{4,3648} = 2.59, p < .05$) の交互作用に有意差があった。

尚, アンケートの全ての項目に有意差がみられた。

4.4.1 方位 × 選択手法

実行時間に Tukey HSD の多重比較を行った結果, 90 度の全ての選択手法, 30 度の全ての選択手法, 10 度の QuickRelease, 10 度の NonPrefHand, 10 度の BarrelButton, 6 度の QuickRelease, 6 度の BarrelButton の間に有意差がなく ($p = 0.12$), これらが同じく速かった (図 10)。

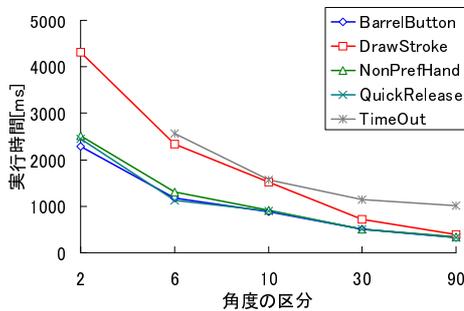


図 10 交互作用, 方位 × 選択手法の実行時間

Fig. 10 The mean performance time for each orientation and selection technique

エラー率に HSD の多重比較を行った結果, 90 度の全ての選択手法, 30 度の全ての選択手法, 10 度の TimeOut, 10 度の NonPrefHand, 10 度の QuickRelease, 及び 6 度の TimeOut の間に有意差がなく, これらのエラー率が同じく低かった (図 11)。

4.4.2 方位 × フィードバック

実行時間に Tukey HSD の多重比較を行った結果, 90 度の 2 つのフィードバック, 30 度の 2 つのフィードバック, 10 度の FLV の間に有意差がなく ($p = 0.16$), これらが同じく速かった (図 12)。

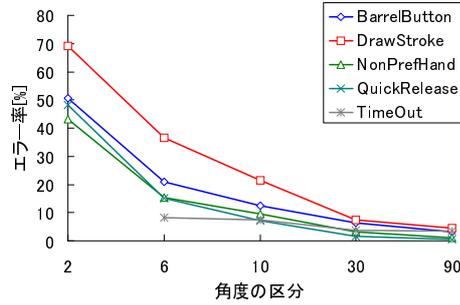


図 11 交互作用, 方位 × 選択手法のエラー率

Fig. 11 The error rate for each orientation and selection technique

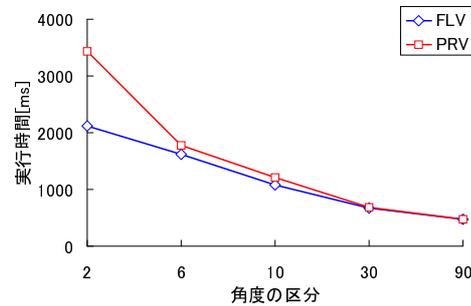


図 12 交互作用, 方位 × フィードバックの実行時間

Fig. 12 The mean performance time for each orientation and feedback

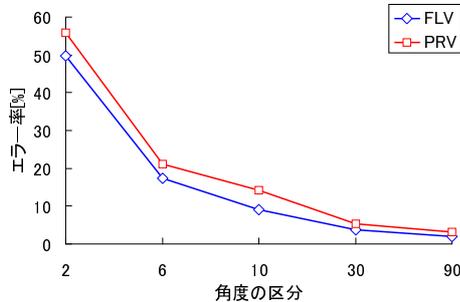


図 13 交互作用, 方位 × フィードバックのエラー率

Fig. 13 The error rate for each orientation and feedback

エラー率に Tukey HSD の多重比較を行った結果, 90 度の 2 つのフィードバック, 及び 30 度の 2 つのフィードバック, 10 度の FLV の間に有意差がなく ($p = 0.68$), これらのエラー率が同じく低かった (図 13)。

4.4.3 アンケート

方位の分散分析の結果は評価値 ($F_{4,95} = 146.08, p < .01$) であった。90 度が最も良く, 30 度, 10 度, 6 度, 2 度が後に続いた。Tukey HSD の多重比較を行った結果, 90 度と 30 度 ($p = 0.36$) を除いて全ての角度の間に有意差があった ($p < .05$)。

選択手法の分散分析の結果は評価値 ($F_{4,95} = 14.94, p < .01$) であった。NonPrefHand が最も高く、QuickRelease、BarrelButton、TimeOut、DrawStroke が後に続いた。Tukey HSD の多重比較を行った結果、NonPrefHand、QuickRelease、BarrelButton の間には有意差がなかった ($p = 0.62$)。同様に、QuickRelease、BarrelButton、TimeOut の間にも有意差がなかった ($p = 0.62$)。

フィードバックの分散分析の結果は評価値 ($F_{1,38} = 79.21, p < .01$) であった。FLV が良く、PRV が後に続いた。

5. 討論と結論

ペンの傾きと方位の実験により発見したことを以下にまとめる。

- ペンの傾きの区分は 10 度以上であると、操作性に優れている
- 方位の区分は 30 度以上であると、操作性に優れている
- 選択手法は NonPrefHand、QuickRelease、BarrelButton が優れている
- 表示領域があれば FLV、なければ PRV を与える

5.1 ペンの傾きと方位

実行時間、エラー率、及び主観評価から傾きは 10 度以上、方位は 30 度以上で区切ると最も優れた性能を発揮することが分かった。また、選択手法とフィードバックの実行時間とエラー率は傾きと方位に依存する。区分が大きくなると、選択手法、並びにフィードバックの有意差がみられなくなる。

傾きと方位を同じ 10 度区切りで比較すると、傾きに比べ、方位が実行時間、エラー率ともに劣っていた。これは傾きが手首でコントロールできるのに対して、方位が腕全体でコントロールしなければならないからである。

5.2 選択手法

傾きの区分は 10 度以上、方位の区分は 30 度以上になると、選択手法間の有意差がなかった。しかしながら、傾きと方位ともに、主観評価は NonPrefHand、QuickRelease、BarrelButton が他の手法に比べて優れていた。

実験を観察していると、DrawStroke はペンの座標を動かすたびにターゲットと現在の領域がずれ、被験者はたびたび傾き (方位) の修正を行っていた。TimeOut は決定のタイミングを被験者自身で選択できないため、無用な待ち時間があつた。このため、ペンの座標を動かさず、被験者のタイミングで入力が完了する

NonPrefHand、QuickRelease、BarrelButton が主観的に好まれたと考える。

Ramos らの圧力実験⁴⁾ では、BarrelButton の評価が悪かった。これは操作の違いによるものだと考えられる。圧力は画面を強く押してコントロールするため、指の力が重要になる。しかしながら、BarrelButton は指でペンのサイド・ボタンを押す手法で、押すときに圧力が弱まったと推測する。ペンの傾きと方位は、実験を観測していると、2 本の指で支え中指などで押していた。そのため、ペンのボタンを容易に押せていた。

5.3 フィードバック

傾きと方位ともに、被験者の主観評価は有意差があり、PRV に比べて FLV が良かった。しかしながら、傾きが 10 度以上、方位が 30 度以上で区切ると、実行時間、エラー率では有意差がなかった。これは実験装置が液晶タブレットであるため、画面を見ているときにペンの傾きと方位も視界に入るためだと考えられる。よって、視界に入るペンの傾きと方位だけでフィードバックとして十分であると結論付けた。ただし、主観評価は有意差があり、PRV に比べて FLV が良かったので画面上に表示できるならば FLV が良い。携帯情報端末などの装置によっては、フィードバックに十分な領域を取れないため、このように結論付けた。

Ramos らの圧力実験⁴⁾ では、FLV が優れていた。これは圧力値が直感的に分かりにくかったためと考える。ペンの傾きの角度や方位は圧力に比べて視覚的に分かりやすい。そのため、実行時間、エラー率では有意差がなかったと考える。

6. ペンの傾きを利用した右クリック手法

本研究で得られたユーザの制御しやすいペンの傾きと方位の区分の指針は、ペンの傾きと方位を利用するインタフェースを作成するときに重要な要素になる。例えば、ペンの傾きの区分は入力に強弱をつけられる。ペンの方位はそのまま方向を入力できる。ここで、ペンの傾きと方位でボリューム調整ツールを実装する場合について考える。上方向に傾けたとき、ボリュームを上げる。下方向に傾けたときは、ボリュームを下げる。ペンの傾きが緩やかなときはゆっくりと変化し、それから鋭くなるほど早く変化する。このように、ペンの傾きと方位の特性を利用したインタフェースは様々なものが考えられるが、紙面の関係で右クリック手法に利用したもののみ述べる。

現在、ペンで入力する携帯情報端末などのペン・インタフェースで利用されている右クリックの手法は、“ペンを一定時間維持する”と“ペンに付属している

ボタンを押す”の2種類である。しかしながら、マウスにおける右クリックのように快適であるといえない。マウスの右クリックは、マウスに付属している2つのボタンのうち、1つを押すだけである。ペンのボタンを押した場合、座標がずれてしまう可能性がある。また、“ペンを一定時間維持する”は実行にある程度の時間がかかる。

そこでペンの傾きを利用した右クリック手法を提案する。この手法はペンを一定以上傾けると、右クリックが実行される(図14)。

右クリックが実行される傾きの閾値は40度以下とした。今回の基礎研究の結果においてペンの傾きにおける角度の区分は10度以上が良いことを示したので、10度の階級で我々が普段使用している傾きを検証したところ、30度から40度までの領域はほとんど使われていなかった(0.77パーセント)。すなわち、ユーザが意識的に傾けない限り40度以下にはならない。これらのことから、ペンが40度以下で傾けられると、右クリックが実行されるとした。

また、フィードバックはFLVが良いことを示したので、フィードバックはFLVを使用した。

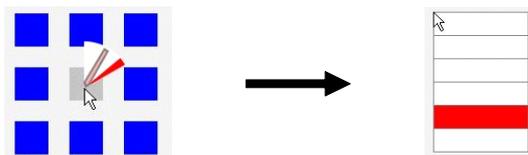


図14 ペンの傾きを利用した右クリック手法
Fig.14 Right-clicking technique using pen tilt

この手法では、アイコンにペンを置くと基礎研究の実験と同じフィードバックFLVが表示される。このフィードバックはポインタの移動に合わせて動く。赤の領域まで傾けると、右クリックが実行される。

黒木らのジョイスティック的入力法の方位で選択状態が遷移するパイ・メニュー¹⁾と合わせて実装すれば、メニューの利点とジェスチャーの利点を併せ持つインタフェースとなる。ユーザが慣れていないときは、ペンの傾きでパイ・メニューを起動させ、メニュー項目を見ながら項目を選択する。ユーザがメニュー項目を覚えてくると、目的のメニューの方位でペンを40度以下で傾けて離すと、目的のメニューがジェスチャーのように迅速に選択できる。

7. おわりに

本研究は、ペンの傾きを利用したインタフェースのデザインに念頭をおき、傾きと方位を様々な角度で等

分し、ある区分を選択するタスクを行うことで人間の操作能力を調査する実験を行った。その結果、傾きは10度以上、方位は30度以上で等分すると、操作性に優れていることが分かった。また、傾きを入力するアルゴリズムは、持ち手でない方の手でボタンを押すもの、ペンを画面から離すもの、及びペンのボタンを押すものが優れていたが分かった。さらに、ユーザに与えるフィードバックは、区分、現在の傾き、方位、及び領域を表示するタイプのものが優れていたことも分かった。

本実験で得られた結果は、ペンインタフェースの新しい分野を開拓するものと考えられ、さらなる発展を促すものといえる。今後は、ペンの傾きと方位を利用したインタフェースについていくつか提案し、その有効性も検証していく。

謝辞 本稿は Microsoft Research Asia Mobile Computing in Education Theme および情報処理推進機構の2006年度未踏ソフトウェア創造事業による成果の一部である。

参考文献

- 1) 黒木剛, 川合慧: ペンの傾き情報を利用した入力法, *インタラクティブシステムとソフトウェア VII*, pp.1-6 (1999).
- 2) 村中 徳明, 山本 隆史, 今西 茂: “VR技術を用いた書道学習支援システムとその学習効果”, *電学論 A*, pp.1206-1216 (2003).
- 3) Oshita, M.: Pen-to-mime: A Pen-Based Interface for Interactive Control of A Human Figure, *Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling 2004*, pp.43-52, (2004).
- 4) Ramos, G., Boulos, M., and Balakrishnan, R.: Pressure Widgets. In *Proceedings of CHI2004*, pp.487-494 (2004).
- 5) 越智大介, 中平篤, 鈴木尚文: ペンタブレットを用いて立体表示オブジェクトを操作するインタフェース, *インタラクション 2005 論文集*, pp.187-188 (2005).
- 6) 野田明宏, 田中敏光, 佐川雄二: スクラッチによる3次元形状のモデリング, *平成 17 年度電気関係学会東海支部連合大会* (2005).
- 7) 堀川彬夫, 松田浩一: ペン先形状を考慮した3次元モデル編集法とその評価, *インタラクション 2006 論文集*, (2006).
- 8) Tian, F., Ao, X., Wang, H., Setlur, V., and Dai, G.: The Tilt Cursor: Enhancing Stimulus-Response Compatibility by Providing 3D Orientation Cue of Pen, *Proceedings of CHI 2006*, pp.303-306 (2006).