

ペンの操作性に関する実験的研究

小野 眞

日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

液晶パネルと透明タブレットを用いた一体型入出力装置が広く使われるようになってきている。しかしながらそこで使われているユーザインタフェース技術の多くはマウスとビットマップディスプレイのものをおき代えたものであり、ペンの操作特性に関する研究も多くない。本研究の目的はこのペンの操作性の特性評価を行ない、その結果を考慮したユーザインタフェースの開発である。そこでまずポインティング時間に注目してペンの操作特性をマウスと比較した。その結果ペンは一般的にマウスより良いパフォーマンスを示す一方、ポイントする向きの要因を強く受けることがわかった。またポイント時間のばらつきから、マウスとペンの運動系の違いについても考察を行なった。

An experimental study of a pen's user interface

Makoto Ono

IBM Research, Tokyo Research Laboratory, IBM Japan Ltd.
5-19, Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102, JAPAN
onom@trl.vnet.ibm.com

As a result of the improvement in the technology of LCDs and tablets, unified transparent tablets with displays are becoming widely used, and pens are now among the most popular user interface devices. In most systems, they are used in place of a bitmap display and a mouse, and there have been few studies of issues related to the user interfaces of these pens. This paper reports on our experimental studies of the pen's interface. The focus is on pointing time, especially in comparison with the time needed when a mouse is used. In most cases, the pen has a better performance than a mouse, and also pen shows more directional dependencies. A consideration of motion system explains the difference in pointing time between the tow devices, and the adjusted results better describe the pen's features.

Keywords: performance modelling, pen interface, pointing task, Fitts's law, LCD display with tablet

1 はじめに

近年、液晶技術の進化およびコンピュータの小型化に伴い、液晶パネルと透明タブレットを用いた一体型入出力装置が広く利用されはじめ、ペンもまた一般的な入力装置として定着しつつある。この装置は、マウスとビットマップディスプレイを用いた従来のユーザインタフェースと比べ、その直接操作性、すなわち表示されている対象と操作する対象の位置・大きさ等が一致しているという点で、はるかに優れている。またこの装置を積極的に標準装置として Window system などにとり入れたシステムも開発されている [7]。

しかしペンにも手が下の表示が隠してしまったり、画面が大きくなるにつれて、ユーザは手を画面上の実距離を動かす必要があるため遠くのもの进行操作しようとするとき時間がかかるという欠点もある。私たちは今までおもに図形入力にペンを利用するアプリケーションを開発してきたが、その中で上記の問題以外に、例えばメニュー選択などで従来のプルダウンメニューなどが大変使いにくい経験をした。これまで、従来のマウスを用いたアプリケーションをそのままペンの環境で使用した場合の問題点については比較的検討されてこなかった。実際のアプリケーションも文字認識など一部を除き、マウスインタフェースと置き換えて利用しているものが多い。

本研究の目的は、この『マウスでは非常に行ないやすい操作が逆にペンでは行ないにくいのはなぜか』、という問題を通じてペンの操作性の特性評価およびそれを考慮した利用しやすいインタフェースの開発を目的としている。

私たちはまず、過去の研究でも示唆されているとおり、操作性の評価の一つのメジャーとして操作時間に注目して研究を行なった。

マウスによるポインティング時間に関しては Fitts の法則 [1, 3] と呼ばれているものが導出されており、ターゲットまでの距離とターゲットの大きさとが決まれば、ポインティング時間が求められる。また Card ら [2] によって、ジョイスティックやカーソル・キーなどに関しても、理論式が導出されている。

しかしながらペンに使用に関して、その操作性に関する研究はあまり多くなかった。MacKanzie

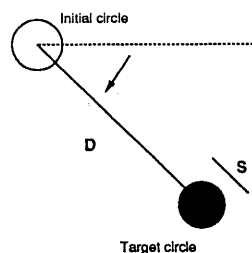


図 1: Pointing circles

ら [6] の報告はその例外的なものである。彼らはマウスとペン (スタイラス)、そしてトラックボールを利用してポインティングとドラッグングに関して比較を行なった。実験は水平方向の移動のみ関して行なわれ、その結果ペンはポインティング時間に関してはマウスよりも良い操作特性を示したものの、ドラッグングに関しては結果は逆であった。

本報告ではまずマウスとペンの操作性について移動距離と向きに着目し、実験的評価を行なった。

2 実験

2.1 被験者

5名の右ききマウス習熟者のボランティアをコンピュータ開発研究所内よりつめた。被験者は全員正常視力 (矯正を含む) で、24 歳から 32 歳の男性である。

2.2 機材

実験にはパーソナルコンピュータ (IBM PS/55¹) に標準装備されているマウス、及び WACOM 社製一体型透明タブレットを用い、時間計測には同コンピュータ内蔵タイマーを用いて 20msec 単位で計測した。

2.3 手法

被験者は CRT または一体型入出力装置の前に位置する。画面上には二つの円が表示される (図 1

¹日本アイ・ビー・エム (株) の登録商標

参照). 一方は白円で画面の中心に表示され, 他方は黒円で実験によって制御された位置に表示される. 白円 (initial circle) の直径は 5mm であり, 黒円 (target circle) の直径は, これもまた実験により制御される. そこで被験者は以下の操作を行なう.

1. マウスポインタまたはペン先を initial circle 内におく. 円内に入ったことを確認したのちにマウスボタンまたはペン先をクリックする.
2. 次にマウスポインタまたはペン先をできるだけ『速く・正確に』target circle に移動する.
3. Target circle 内に入ったことを確認したのちに再びマウスボタンまたはペン先をクリックする.

円外でクリックを行なった場合ピーブがなり被験者はもう一度やりなおす. ペンとの比較を行なうためにマウスの移動率は 1 : 1 (マウスを 1mm 移動させると画面上でポインタが 1mm 移動する.) に設定した. 実験に円を用いたのは以下の理由による. Fitts のオリジナルのモデル

$$PointingTime = I_m \log\left(\frac{2 \cdot PointingDistance}{TargetSize}\right) + C$$

は, ポインティング時間はポインティングの向きと平行な向きに沿ったターゲットサイズに依存することを示している. 従って二次元的に比較実験を行なうためには向きの要素を持たない円が最適と考えられたためである.

2.4 制御項目

本実験における制御項目は以下のとおりである (図 1 参照).

1. ターゲット間の距離
D = 30mm, 45mm, 60mm, 75mm
2. ターゲットの大きさ
S = 5mm, 10mm, 15mm (直径)
3. ターゲット間の角度
 $\theta = [0^\circ \sim 360^\circ] 22.5^\circ$ 間隔

3 結果と考察

3.1 ポインティング時間

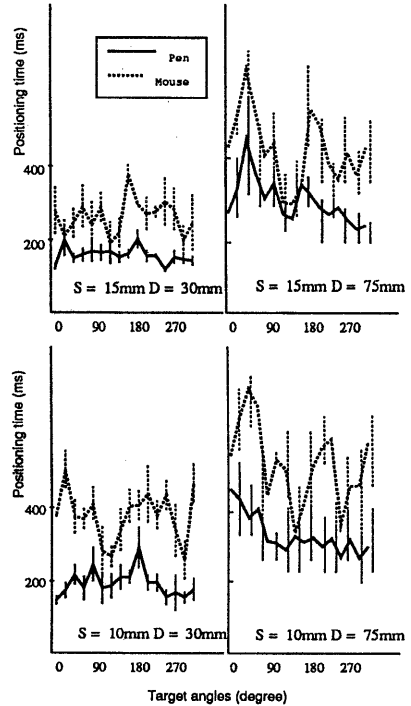


図 2: Mean positioning time Mouse

マウスとペンの平均ポインティング時間を図 2 に示す. このデータより以下の特徴が観察される.

1. ターゲットがポイントしにくくなるにつれて (ターゲット間の距離が長くなる, またはターゲットが小さくなる), 角度の影響は小さくなり, 同時にマウスとペンの差も小さくなる.
2. 装置によってポイントのしやすい位置は異なる.
3. 一般的にペンはマウスよりもポイント時間が短い.
4. ペンのデータの分散は, ポイントしやすくなるにつれて小さくなる.

3.2 Fitts のモデルとのあてはめ

またこの結果を Fitts のモデルにあてはめたものを次に示す.

表 1: Fitts fitting for mouse and pen

direction	I_M for Mouse	r^2	I_M for Pen	r^2
0	170.95	0.91	131.15	0.85
45	206.17	0.95	133.99	0.86
90	169.87	0.88	120.74	0.88
135	162.55	0.88	109.87	0.90
180	164.13	0.85	118.02	0.87
225	203.38	0.96	112.23	0.88
270	181.64	0.91	102.26	0.88
315	158.56	0.74	96.68	0.83

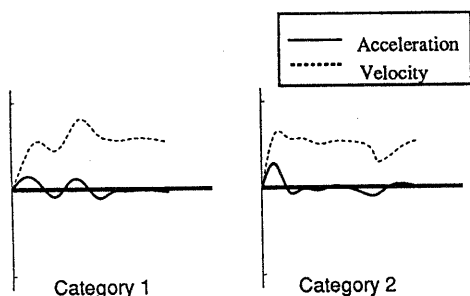


図 3: Motion pattern

Mouse: $T = 181.07 \log(D/S + 0.5) + 4.21$
 $r^2 = 0.91$

Pen: $T = 115.65 \log(D/S + 0.5) - 0.78$
 $r^2 = 0.86$

表1は、各角度ごとに適用したものである。ここからもわかるように、ペンもマウス同様 Fitts の法則に非常によく適合しているようにみられる。

3.3 考察

ペンとマウスの大きな違いは、ポイントがあまり困難でない位置で観察された。ひとつはデータの分散の差異であり、もうひとつは角度によるポイント時間の変化である。

これらの要因としてはペンとマウスで使用される運動系の差、および直接操作と間接操作の差などが考えられる。私たちはこの差に運動系が深く関わっているのではないかと考えた。

3.3.1 分散の差の考察

吉田ら [11] の報告によればマウスによるポインティング動作は、七つの運動パターンに分類される。彼らはさらにこの七つを二つの型に分けている (図3参照)。最初の型ではターゲットに近づくにつれて加速度波形は点対称を示す一方、二番目の型では負の領域で対称性をくずしている。この対称性は運動のプログラムの度合を示しており、すなわち最初の型はこの運動がよくプログラムされており、二番目の型ではネガティブ・フィードバックが強くかかっていることを示唆している。彼らはまたプログラム動作はターゲットとの距離に無関係に一定時間内 (約 0.3 秒) に終ることも示している。私たちの場合もまた、同様の波形が観察された。図4はターゲットの各位置における第一型の波形 (プログラム動作の強い方) の頻度を示している。

この図よりフィードバック動作の強くなり出す位置が装置によってことなることがわかる。マウスではターゲットとの距離が 30mm-45mm をこえるとフィードバック動作が強くなる一方、ペンではある特定の角度の要因が大きいことがわかる。

この差が先の分散の差を説明できるものと考えられる。すなわち、プログラム動作では手の動きはかなり固定的で動作の揺れは少なく、一方フィードバック動作では逆に揺れが大きいと考えると、図4の示す装置による運動パターンの差が図2の分散の差に現れたと考えられるからである。

3.3.2 角度による時間の差の考察

マウスのポインティング操作に関し、柴田ら [10] はつぎのような報告を行なっている。

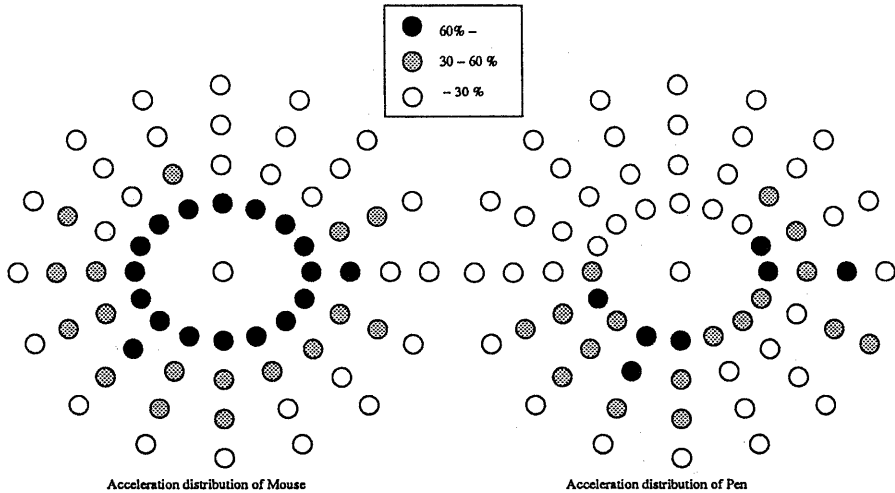


図 4: Acceleration distribution - ratio of category 1 data

1. まず, 肘関節を中心にしたすばやい運動が行なわれる. この時, 指と手首は負荷としてふるまう.
2. つぎに, 指を中心にした正確な位置合わせが行なわれる.

私たちは, ペンでは指と手首の運動の比重がもっと高く, 肘関節による位置合わせはあまり行なわれないのではないかと考えた.

そこで, この仮説を検証するために, ペンは回転運動方向にポインティングしやすいと仮説を立て, つぎの実験を行なった.

被験者は先の実験と同様にポインティングを行なうが, それにさきだって次の操作を行なう. 図 6 に示すように中心円の中にペンまたはマウスカーソルを入れ, そこから軽く手首を回転させる (図 5). システムはその軌跡をサンプルし, 円弧にフィッティングする. このパラメータを用いて, ランダムデータ中にこの円弧上の点を挿入し, 被験者に提示する.

この実験結果を図 7 に示す. 図中距離の表現は, 手首を手のひらに向かって回す方をマイナス, 手の甲に向かって回す方をプラスとする. ポインティング時間を同じ距離の他のデータと比べると, マウスでは大きな変化が見られない一方, ペンは負のレンジでは時間の短縮に顕著な傾向がみられる.

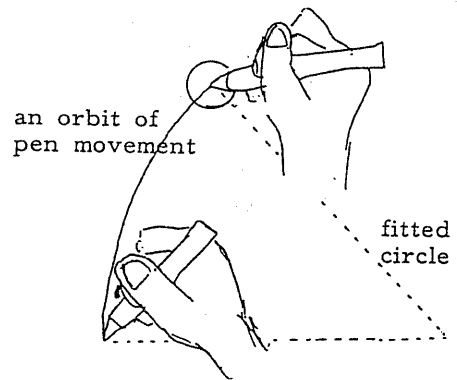


図 6: Circle fitting on wrist movement

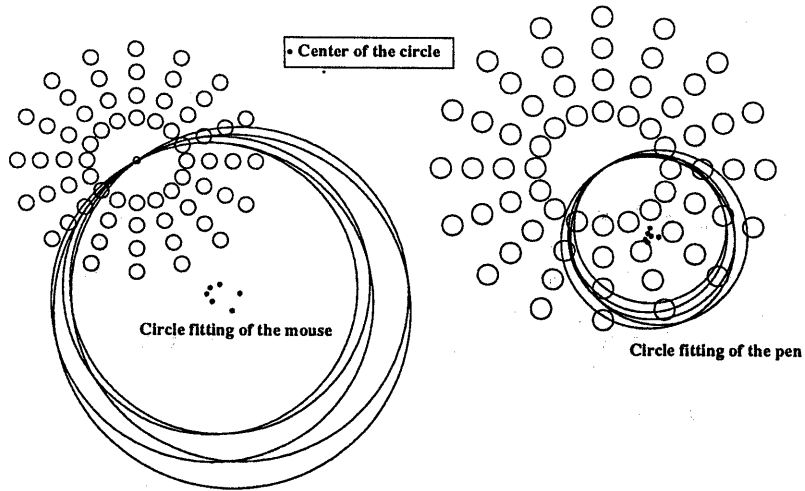


図 5: Circle fitting

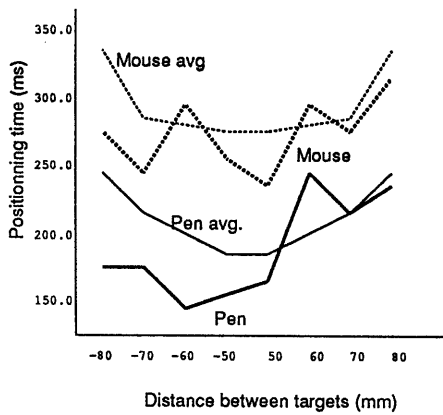


図 7: Positioning time on circle

逆に D が $+60\text{mm}$ をこえるとあまり差が見られなくなる。

もし、上記の仮説が正しかった場合、手首の位置はあまり変化しないはずである。そこで、図 2 のデータを、先ほど求めた円弧の中心からの角度で整理しなおしてみたものが図 8 である。

この図をみると、ポイント時間によって二つの帯域にわかれていることがわかる。時間の短い帯域は、どの結果でも約 $190^\circ \sim 250^\circ$ の間である。ま

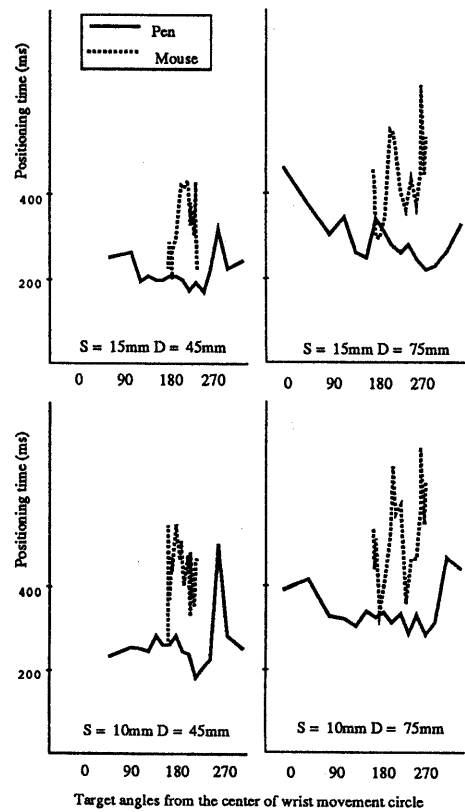


図 8: Adjusted pointing time

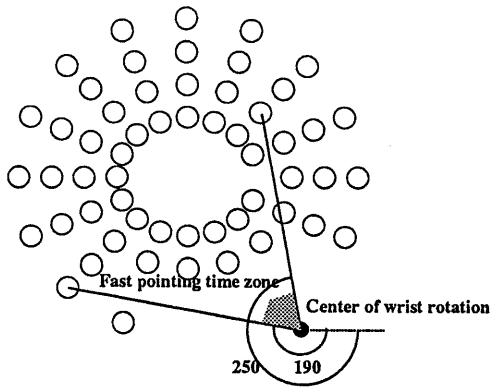


図 9: Angles of the biased direction

た各角度帯のなかの動きは、距離とターゲットの大きさに比例した Fitts のモデルによく適合している。この角度帯を図示したものが図9である。このことから、ペンではある角度帯において顕著にポイントしやすいことが推察され、先の仮説がある程度うらづける結果になっていると考えられる。

4 まとめ

今回の実験により次のことがあきらかになった。

1. ペンはポインティング時間に関してはマウスより概して早い。
2. ペンも非常によく Fitts の法則に従う。
3. ペンはとマウスでは操作の運動系が大きく異なる。
4. ペンによるポイントはマウスと異なり特にポイントしやすい方向がある。

ただし 4. の原因として逆にマウスはマウス自身の回転を打ち消すようにフィードバックされて使われているのではないかと考えられる。

5 おわりに

コンピュータの入出力装置の発達には目覚ましいものがあるが、概して従来のマウスとビットマップディスプレイのユーザインタフェースをそのま

ま利用しているものが多い。確かに大幅なユーザインタフェースの変更はアプリケーションの変更を余儀なくし、装置の普及を妨げる一因となるため難しい。しかしながら装置の特性をよく調べ、そのうえでアプリケーションとのかねあいを考えながらユーザインタフェースを決定していくべきだろう。ここではポインティングの方向という比較的単純な属性のみを対象とし、いくつかの結果を得た。実際のアプリケーションでは手やペンでターゲットが隠れてしまい、それを見つけることに要する時間などがあり、今回の実験とは異なる結果を生じる可能性もある。今後さらに他の要因も含めて実験を続けるとともに、このようなシステムレベルの応用・評価・検討もすすめてゆきたい。

参考文献

- [1] Card, S.K., Moran, T.P., and Newell, A. *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (1983).
- [2] Card, S.K., English, W.K., and Burr, B.J. *Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT*. *Ergonomics*, 21, 8(1978), 601-613.
- [3] Fitts, P.M. *The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement*. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 6(1984), 381-391.
- [4] Gillan, D.J., Holden, K., Adam, S., Rudisill, M., Magee, L. *How does Fitts' law fit pointing and dragging?* In Proc. of CHI'90 Conference on Human Factors in Computing Systems (Seattle, April 1-5, 1990), ACM Press, 227-234
- [5] Kart, J., McDonald, J.E., and Anderson, M. *A comparison of menu selection techniques: touch panel, mouse and keyboard*. *Int. J. Man-Machine Studies*, 25 (1986), 73-88.

- [6] MacKenzie, I.S., Sellen, A., and Buxton, W. *A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks*. In Proc. of CHI'91 Conference on Human Factors in Computing Systems (New Orleans, April 27-May 2, 1991), ACM Press, 161-166
- [7] ペン入力用 2 大 OS の姿日経バイト, No.84, (1991) 231-249
- [8] Ono, M. *User interface study for a unified transparent tablet with display*. In Proc. of 7th Symposium on Human Interface (Kyoto, Oct. 23-25, 1991), The Society of Instrument and Control Engineers, 59-62 (in Japanese)
- [9] Oshibe, N., Kurokawa, T., and Nishimura, T. *Experimental evaluation of button configuration on touch screen interface*. In Proc. of 6th Symposium on Human Interface (Tokyo, Oct. 24-26, 1990), The Society of Instrument and Control Engineers, 177-182 (in Japanese)
- [10] Shibata, M., Watanabe, N., and Kurokawa, T. *Basic study on pointing movements in the horizontal workspace*. In Proc. of 1st Symposium on Human Interface (Kyoto, Oct. 24-25, 1985), The Society of Instrument and Control Engineers, 153-158 (in Japanese)
- [11] Yoshida, G., and Tamura, H. *A basic study on manipulation of the mouse*. In Proc. of 2nd Symposium on Human Interface (Tokyo, Oct. 29-30, 1986), The Society of Instrument and Control Engineers, 71-74 (in Japanese)