

ペン入力のパフォーマンスモデルに関する検討

小野 眞

日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

本稿ではペンの操作,特にポインティング操作時のパフォーマンスモデルについて実験を行ないながら検討する。まずペンはマウスに比べ操作を開始した後に操作を変更することが難しいことを実験によって確かめ,ペンがプログラム動作によって制御されていることを確認した。次に単純な二つの操作にかかる時間の和と,それらの操作を連続して行なった時にかかる時間とを比較して,マウスでは個別の和の方が短いのに対し,ペンでは連続した方が同じまたは短いことを確認した。その結果ペンの操作モデルとして,マウスに比べよりプログラム度が高く,結果として一部の作業はポインティング作業と同時に実行できるのではないかと推察した。

Performance modelling for pen input

Makoto Ono

IBM Research, Tokyo Research Laboratory, IBM Japan Ltd.

5-19, Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102, JAPAN

onom@trl.vnet.ibm.com

This paper reports on our experimental studies of a pen-based interface. The focus is on the performance of a pen in pointing tasks, especially in comparison with that of a mouse. We assumed that if pointing operations are well programmed, it is very hard to adjust a pointing task when the pointing target is moved during the operation. From this viewpoint, experiments show that an operation performed with a pen is more programmed than one performed with a mouse. Next, we experiment with simple pointing tasks and combinations of them. With a mouse, the pointing time needed in a combination of tasks is almost equal to the sum of the times needed for each task, but with a pen, it is shorter. A new model is introduced to explain this difference. The model assumes that there is an overlap between the user's mental work and the first operation, and that this overlap makes a pen easier to use than a mouse.

Keywords: performance modelling, pen interface, pointing task, Fitts's law, mental work load

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。

ポインティング操作時の Human performance model は、1970年以來数多く研究されてきており、たとえば Card et al. [1, 2] は、マウスによるポインティング操作は、Fitts のモデル、

$$\text{Pointing Time} = I_m \log\left(\frac{\text{Pointing Distance}}{\text{Target Size}} + 0.5\right) + C,$$

でうまく説明できることを示した。彼らはまた、同様の結果を Joy stick, step keys, text keys でも得られたことを報告している。Karat et al. [5] はタッチパネルはマウスやキーボードよりもよいパフォーマンスを出していることを示し、押部ら [10] は、タッチパネルもまた Fitts の法則によく従うことを示した。

S. MacKenzie ら [6] は、ペンのパフォーマンスモデルについて研究を始めており、マウス・ペン（スタイラス）・トラックボールをポインティングとドラッグ操作の両方で比較を行なっている。操作方向を水平方向に限定はしているものの、その結果ペンはポインティング操作においては高いパフォーマンスを示す一方、ドラッグでは低かったことを報告している。

魚井ら [12] は、同様の実験をポインティング操作についてさらに行ない、ポインティング距離が広がるほどペンのポインティング時間とエラー率はともにマウスよりも悪くなったことを報告している。

しかしながら、なぜそのように装置によってパフォーマンスが異なるのかを考察したものは多くない。装置による差異を導く原因として、まず motor system の差異が考えられる。すなわち、たとえばペンは手首によってマウスは肘によって制御されていると仮定し、その生理学的な差異がパフォーマンスを左右するという考え方である。

一方現場の反応をこの考え方だけで説明しようとすると若干の無理がある。たとえば私たちは以前ペ

ンを用いた CAD システムを作成した [9]。このシステムは大きな CRT の表面にタッチパネルを張り付けたものに対しペンで入力する方式をとっている。このときペンの移動距離は手首で制御できる範囲を大きくはずれ、先の考え方に従えばマウスと同等もしくはより悪いパフォーマンスを示すであろうと考えられる。先の魚井らの報告はこの考え方を支持するものであると考えられる。しかしながら実際の操作を行なっているときにそのような傾向はあまり認められなかった。

本研究の目的は他にもペンのパフォーマンスを決定する原因がモータシステムだけではないのではないかと考え、それを解明することによってペンの特性を十分に以下したインタフェース開発の基礎を築くことである。そこで新たなパフォーマンスモデルをたて、実験により検討を加えた。本稿で検討した私たちのモデルは、

1. ペンはマウスに比べよりプログラムされた動作で制御されている、
2. 操作がよくプログラムされてくると一部の他の作業と並列に処理できるようになる、
3. CAD 等の複雑な操作になると一つの作業が複数の作業の組合せで構成されており、各操作自身がプログラム動作であるほど、操作と結果の判断・次の操作の開始とがスムーズに流れやすい、

ことである。

プログラム操作

仮説

先にも述べたように私たちの仮説の第一は、ペンによる操作の方がマウスによる操作よりも、よりプログラムされた動作であることである。

まずこの仮説について検討してみる。過去のいくつかの研究が示すように [7, 12]、ペンもマウスも Fitts の法則によく従う。このことはこれらの操作をミクロ的に見た場合、ともにフィードバックベースの操作であったことが推測される。しかしながら、これらの操作をもう少しマクロな目で見るとも大切だろう。そのために私たちは次のような仮定をさらに設けた。

『もしその操作が十分にプログラムされたものであれば、その操作を開始後途中で変更・中断すること

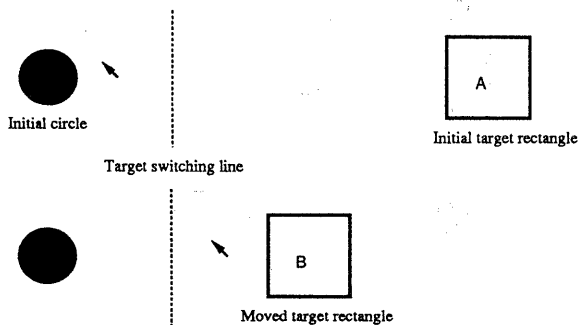


図 1: Target rectangle will move from position A to position B when a user crosses a switching line.

は難しい。もしその操作が、フィードバックベースのものであればそれは比較的簡単である。」

この仮定を元にマウスとペンの操作特性の違いを検討するために、以下の実験を行なった。

実験手法

被験者

7名の男子マウス熟練者をつのった。被験者はみな右ききで、(矯正を含め)正常視力である。

実験機材

実験には IBM PS/2¹、に附属のマウスおよびワコム社製の液晶タブレットを利用した。時間は PC の内蔵タイマを用い、20 ms の精度で計測した。

実験手順

初期位置 (円) とターゲット (正方形) がスクリーン上に表示される (図 1 参照)。被験者は次の手順で操作する。

1. まず初期位置にポインタを移動する。ポインタが入ったことおよびターゲットの位置を確認した後に、マウスボタンまたはペン先をクリックする。
2. ポインタをターゲットの中に入れてできるだけ速く・正確に移動させる。

¹PS/2 は IBM Corp. の登録商標

表 1: Overshoot frequency when the target is moved

オーバーシュート	なし	元位置 以前まで	元位置 以上
Mouse	77%	23%	0%
Pen	0%	29%	71%

3. ポインタがターゲット内に入ったことを確認した後に再びクリックする。

初期位置円またはターゲット正方形の外でクリックした場合にはビープで知らされる。初期位置とターゲットの間の (初期の) 距離は 160 mm である。

被験者がポインタを動かし、初期位置から 15 mm, 30 mm, または 45mm を越えたところで、ターゲットの正方形は初期位置から 120 mm のところに移動する。この移動の有無および移動を開始する距離は、ともにランダムに決定される。

実験結果

表 1 はオーバーシュート、すなわちターゲットが手前に移動したにもかかわらず、その地点を通り過ぎた頻度を示したものである。この表からもわかるようにマウスではペンよりもオーバーシュートの頻度が低いことがわかる。ペンを使用した実験では被験者の全員がオーバーシュートをし、71%のケースでターゲットの初期位置までオーバーシュートをした。

29%のケースでターゲットの初期位置以前で修正を行なえたことは十分考慮しなくてはならないが、次のことがいえると考えられる。

すなわち、ペンによる操作は操作を開始した後にその操作を変更することはマウスに比べて非常に難しい。また多くの場合その操作を終了してからでないこと次の操作を行なうことはできない。この結果と先の仮定から、ペンの操作はマウスの操作と比べてよりプログラムされた操作ではないかと考えられる。

複合操作

仮説

単純なポインティングタスクのパフォーマンス実験は、先にも述べたように数多くなされてきた。しかし

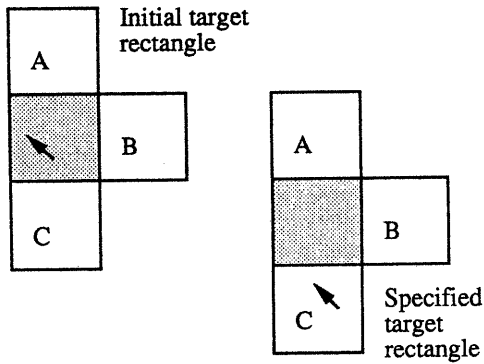


図 2: Target rectangles surround an initial rectangle. User selects one of them as quick as possible.

ながら実際の操作はこのように一つの操作のみで完了するわけではなく、複雑に組み合わせられていると考えられる。たとえばプルダウンメニューひとつでも、項目を選びクリックし、新たに表示されたメニューの中の一つに移動して再びクリックする。

このときの私たちの仮説は次のとおりである。

『もしある操作がよくプログラムされたものであれば、フィードバック中心の操作に比べ負荷が軽く、同時に一部の他の作業も実行できるであろう。』

この仮説を検討する方法として、次のような手順を考えた。

1. いま操作 A に a 秒かかり操作 B に b 秒かかったとする。複合操作 $A + B$ を実行するのに必要な時間は単純に考えると $a + b$ となる。
2. 操作 A および B に必要な時間には、運動に必要な時間の他に、認識等に必要時間も含まれているだろう。
3. もしこの複合操作を実行するために必要な時間が $a + b$ より小さいならば、操作中に同時に行うことができるタスクがあったのではないかと推測できる。

この考え方にそって先の仮説を検討するために以下の実験を行なった。

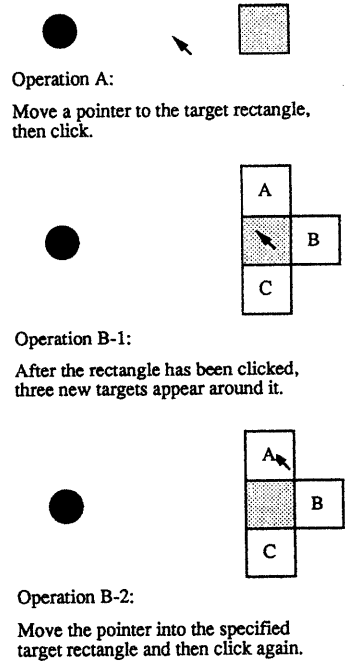


図 3: Combination of operations A and B

実験手法

被験者および機材

先の実験と同じ被験者に対し同じ機材を用いて行なった。

手順 A

被験者は先の実験と同じ手順で実験を行なう。ただし今回はターゲットは移動しない。

手順 B

被験者は下記の手順で実験を行なう。

1. 実験者は被験者に対し、ターゲットのラベルを教える。
2. 被験者はまず、初期位置（正方形）内にポインタを移動する。この正方形の上下および右側にはラベルを持った正方形が隣接している（図 2 参照）。ポインタが初期位置にあり、どのターゲット

トを次に選べばよいか確認した後に、マウスボタンまたはペン先をクリックする。

3. ポインタをターゲットの中のでできるだけ速く・正確に移動させる。
4. ポインタがターゲットの中にあることを確認した後に再びクリックする。

手順 C

手順 C は先の手順 A および B を複合したもので (図 3 参照), 以下の手順で行なう。

1. 実験者は被験者に対し、ターゲットのラベルを教える。
2. ポインタを初期位置 (円) に移動する。ポインタが初期位置の中にあることを確認した後に、マウスボタンまたはペン先をクリックする。
3. ポインタをターゲット (正方形) の中でできるだけ速く・正確に移動させる。
4. ポインタがターゲットの中にあることを確認した後に再びクリックする。
5. ラベルを持った3つの新たなターゲットが現在のターゲット (正方形) の上下・右横に現れる。
6. ポインタを先に指定されたターゲットの中のでできるだけ速く・正確に移動させる。
7. ポインタが新たなターゲットの中にあることを確認した後に再度クリックする。

実験結果および検討

結果を図 4 に示す。図中、左側の縦に並んだ二本の棒は手順 A および 手順 B を実行するのに必要な時間の平均値であり、右側の棒は手順 C を実行するのに必要な時間の平均値である。

この図からもわかるとおり、マウスでは複合操作の時間の方が個別操作の時間の和よりも大きくなっており、ペンでは逆転しているように見られる。

マウスのケースはつぎのように推察することができる。手順 A を終えた被験者は、次の手順 B について必要なメンタルな仕事があり (たとえばどのラベルを選ぶかを思い出すなど)、個別に実験した場合にはこの時間はなくなっているが (手順 B で被験者が

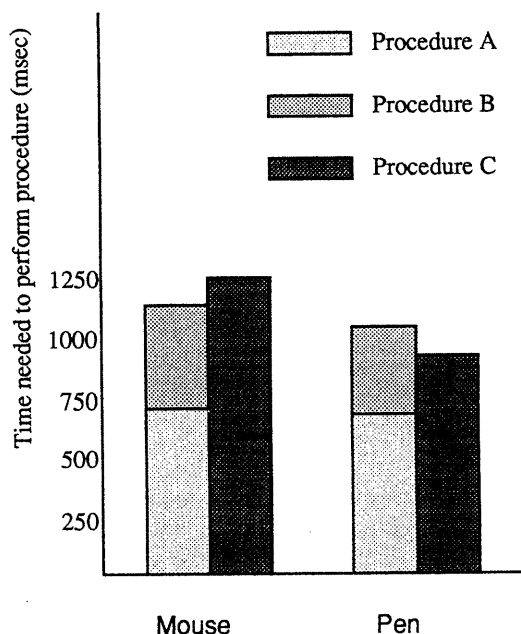


図 4: Time needed to perform procedures A and B, and time needed to perform combined procedure C.

準備完了のクリックをする前に終了しているから)、複合操作では操作時間に含まれてしまう。

一方ペンのケースは次のように考えられる。本来大きくなるべき時間が小さくなっているのであるから、先に述べたメンタルな仕事は、何かの操作時に同時に実行されたと推察する (図 5 参照)。

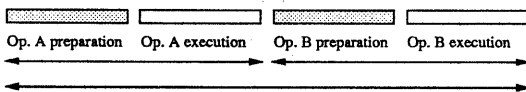
すなわちマウスでは操作中に他の仕事を並行に実行することは難しいが、ペンではその可能性があると考えられる。

まとめ

マウスとペンのパフォーマンスを比較するために実験を行なった。実験の結果、ペンの操作時には一度操作を開始すると、マウスに比べて途中でその変更することは難しいことがわかった。このことから、ペンの操作はマウスの操作に比べよくプログラムされているのではないかと推察される。

もう一つの実験の結果、単純な操作を二つ独立に行なった時にかかる時間の和と、その二つの操作を連続して行なった時にかかる時間とを比較した結果、マウ

Operations A and B with a mouse.



Operations A and B with a pen.

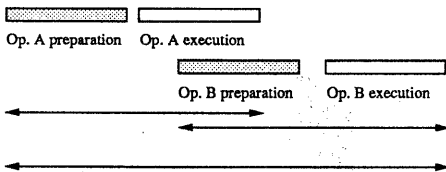


図 5: Time overlap between operations A and B.

スでは独立した時間の和の方が短いに対しペンでは逆の結果が得られた。このことは、マウスの操作では順次に行われていたいくつかの仕事の一部が、ペンの操作時には同時に実行されたのではないかと推察される。

この二つの結果からペンのパフォーマンスモデルの特徴は、『ペンの操作はマウスの操作に比べそのプログラム度が高く、結果として一部の（メンタルな）作業と並行して実行できる点である』と推察した。

この研究は完了したのではなく、いくつかの検証されていない仮定を含んでいる。また『並行に実行される作業』と非常に曖昧な方をしており、その実態については何の検討も加えられていない。今後は検証されていない仮説の検証、どのようなものが並行に実行されているのかを明白にする実験方法の確立などを行なっていきたい。

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] 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)

[8] Ono, M. *An experimental study of a pen's user interface*. *SIGHI IPSJ* 41-13, 93-100 (in Japanese)

[9] Ono, M. *Pen input for three dimensional objects*. In Proc. of 8th Symposium on Human Interface Tutorial (Tokyo, Oct. 21, 1992), The Society of Instrument and Control Engineers, 135-142 (in Japanese)

[10] 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)

[11] 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)

[12] Uoi, H., Shinoda M., Yamamoto, Y., Tsujino, Y., and Tokura, N. *An experimental comparison of pen-tablet and mouse in selecting two targets*. *SIGHI IPSJ* 43-5, 33-40 (in Japanese)

[13] 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)