

ポインティングターゲットの予知

宮里 勉

国際電信電話株式会社 上福岡研究所

ユーザインタフェースにおける人間とシステムとの通信を円滑に行うには、人間とシステム相互の意図の理解が欠かせない。本稿ではユーザの意図理解への一つの試みとしてマウス操作におけるポインティングターゲットの予知についての実験について述べる。ポインティング動作におけるマウスの動きベクトル間の方向角度の分布をvonMises分布でモデル化し、そのモデルを基にマウス操作のターゲット予測法を提案した。そして、ターゲットの識別度、誤り率、ポインティング時間などについての測定の結果、ターゲットの予知を行うマウスでは、① アイコンの数が10個の場合に、予知を行わない通常モードの約63%にポインティング時間が減少すること、② 通常モードの約1/4の面積の作業スペースで済むことなどの有効性を明らかにした。また、アイコン数の増加に伴って予知に要する時間が増加する欠点のあることも示した。

TARGET PREDICTION FOR POINTING OPERATION

Tsutomu Miyasato

Kokusai Denshin Denwa Co. Ltd. (KDD) Kamifukuoka R&D Laboratories

2-1-15 Ohara Kamifukuoka-Shi, Saitama 356, Japan

Abstract Good user-interface requires mutual understanding of intention between system and human. This paper proposes a new pointing method with target prediction from the view point of understanding user's intention by a system. We have proposed 5 kinds of target prediction methods and measured the rate of correct prediction, the pointing time by the new methods, and pointing error rate in the operation selecting icon targets on a CRT display. The result of evaluation tests shows that comparing the mouse operation methods with traditional ones, the methods are effective enough to decrease pointing time with mouse and to reduce workspace for a mouse to the quarter of the normal type mouse.

1. はじめに

通信端末のマルチメディア化が検討されているが、端末の多機能化・高機能化が進むにつれ、ヒューマンインタフェースの重要性が増している。通常、端末ではウィンドウが多用され、文字・図形・画像など様々な情報が表示されるが、それらの情報やコマンドの入力および指示のためのポインティング装置としてマウスが広く用いられている。しかし、マウスにもいくつかの問題点があり、①作業スペースの確保、すなわちマウスを移動させるための十分なスペースの必要性、②煩雑さ、すなわちキーボードとマウスとの間で手が移動することによる煩わしさと時間効率の低下、などが指摘されている。

①の作業スペースの問題に関しては、マウスの移動を小さくするための手法として、マウスカーソルが表示されている任意の位置にメニューが表示されるポップアップメニュー方式がある。

また、マウスの感度を変化させる方式も検討されており1)-4)、文献1)ではソフトウェア手法と組み合わせたマウスによる、マウス作業領域の減少効果を報告している。

②の煩雑さに関して、Cardら5)は、マウスとキーボード間の手の移動に約0.4秒要すると報告している。

煩雑さや占有スペースの問題にしても、重要なのはポインティングが終了するまでの時間の長短である。すなわち、操作者が意図した処理の象徴としてのアイコンの起動による意図伝達達成までの時間の長短が操作の善し悪しの評価に反映する。

マウスによるポインティングでは、ターゲットまでの距離とターゲットのサイズが決まれば、ポインティング時間が求まる6)。したがって、通常のマウス操作ではポインティング時間の短縮化には限度がある。

ところで、システム側に操作者の行動さらには意図の予測が可能になれば意図伝達時間が短縮され、より良好なユーザインタフェースの実現が期待されよう。このような観点からマウスによるポインティング操作を考えると、マウスの感度を変化させるなどの物理的処理により操作時間の短縮化を図る以外にも、システムが利用者の意図を素早く予知・理解することにより、結果としてポインティング時間の短縮化の実現が期待できる。

そこで、本稿では、マウスによるメニューアイコンのポインティングを想定し、マウスによるポインティング・ターゲットの予測法についての検討・評価実験について報告する。

2. マウス操作におけるポインティング動作の分析

2.1 アイコンメニュー選択におけるマウス操作

アイコンを多用したワープロなどにおいて、利用者がマウスを用いて操作を実行するまでの動作は次のようになる。

アイコンの決定: 画面上のアイコンなどを見て、自分の意図を満たす操作を表現しているアイコンを選択・決定する。



ターゲットアイコンへのポインティング: 操作を示すアイコン上にポインタを移動させ、アイコンを指示する。



アイコンに表現される操作の起動: ポインタで指示されたアイコンに対してクリックなどにより動作の起動を指示する。



結果の判断

このようなポインティング動作に対して、人間は、画面上のマウスカーソルの動きを側から見てマウス操作者がどのターゲットを狙っているかを予知することができる。この場合、第3者には、最初からは最終目標は分からないにしても、目標の候補は見えている。さらに、マウスの動きは目標までの最短距離を進むと思われ、その軌跡はほぼ直線に近い。このような知識・経験を用いて、人間は予知を行っていると思われる。

そこで、マウスカーソルの動きに対して、同様な予知作業はシステムにも可能であり、マウスが最終目標に到達する前にマウスカーソルの最終目標を予測できることになる。

2.2 vonMises分布によるマウス移動方向のモデル

マウス操作と同様にカーソルの移動量の情報を扱う分野に、電子黒板など文字・図形を実時間で伝送する描画像の高エネルギー符号化の研究がある7)-8)。

描画像の予測符号化方式では、一般に標本化した座標点とその前に標本化した座標点列の延長方向に出現する確率が高いという性質を利用してしている。この場合、ペンの軌跡は人間の頭の中にあり、第3者には見えない。そして、ペンの動きは

文字や図形を描くために単調な曲線ではない。このような状態においても次のペンの進む方向が局所的ではあるが予測できる9)。

ここで、マウスカーソルの動きについて考えてみると、前述のようにターゲットまでのマウスの軌道はほぼ直線であるため描画像の符号化時よりも予測が容易であると期待できる。

そこで、以下にマウスの移動方向の統計的性質の把握のための測定結果について述べる。測定は図1のように、各時点でのマウスの移動方向とターゲット方向との方向の差分 θ について行った。

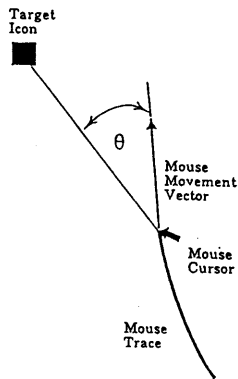


図1. マウスの移動方向とターゲット方向の差分 θ

一般に、角度データに対しては、通常の数値データの統計量とは異なる扱いが必要となり、本稿では、直線上の正規分布に対応する vonMises 分布¹⁰⁾によるモデル化を試みた。確率密度関数 $f(\theta)$ は

$$f(\theta) = (1/2\pi I_0(k)) e^{k \cos(\theta - \mu)} \quad (1)$$

で与えられ、 $I_0(k)$ は式(2)で表現される第1種0次変形ベッセル関数である。

$$I_0(k) = \sum_{r=0}^{\infty} (1/r!)^2 (0.5k)^{2r} \quad (2)$$

μ は(3)式で求まる平均方向、 k は vonMises 分布の集中度を示すパラメータである。

$$(1/n) \sum_{k=1}^n e^{i\theta k} = R e^{i\mu} \quad (3)$$

また、 R は平均ベクトル長である。

図2に、各時点でのマウスの移動方向とターゲット方向との方向差分の発生確率を示す。実線は vonMises 分布による近似結果であり、近似がうまく行われているのが分かる。

3. マウス操作におけるターゲット予測法

予測法として、以下の5つの方法を検討した。各予測法により予測ターゲットが求まった後は、マウスカーソルは予測ターゲットの中心座標にセットされる。各予測法では、まずマウス座標の標本化時間を単位として、座標値の差分からマウスの動きベクトルの方向を求める。

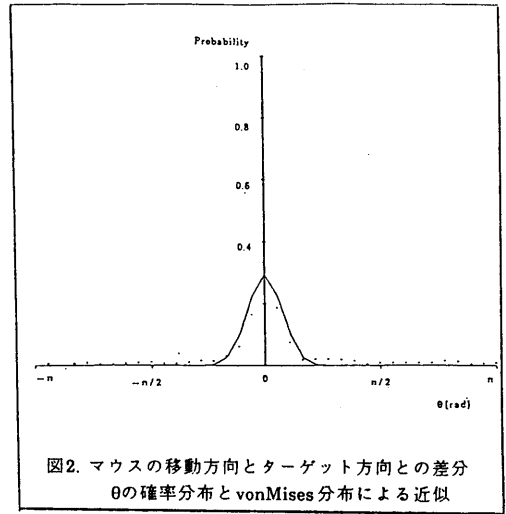


図2. マウスの移動方向とターゲット方向との差分 θ の確率分布と vonMises 分布による近似

予測法1: 求めたマウスの動きベクトルに対し、図3のように時刻 t_i と t_{i+1} の動きベクトルの方向を中心とした一定の広がりをもつ扇形の領域(以後、予測エリアと呼ぶ)内にあるターゲット候補を要素とする集合を求め、たとえば5回の標本化($t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+4}$)毎に5個の集合の積を求め、残った要素の中で、現在のマウスカーソルの位置に最も近いターゲットを予測ターゲットとする。

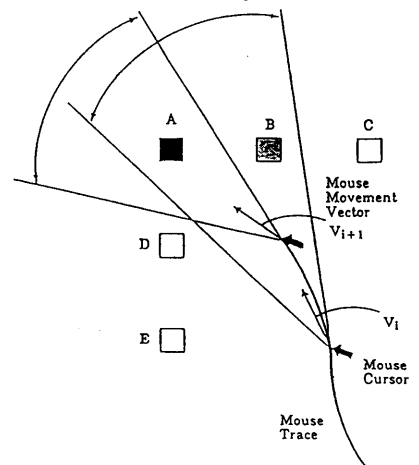


図3. 予測法1における予測エリアの例

予測法2: 予測法1と同様に予測エリアを求め、予測エリアに存在した頻度の最高値をもち、かつその値がある閾値以上のターゲットを予測ターゲットとする。

予測法3: 図3および2章で述べたように時刻 t_i におけるマウスの動きベクトルの方向と時刻 t_{i+1} でのマウスの位置と候補ターゲットの中心を結ぶ方向との角度差分の分布はvonMises分布でモデル化できる。そこで、標準化毎にすべてのターゲットに対して、vonMises分布より確率を計算し、確率の最大値をもつターゲットを予測ターゲットとする。ただし、予測法2と同様に不感期間として、ターゲットとして選択される回数がある閾値以上になるまでは予測ターゲットをポインティングしない。

予測法4: 予測法3に対して、各ターゲットの確率の値の累積値の最大値をもつターゲットを予測ターゲットとする。

予測法5 予測法3の場合と同様にすべてのターゲットへのポインティング確率を算出するが、ベイズ則を繰り返すことにより各ターゲットの予測の事後確率を更新して行き、事後確率が最大となるターゲットを予測ターゲットとする。すなわち、ある時刻におけるマウスの位置を r_i 、 r_i での各ターゲットの確率を $P(k|r_i)$ 、ターゲット $k(=1,2,\dots,n)$ の予測確率を P_k 、予測ターゲットを k と仮定した時の r_i 確率を $P(r_i|k)$ とすると、ベイズ則により、時刻 t_{i+1} における各ターゲットの予測確率 $P(k|r_i)$ は、

$$P(k|r_i) = \frac{P(r_i|k) \times P_k}{\sum_{k=1}^n P(r_i|k)} \quad (4)$$

となる。そこで、以下のステップで各時刻における各ターゲットの予測確率を計算する。

ステップ1: 初期確率 $P_k(k=1,2,\dots,n)$ を $1/n$ とする。

ステップ2: 式(4)により $P(k|r_i)$ を求め、 P_k を $P(k|r_i)$ で置き換える。

ステップ3: P_k の最大値をもつターゲットを予測ターゲット候補として選択回数を記憶する。

ステップ4: 選択回数の最大値がある閾値以上になるまでステップ1、2、3を繰り返し、 P_k の最大値をとるターゲットを予測ターゲットとする。

4. ポインティング予測実験

4.1 条件および方法

実験は、パーソナルコンピュータを用いて行い、被験者に画面上に表示されているターゲット・アイコンへのポインティングを行ってもらい、ポインティング時間を測定した。

表示用のディスプレイにはサイズが $21 \times 27 \text{ cm}^2$ 、解像度 768×1024 ドットのA4紙縦型サイズの白黒のものを使用した。また、タブレットは同サイズの電磁式で、サンプリング周期は $1/60$ 秒である。マウスカーソルの形状は左斜め向きの矢印で、表示サイズは矢印を囲む最小矩形サイズが 16×16 ドット(約 $4.5 \times 4.2 \text{ mm}^2$)であり、動作モードは相対値モードで、画面端から外には移動しない。また、マウスの感度は約4ドット/mmである。

被験者数は、男性5名、女性1名の計6名であり、年齢は20代後半から30代半ばで、全員とも5年以上のマウス使用経験がある。

ポインティング時間の測定には、実験に使用したパーソナルコンピュータのクロックにより $1/60$ 秒を単位として計測した。また、計測は、キーボード上の左手によるキー入力により開始し、ターゲット内にカーソルが収まったことの確認動作としてのマウスクリック動作により終了する。

4.2 予測法の比較

まず、予測法の比較として、各予測によるターゲット識別度およびポインティング時間を測定した。

図4には予測法1における、0.5秒間の標準化時間毎のターゲット識別結果の例を示す。この時のターゲットのサイズは $6 \times 8 \text{ mm}^2$ であり、配置は図7の場合と同じく画面境界に沿った8方向、ターゲットは番号1の場合である。また、試行回数は20回である。

また図5には同じく0.5秒間で平均した各予測法でのターゲット識別度および誤識別度の比較を示す。図5より、確率値に基づいた予測法3、4、5は予測法1、2に比較して識別能力が高いが、同時に識別誤り率も高いことが分かる。

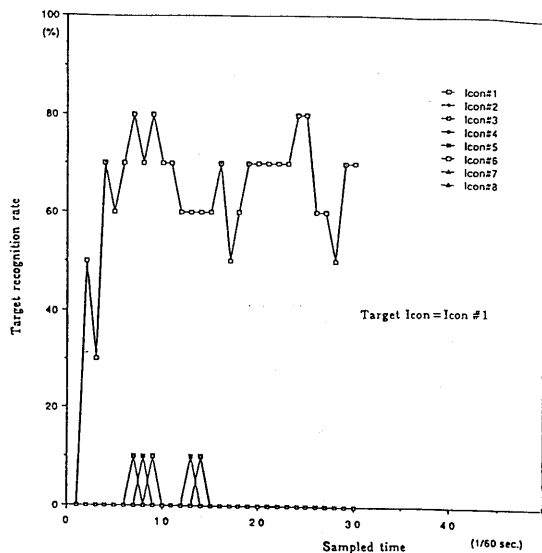


図4. 予測法1におけるターゲット識別度の例

図6には、図7に示したマウスの軌跡における予測法3と5によるターゲット識別度を示すが、ターゲットの確率値の計算にベイズ則を用いる予測法5の方がターゲットの識別の収束が速いことが分かる。

また、図8には予測法1と予測法5でのターゲット間の近接度の大小に対する比較を示す。この時のターゲット数は3で、各ターゲットともマウスのスタート点からは等距離の位置にある。横軸はターゲットの中心点間の角度である。予測法1での予測エリアの開き角度は5度である。図8の測定は、一度記憶したカーソルの軌跡データに対し、実際のターゲットの回りに2個のターゲットを配置して識別度、識別誤りを調べたものである。図8より、予測法1では識別度は一定でターゲットの近接度の増加に対して影響は見られないが、誤り率の増加、識別なしの割合の減少が見られる。これに対し、予測法5ではターゲット近接度が増加するにつれ、識別度の減少と誤り率の増加が見られる。

以上の実験の結果、予測法1から5は、方式の番号が高いほどターゲットの識別度が高く、確率値に基づいた予測法3、4、5は予測法1、2に比較して識別能力が高い。ただし、予測ターゲットの決定までに時間を要するため、ポインティング終了までにターゲットが決定されない場合もある。

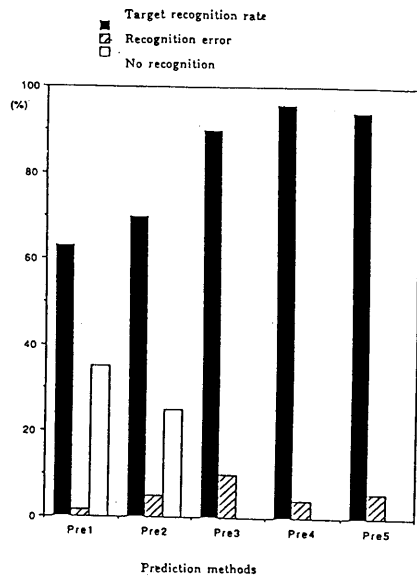


図5. 5種類の予測法におけるターゲット識別度の比較

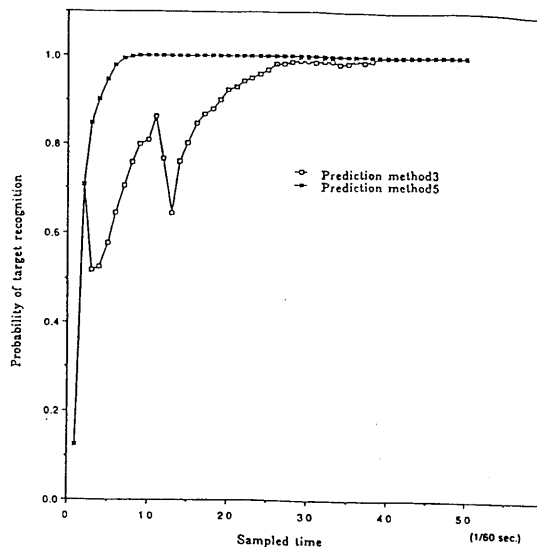


図6. 予測法3と5によるターゲット識別度の収束の比較

したがって以後の実験では、処理が簡単な予測法1を用いることとした。

4.3 アイコンメニュー選択を想定したポインティング実験

図9には、予測法1における予測エリアの開き角度の大小による識別度の変化の様子を示す。この場合のターゲットの配置は図7と同じ8個である。予測エリアの開き角度が小さいと、予測エリア内にターゲットを捕らえにくくなり、識別誤り

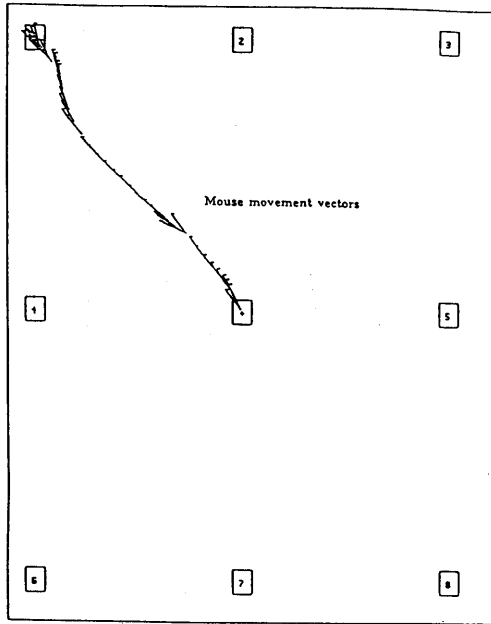


図7. マウス移動の軌跡の例

は小さいが、同時に識別なしになる割合も大きい。図7のようなターゲット配置では、スタート点からの各ターゲット間の角度は約37度であるが、この場合、予測エリアは30度まで広げることによって識別度は約90%に高まる。

図10にはターゲットサイズに対するポインティング時間の変化の様子を示す。通常モードで

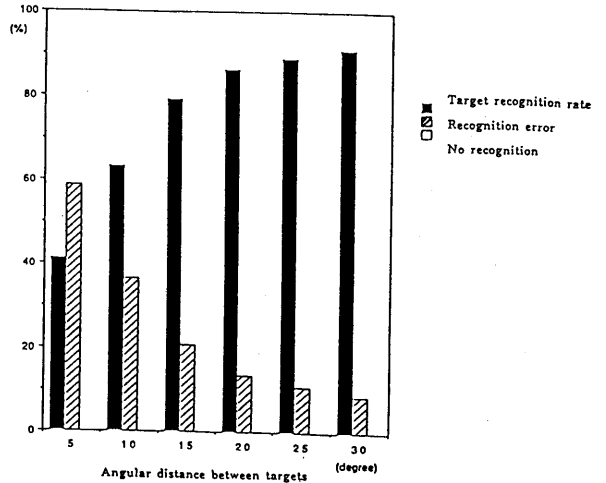


図8 (b). ターゲットの近接による識別度への影響 (予測法5)

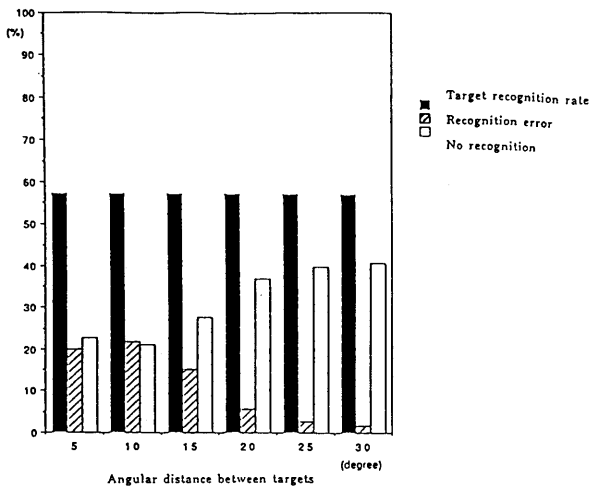


図8 (a). ターゲットの近接による識別度への影響 (予測法1)

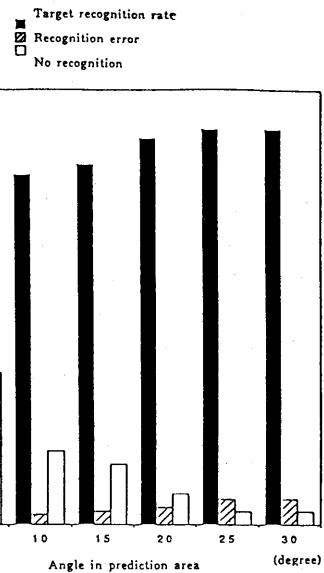


図9. 予測法1における予測エリアの大きさのターゲット識別度への影響

は、ターゲットサイズが小さくなると、ターゲットの近くでマウスのオーバーシュート/アンダーシュートが起り、その結果、ポインティング終了までの時間が長引くものと思われる。一方、予測モードでは、ターゲットサイズの影響は、通常モードより小さい。

図11には、アイコン化されたメニューの数が10個と40個の場合のポインティング時間および図7に示した8個のアイコンを番号順に順次ポインティングしたときのポインティング時間を示す。図11より、アイコン数が10個の場合には予測モードでのポインティング時間は、通常モードでの1.9秒から1.2秒へと約63%に減少している。しかし、アイコン数が40個の場合には両モードとも約1.9秒であり、顕著な差は見られない。これは、アイコンが密集していることによる予測誤りの増加の影響であり、この場合予測モードでは2ホップでターゲットまで到達する場合が増えたためである。また、散在した複数ターゲットの順次選択では、通常モードの約73%にまでポインティング時間の減少が得られている。

したがって、予測モードにおいては、アイコン数の増加に伴って予測に要する時間が増加する欠点がある。ただし、ターゲットが密集している場合、予測ターゲットを人間の意図ターゲットと一致させるのは非常に困難である。この場合には、本方式の大前提である「側から見ている人間でもマウス操作者の意図ターゲットが予知できる。」が、そもそも成立しない。

ところで、図12には8個のアイコン選択におけるマウスの軌跡を示すが、予測モードの場合、通常モードの約半分(面積では1/4)のマウス移動で済んでおり、ターゲットの予測はマウスの作業スペースの削減にも有効であることが分かる。

5. おわりに

ユーザインタフェースにおける人間とシステムとの通信を円滑に行うには、人間とシステム相互の意図の理解が欠かせない。そこで意図理解への一つの試みとしてマウス操作に限定したポインティングターゲットの予測について実験により検討を行った。

その結果、予測モードにおいては、①ポインティング時間に関して、アイコン化されたメニューの数が10個の場合に通常モードの約63%の減少が得られ有効であること、②通常モードの約1/4の面積の作業スペースで済み、スペースの削減にも有効であること、③アイコン数の増加に

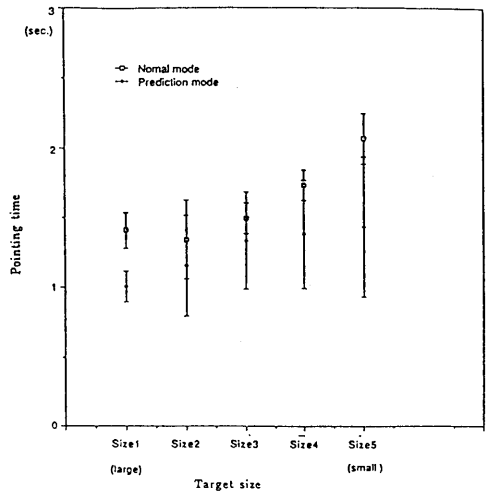


図10. ターゲットサイズに対するポインティング時間の変化

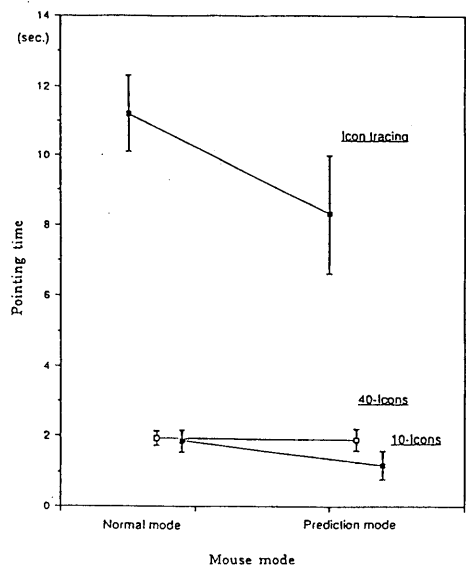


図11. 通常モードのマウスと予測モードでのマウスによるポインティング時間の比較

伴って予測に要する時間が増加する欠点があること、などが明らかとなった。

今後の課題としては、ターゲット予測の確度の向上と予測処理時間の短縮化があり、これらに関してさらに検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 竹村 他: "ポイント手法の評価について", 信学論(D), J70-D, 7, pp. 1265-1274 (昭62-07).
- 2) 竹村 他: "ソフトウェア手法によるポイント効率の改善について", 信学論(D), J70-D, 12, pp. 2402-2409 (昭62-12).
- 3) 西中 他: "座標入力のためのポイント手法について", 信学論(D), J71-D, 12, pp. 2604-2612 (昭63-12).
- 4) 武藤 他: "マウス感度の切換法の提案と選択時間の解析", 第2回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム, 1212, Oct. 1986.
- 5) Stuart K. Card, et al.: "The Keystroke-Level Model for User performance Time with Interactive Systems", Communications of the ACM, Vol. 23, No.7 (1980).
- 6) Stuart K. Card, et al.: "Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT", Ergonomics, Vol. 21, No.8, pp. 601-613 (1978).
- 7) 佐藤 他: "描画像信号の予測符号化方式", 信学論(B), J65-B, 2, pp. 215-222 (Feb., 1982).
- 8) 宮里: "手書き信号符号化におけるリング状領域選択型 DPCM 方式", テレビ学誌, Vol.39, No. 10, pp. 1003-1009 (1985).
- 9) 宮里: "方向予測に基づくベクトル量子化を用いた描画像符号化方式", 画像電子学会誌, Vol.18, No. 4, (1989).
- 10) Mardia, K.V. (1972). Statistics of Directional Data, Academic Press, New York

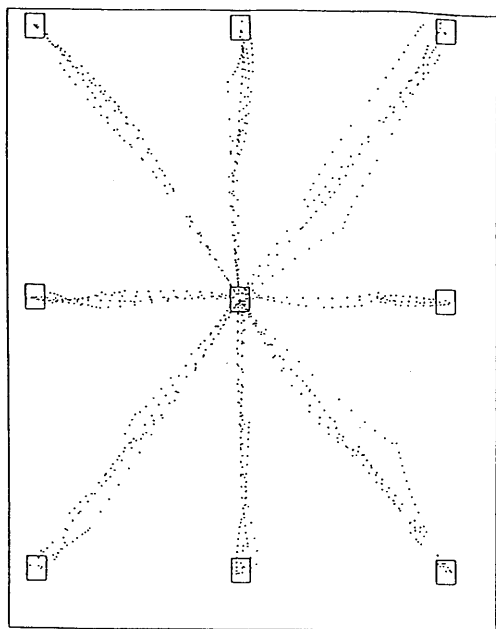


図12 (a). 通常モードマウスによる移動の軌跡

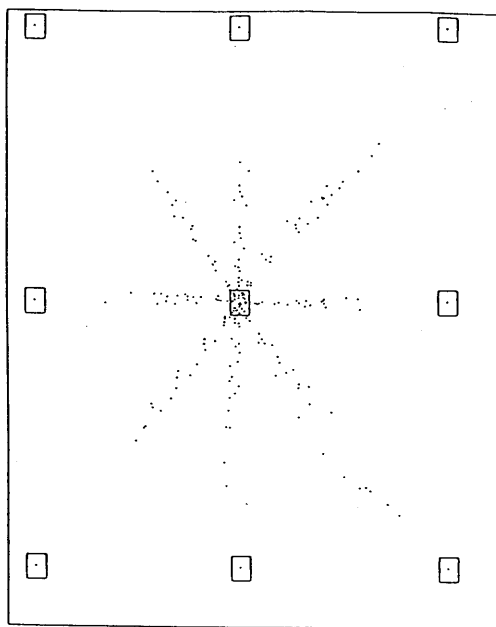


図12 (b). 予測モードマウスによる移動の軌跡