

画面解像度の違いに対するポイント効率の評価について

西中芳幸 辻野嘉宏 都倉信樹

大阪大学 基礎工学部 情報工学科

これまでに、ポイント装置を用いた計算機への入力ユーザインタフェースの改善を目的として、いくつかのポイント手法（ポイント装置とこれを利用するためのソフトウェア手法との組合せ）を提案し、それがポイントに要する時間や作業領域、ポイントに失敗する割合などのポイント効率に与える影響を評価する実験を行ってきた。

本報告では、計算機の性能向上にともなって今後進むであろうディスプレイの高解像度化を想定して、マウスを用いたポイント手法について、画面解像度の違いがポイント効率に与える影響について調べている。その結果、解像度の高いディスプレイを用いる場合には、マウス本体の移動速度に応じてカーソルの移動量を非線形に変化させる非リニアの手法が、机上の作業領域を削減し、かつポイントに要する時間も短縮することが明らかとなった。

How does
the difference of bit-map resolution
influence
the pointing efficiency?

Yoshiyuki NISHINAKA, Yoshihiro TSUJINO and Nobuki TOKURA

Faculty of Engineering Science, Osaka University
1-1, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, 560 JAPAN

We have been studying about the efficiency of pointing methods—a combination of a pointing device and its controlling software—to improve a user-interface using a pointing device.

In this report, anticipating that a resolution of a bit-map display will get higher, we study how the difference of bit-map resolution influences the pointing efficiency. It is concluded that, in case of using a high resolution bit-map display, "non-linear method" we proposed diminishes desk-top working space of mouse and needs shorter time for pointing.

1. まえがき

近年の計算機の性能の向上には著しいものがある。そして人間がその性能を生かし、円滑に利用するために、人間と計算機のインタフェースの改善は重要な問題になってきている。特に最近の対話的な計算機システムにおいては、ウィンドウ・オペレーションでのメニューやアイコンの選択、CADなど図形処理での座標入力など、画面上の目標をマウスやタッチパネル、デジタルタイザなどのポイント装置を用いて指し示すという操作が、ごく一般的に行われるようになってきた。このようなポイント装置を用いた視覚的な計算機への入力、操作が単純であり、誰にでも容易に扱えるという特徴を持つ。

ポイント装置を用いた計算機への入力のインタフェースの改善を目的として、これまでも様々な研究が行われている[1-8]。筆者らも、ポイント装置の利用方法を変えることによってポイントの効率が変化するという性質を利用して、いくつかのポイント手法（ポイント装置とこれを利用するためのソフトウェア手法との組合せ）を提案し、それがポイントに要する時間や作業領域、ポイントに失敗する割合などのポイント効率に与える影響を評価する実験を行ってきた[9-11]。その結果の1つとして、

・マウス本体の移動速度に応じて、本体の移動量に対するカーソルの移動量を非線形に変化させる非リニアの手法は、机上の作業領域の削減に有効であり、ポイントに要する時間はほぼ同等である、
ということがわかっている。

これまでに行ってきた評価実験は、パーソナルコンピュータを用いたシステムで640×400ドットの解像度をもつディスプレイ上でやっている。しかし、最近の計算機の性能向上の1つとして、画面の高解像度化が上げられる。高解像度ディスプレイを使用する環境としては、現在のワークステーションのようなシステムで、CADのように絵や図面などを入力・表示するといった作業が行われることが考えられる。そこで用いられるポイント装置は、メニューやアイコンなど画面上の領域を選択すると同時に、1ドット単位での座標入力が行えることも要求される可能性がある。これまでに提案してきたマウスを用いたポイント手法はこのような要求を満たしているが、画面解像度が変わったときにポイント効率がどのように影響を受けるかは分っていない。今後ますます進むであろう画面の高解像度化を想定して、高解像度ディスプレイにおけるポイント手法について評価を行い、有効な手法を考えることは、これからのシステム設計のために重要であると考えられる。

本報告では、4つの画面解像度に対してマウスを用いた3種類のポイント手法を評価する実験を行い、画面解像度の違いによる各ポイント手法のポイント効率の違いを調べている。

以下、2節では評価を行った画面解像度およびポイント手法と実験方法について、3節では実験結果とそれをもとにした考察についてそれぞれ述べる。

2. 評価実験について

本節では、評価を行った画面解像度とポイント手法、実験のモデルやシステム、方法、被験者などについて説明する。

2.1 画面解像度モデル

現在、広く普及しているパーソナルコンピュータやワークステーションで用いられているディスプレイ、また、今後さらに高解像度化が進んだものを想定して、次の4つの解像度のディスプレイをモデルとして実験を行った。

・パーソナルコンピュータ程度 (PC)

640×400ドット

・ワークステーション程度 (WS)

1152×900ドット

・高解像度ワークステーション程度 (HWS)

1680×1280ドット

・さらに高解像度ディスプレイ (XWS)

2560×1600ドット

実際に実験を行ったシステムの画面解像度は1152×900ドット (WS) である。これを解像度の異なるディスプレイとしてみなすために、想定した画面の座標をWSの画面に均等に交換する表を作った。すなわち、目標やマウスカーソルなどの座標情報は仮想的なディスプレイの座標として持っており、実際に表示する段階になってこの表を用いてWS上での座標に変換してから実験システムのディスプレイに表示する。例えば、縦横2倍の解像度を想定してマウスカーソルを動かす場合、想定した画面上で2ドット動いた時に実際の画面では1ドット動かすことになり、縦横半分の解像度を想定した場合には、想定した画面上で1ドット動いたときに実際の画面上では2ドット動かすことになる。

以上のようなシミュレーションの妥当性を調べるために、予備実験としてこれまでにパーソナルコンピュータ上でやってきたマウスを用いたポイント手法の評価実験を、今回

の実験システムで疑似的に得られたPCの画面を用いて行った。その結果は、以前に行った実験の結果とほぼ同等であり、その傾向・特徴も同様であり、上記の疑似解像度ディスプレイによる実験は有効であると判断された。

2.2 ポイント手法

これまでに提案してきたポイント手法のうち、今回の実験では、光学式マウスを用いて次の3方式をとりあげて評価を行った。

・リニア方式 (l m 0 : linear mouse 0)

マウス本体の縦方向および横方向の移動量に1対1に対応して、画面上のマウスカーソルを移動させる方法。すなわち、マウスのモーションカウンタが1カウンタ変化した時に、画面上でカーソルを1ドット動かす。

・非リニア1方式 (n l m 1 : non-linear mouse 1)

マウス本体の移動速度に応じて、画面上のマウスカーソルの移動量を非直線的に変化させる手法。マウス本体の動きが遅い場合のカーソルの移動はリニア方式のときと同じであるが、速く動かした場合には、本体の移動量に対するカーソルの移動量を最高2倍にする。

・非リニア2方式 (n l m 2 : non-linear mouse 2)

非リニア1方式と同様。速く動かした場合の本体の移動量に対するカーソルの移動量は、最高3倍まで。

非リニア方式の実現方法としては、オーバーヘッドを減らすために、変換表を用いて一定時間毎にサンプリングされるマウスのモーションカウンタの値からマウスカーソルの移動量を決定する方法を用いた。変換表の値を折れ線グラフにしたものを図1に示す。

リニア方式は、マウスを用いたポイントで通常使われている方式である。リニア方式でポイントを行うためには、マウスを移動させるのに十分なスペースが必要である。例えば、分解能 0.25mm/カントのマウスを用いて、1152×900ドットの解像度のディスプレイ上で1ドット単位にマウスカーソルを移動させる場合、マウスの移動に最低 288mm×225mm の領域が必要となる。特に光学式マウスでは検出方式がマウスパッド上に記されたパターンを光学的に検出してマウスの動きを得る方式であるので、このマウスパッドが作業領域の制約となっている。実験に用いたマウスパッドは約 275mm×224mm であるので、ワークステーション程度の解像度のディスプレイ上での1ドット単位のマウスカーソルの移動は理論的にほぼ可能である。しかし実際にはマウスパッドの周辺部分での操作はあまり行われず、マウス本体の初期位置や、マウスの向きによる分解能の低

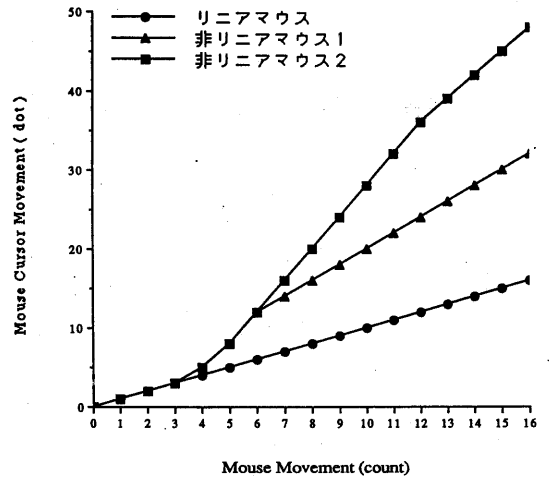


図1. 非リニア方式移動量換算グラフ

下などにより、マウス本体がマウスパッドをはずれてしまうことがある。さらに、画面解像度が上がってきた場合には、このマウスパッドによる作業領域の制約がポイント効率に影響を与えることが予想される。

非リニア方式では、マウス本体を素早く移動させることでリニア方式より少ない移動量で目標に到達することができ、作業領域およびポイントに要する時間の削減をねらった手法である。しかし文献[9]の結果から、パーソナルコンピュータ程度の解像度のディスプレイでは、非リニア方式は作業領域を削減するという点で有効であるが、ポイントに要する時間はリニア方式と同程度でしかないことがわかっている。

これらのソフトウェア手法のポイント装置として用いたマウスは、分解能 0.25mm/カントの光学式マウスで、約275mm×224mmの大きさのマウスパッド上で操作する。

ポイントを終了し、位置を確定させるための動作は、任意のマウス上のボタン（マウスボタン）を押すことにより行うこととした。

2.3 ポイントモデル

これまで行ってきた評価実験では、ポイント装置を用いての作業を目標の大きさや数で分類して、

- ・メニューの選択
- ・アイコンの選択
- ・文字画面での文字や語の選択
- ・グラフィック画面での座標入力

を想定したモデルを考えた[9-12]。

000	001	002	003	004	005	006	007	008	009
010	011	012	013	014	015	016	017	018	019
020	021	022	023	024	025	026	027	028	029
030	031	032	033	034	035	036	037	038	039
040	041	042	043	044	045	046	047	048	049
050	051	052	053	054	055	056	057	058	059
060	061	062	063	064	065	066	067	068	069
070	071	072	073	074	075	076	077	078	079
080	081	082	083	084	085	086	087	088	089
090	091	092	093	094	095	096	097	098	099
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119

図2. アイコン選択モデル

今回の実験では、4種類の画面解像度に対し3つのポイント手法を評価するため、全部で12通りの組合せが考えられる。これを上記4種類全てのポイントモデルについて実験を行うには被験者への負担があまりにも大き過ぎるため、今回は実験の対象として特に『アイコン選択モデル』を用いた。これは、画面全体を横10列縦12行(10×12)に分割して目標を配置したモデルである(図2)。目標は中央部に3桁の数字を表示することで区別し、隣接する目標との境界は線で明示してある。また、実験において選択すべき目標は、線で囲まれた目標全体を反転させることで示した。

ポイントモデルとして特に『アイコン選択モデル』を選んだのは、

- ・実際にワークステーション上で絵や図面を描くアプリケーションにおいては、座標を入力する以外に、処理などを指定するためのアイコン程度の大きさの領域を選択することが多い、
 - ・これまでの実験の結果から、ポイント手法の違いによるポイント効率の違いの傾向は、どのポイントモデルにおいてもほぼ同様である[9,11]、
- ことなどの理由による決定である。

2.4 実験方法

2.4.1 実験環境

実験に用いたコンピュータシステムは、ワークステーションSUN3/60Mである。

実験システムは、ディスプレイ上にアイコン選択モデル

の目標と矢印状のマウスカursorを表示し、被験者は実際に各ポイント手法を用いて目標の選択を行う。その際、実験システムは次の項目を測定し記録する。

- 1) 目標が表示されてから、カーソルが目標の領域内に入るまでにかかった時間(移動時間)。
- 2) カーソルが初めて目標の領域内に入ってから、位置確定のための動作を行ってポイントを終了するまでの時間(確定時間)。
- 3) 正しい目標が選択されたかどうかの判断。
- 4) 実際に目標を選択したときのカーソルの位置。
- 5) マウスのモーションカウンタの累積値。
- 6) マウスのモーションカウンタの絶対値の累積値。
- 7) ポイントエラー(一度もカーソルが正しい目標の領域内に入ることなく、目標を選択できなかった)回数。
- 8) フォールアウトエラー(一度カーソルが正しい目標の領域内に入ったけれど、最終的に正しい目標を選択できなかった)回数。

ポイントに要した時間(ポイント時間)は、移動時間と確定時間の和で求められる。それぞれ、4)はエラーの分析を行うためのデータ、5)は机上のマウスの位置に対応したデータ、6)はマウスの移動量に対応したデータである。これらのデータは実験システムによって自動的に測定され、実験データとしてファイルに記録される。時間の測定は、ワークステーション内蔵のタイマを用いて約20ミリ秒単位の測定を行った。

2.4.2 実験手順

各被験者には、次の手順で各画面解像度とポイント手法の組合せについて実験を行ってもらった。

- 1) 被験者は、それぞれの実験についての説明を口頭で受ける。
- 2) 実験を行う画面解像度とポイント手法についての練習のために、連続して20回のポイント動作を行う。
- 3) 実験システムは、実験を行う画面解像度とポイント手法をタイトルとして画面に表示し、キーボードのリターンキーを押すことにより実験が開始される。
- 4) マウスボタンを押すことでアイコン選択モデルの画面が表示され、被験者は連続して10回のポイント動作を行う。
- 5) 小休止を取りながら3)の動作を10回繰り返す、計100回のポイント動作を行って実験を終了する。被験者に10回のポイントごとに小休止を取ることを許したのは、疲労によるポイント効率への影響を押えるため

である。また、被験者には正確さを損なわない程度にできるだけ素早く目標をポイントするように指示した。

さらに、被験者には4つの画面解像度と3種類のポイント手法の組合せ12通りの全てについて実験を行ってもらったが、実験の順番や被験者の疲労による影響を抑えるために、実験は被験者の好きな時に行ってもらい、できるだけ連続してたくさんの実験を行わないように指示した。

2.4.3 被験者

実験は、本情報工科学学生7名により行ってもらった。全被験者が、4つの画面解像度と3種類のポイント手法の組合せ12種類の全てについて実験を行っている。

被験者数を7名程度としたのは、

- ・多数の被験者を使って検定を行わなければならないような微妙な差異では、ポイント効率に与える影響は、ポイント手法の違いよりむしろ被験者の個人差によるものの方が大きい。それよりもこの実験では、ポイント手法の違いによる被験者に共通した傾向を知りたい、
- ・今回のように多数の実験のタイプがある場合には、被験者数の増加にともなう実験に必要なコストの増加も無視できない、

ことなどの理由による。

各被験者のマウスに対する使用経験の有無等をまとめて表1に示す。

表1. 被験者に関するデータ

	性別	年齢	マウス 使用経験
SB1	男	26	多
SB2	男	23	少
SB3	男	23	多
SB4	男	23	少
SB5	男	21	少
SB6	男	21	少
SB7	男	22	少

3. 実験結果と考察

(a) ポイント時間

図3は、PC、WS、HWS、XWSの4種類の画面解像度について、それぞれlm0、nlm1、nlm2の3

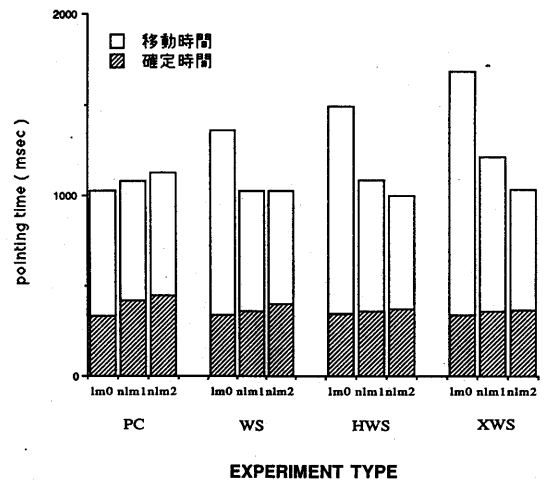


図3. 平均ポイント時間

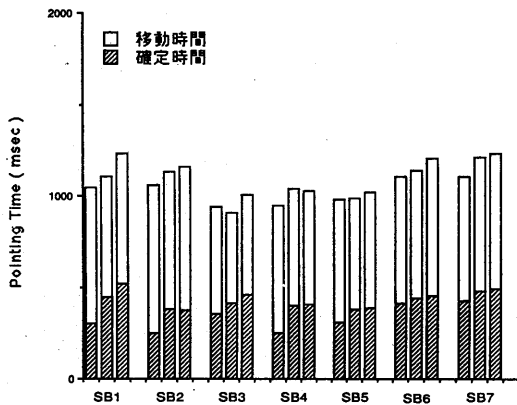
つのポイント手法での、1回のポイント動作に要した平均の移動時間および確定時間を示したものである。

リニアマウスでは画面解像度にはほぼ比例してポイント時間が増加しているのに対して、非リニアマウス2ではほぼ一定(1秒程度)であることがわかる。

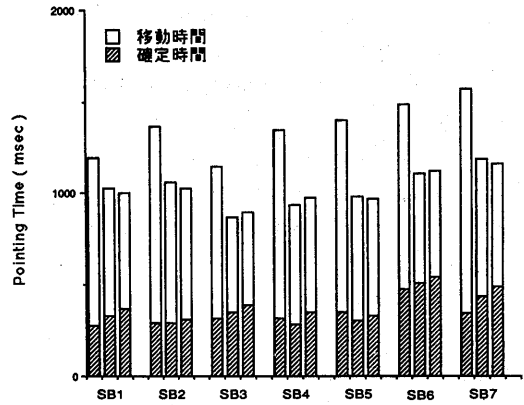
PCの画面解像度でのポイント時間は、文献[9,11]での結果と同様に1秒程度であり、3種類のポイント手法の間での差はほとんど見られないという点でも合致している。すなわちこの本実験での結果も、今回の疑似的に得た解像度のディスプレイが実際のものを適切にシミュレートしているという予備実験の結果をさらに裏付けるものとなっている。

また、リニアマウスと非リニアマウスの差は、画面解像度が上るにつれて顕著になっており、XWSにおいては非リニアマウス1と2の差も見えてきている。これは、若干の個人差は見られるものの、全被験者に共通した傾向である(図4)。このことから、『高解像度のディスプレイにおいては、非リニアマウスは目標の選択に要する時間を短縮するという点で有効である』ということが言える。

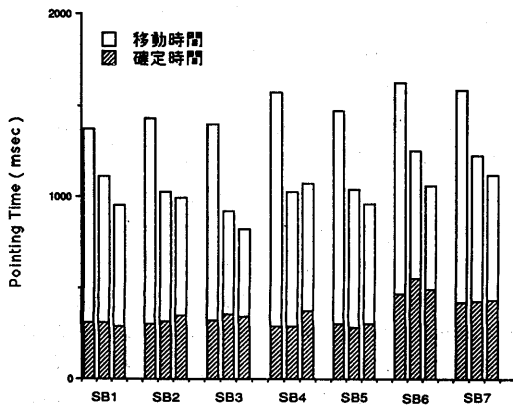
確定時間(カーソルが目標を捕えてから、位置確定のための動作を行いポイントを終了するまでの時間)に着目した時、4つの画面解像度ともポイント手法による差はほとんど見られない。ただしPCにおいては、全被験者に共通して、リニアマウスに比べて非リニアマウスのほうが確定時間が長くなっている。このことから、『PC程度の解像度のディスプレイにおいては、非リニアマウスは確定時間を増大させる』ということが推測される。しかしその差はわずかであり、また個人差もあるため(最も大きい被験者



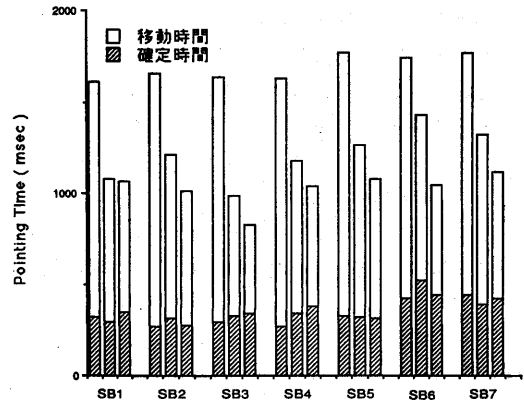
a) PC



b) WS



c) HWS



d) XWS

それぞれ左から、「リニア・非リニア1・非リニア2」の順

図4. 被験者別平均ポイント時間

で154.9ミリ秒, 小さい被験者で23.4ミリ秒), ポイント効率にそれほど大きな影響は与えているとは考えられない。

(b) 移動量

1回のポイント当りの, マウスのモーションカウンタの絶対値の累積値を図5に示す。

どの画面解像度においても, 文献[9-13]で見られた非リニアマウスの移動量の削減が認められる。また, 全ポイント手法とも移動量は画面解像度に比例して増加しており, 非リニアマウスによる移動量の削減効果は画面解像度によらず同じ割合であることがわかる。

機械式マウスと違って, マウスパッドにより作業領域を制約される光学式マウスにおいては, この移動量が必要なマウスパッドの大きさの目安となる。すなわち, X方向お

よびY方向の移動量の最大値がマウスパッドの大きさを下回れば, マウス本体がマウスパッドを外れることなく1回の動作でポイントを終了できることになり, ポイント効率の向上にも役立つものと考えられる。

(c) エラー発生率

エラー発生率の平均値を図6に示す。

エラー発生率は, どの実験タイプにおいてもほぼ1%程度におさまっており, 文献[9,11]の結果と同程度である。しかし今回の実験では, カーソルが一度も正しい目標の領域内に入ることなくポイントを終了してしまうポイントエラーが多く見られた。これは, 目標を確定するための動作としてマウスボタンを押す時に意図せずダブルクリックしてしまい, 連続して表示される次の目標の選択まで終了してしまうことがあるという被験者の報告から, 今回の実験

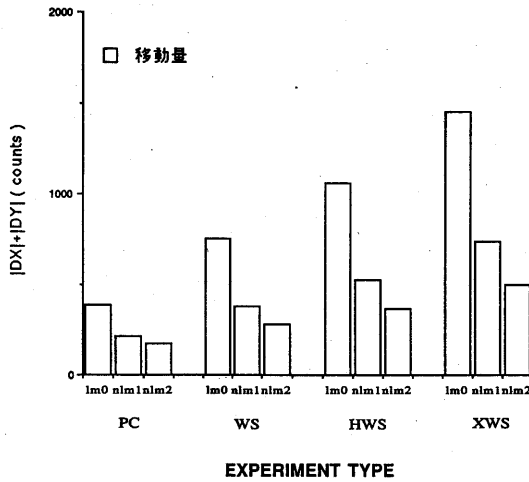


図5. マウス平均移動量

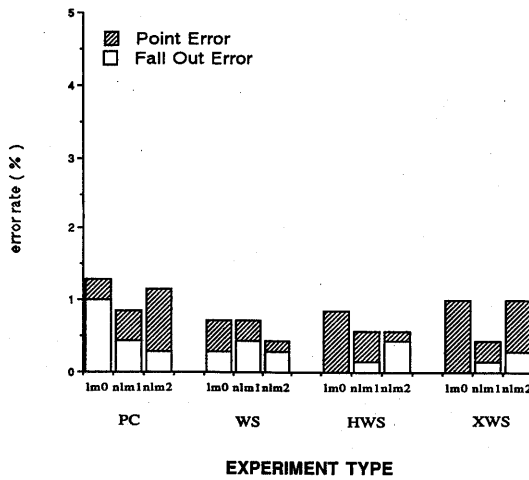


図6. 平均エラー発生率

に用いたマウスのボタンの押しやすさ、あるいは目標が全く間を置かず連続して表示されることなどの影響による結果と考えられる。

4. あとがき

本報告では、画面解像度の違いによるポイント効率への影響を、これまでに提案したいくつかのポイント手法について比較を行った。

その結果、

- 1) 高解像度ディスプレイにおいて、非リニアマウスは目標の選択に要する時間を短縮するという点で有効であ

り、その傾向は画面解像度が上るにつれて顕著になって現れる、

- 2) 非リニアマウスによる移動量の削減効果は、画面解像度によらず同じ割合で得られる、
ことなどがわかった。

すなわち、高解像度ディスプレイにおいては、マウス本体の移動速度に応じてカーソルの移動量を非線形に変化させる非リニアマウスの手法によって、ポイント時間の短縮、作業領域の削減などのポイント効率の向上が得られるということが言える。

今後は、実験データをもとに、画面解像度やマウスの分解能、マウスパッドの大きさなどを因子として、非リニアの割合を定式化することを考えている。

謝辞

快く、被験者を引き受けていただいた当研究室諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] S.K.Card, W.K.English and B.J.Burr: "Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys and textkeys for text selection on a CRT", *Ergonomics*, 21,8,pp.601-613 (August 1978).
- [2] D.Whitfield, R.G.Ball and J.M.Bird: "Some comparisons of on-display and off-display touch input devices for interaction with computer generated displays", *Ergonomics*, 26, 11, pp.1033-1053 (November 1983).
- [3] S.K.Card, T.P.Moran and A.Newell: "The keystroke-level model user performance time with interactive system", *Communications of the ACM*, 23, 7,pp.396-410 (July 1980).
- [4] K.B.Gaylin: "How are windows used? Some notes on creating an empirically-based windowing benchmark task", *Proceedings CHI'86*, pp.96-100 (April 1986).
- [5] J.Whitehead, S.Jones, P.S.Levy and D.Wixon: "User performance with command, menu and iconic interface", *Proceedings CHI'85*, pp.185-191 (April 1985).

- [6] S.K.Card, M.Pavel and J.E.Farrell: "Window-based computer dialogues", Proceedings of Interact '84: First IFIP Conference on Human - Computer Interaction, (1984).
- [7] 吉田,田村: "マウス操作に関する基礎研究", 2nd Symposium on Human Interface, 1211, pp.71-74 (October 1986).
- [8] 武藤,田村: "マウス感度の切換法の提案と選択時間の解析", 2nd Symposium on Human Interface, 1212, pp.75-80 (October 1986).
- [9] 竹村,辻野,荒木,都倉: "ポイント手法の評価について", 信学論(D), J70-D, 7, pp.1265-1274 (July 1987).
- [10] 竹村,西中,辻野,荒木,都倉: "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 (December 1987).
- [11] 西中,竹村,辻野,荒木,都倉: "目標間距離と選択時間に関するポイント手法の評価", 情報処理学会第35回全国大会論文集, 4W-8 (September 1987).
- [12] 西中,辻野,都倉: "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 (December 1988).