

ポイント効率改善のためのソフトウェア手法について

竹村治雄 西中芳幸 辻野嘉宏 荒木俊郎 都倉信樹

大阪大学 基礎工学部

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み合わせ（ポイント手法）が，ポイント作業に必要な時間，机上の作業領域，エラー率などのポイント効率に影響を与えることが報告されている．本報告では，マウスを用いたポイントに必要な机上の作業領域を削減する手法及び，200×200程度の分解能をもつタッチパネルでのエラー率を改善するポイント手法を提案している．そして，それぞれの手法の評価実験を行い，実験結果について論じている．その結果，提案したそれぞれの手法が，マウスの作業領域の減少や，タッチパネルのエラー率改善に有効であり，ポイント時間も従来の手法とほぼ同等であることが示された．

Pointing Methods to Improve the Efficiency of Pointing Devices

Haruo TAKEMURA Yoshiyuki NISHINAKA Yoshihiro TSUJINO
Toshiro ARAKI Nobuki TOKURA

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

It is reported in our former paper that the pointing method - a combination of a pointing device and its controll software, affects the pointing efficiency - both time required for the pointing and error rate. In this paper, we propose new pointing methods aimed to reduce desk-top workspace of a mouse and methods aimed to decrease pointing errors of a middle resolution off-display touch panel. With the result of experiments to compare the methods with traditional ones, it is concluded that the methods are effective enough to achieve their purpose without loss of other aspects of pointing efficiency.

1. まえがき

最近、計算機と利用者の効率的な対話の実現のために、各種のポイント装置に関する研究が行われ[1,2,3]、その利用が提案されている。実際、マウスなどの装置を用いたユーザインタフェースを持つシステムが、広汎に利用されつつある。

筆者らは、マウス、タッチパネル、カーソルキーの3種類のポイント装置について、それぞれの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み合わせ(ポイント手法)を考え、各種法のメニュー、アイコン、テキスト中の語の3種類のモデルでのポイント効率を実験に実験を行い比較した[4]。その結果、

- 1) 同一のポイント装置を用いても、ソフトウェア手法によってポイント効率に変化し、
- 2) マウスの机上の作業領域を低減させる手法として、非リニアマウスの手法が有効なこと、
- 3) 200×200程度の解像度のタッチパネルでは、パネル面をVDT画面上の絶対位置に対応させたポイント手法ではテキスト中の語を選択するモデルでエラー率がマウスに比べて高いことなどを報告した。

本節では、文献[4]の研究を進め、

- 1) グラフィック画面での座標入力などの、より細かいポイントモデルでの非リニアマウスの有効性を検証するために行った実験と、
- 2) タッチパネルでのエラー率低減のために、新たに数種類のポイント手法について行った実験それぞれについて述べ、実験結果についての考察を行なった。

以下、2節で非リニアマウスのグラフィックモデルでの実験と結果について、3節でタッチパネルのエラー率改善手法と実験および結果について、4節では実験結果を基にした考察についてそれぞれ述べる。

2. マウスのグラフィックモデルでの実験

2.1 リニアマウスと非リニアマウス

マウスを用いたポイント手法として実験を行ったのは、文献[4]と同様の3手法と新たに実験に加えた1手法の合計4手法である。これらを以下に示す。

- 1) リニアマウス
- 2) 非リニアマウス1
- 3) 非リニアマウス2
- 4) 非リニアマウス3(今回新たに実験した手法)

1) のリニアマウスは、マウスより得られるマウスの縦方向及び横方向の移動量に直線的に比例して、画面上のマウスカーソルを移動させる方法であり、一般的にマウスに

よるポイントで用いられている手法である。リニアマウスはポイントを行うためにマウスを移動させる充分なスペースが必要である。例えば、分解能0.25mm/ドットのマウスを用いて640×400ドットで構成されるVDT上を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160mm×100mmの領域が必要である。実際にはマウスの大きさ、マウスと移動面とのスリップによる分解能の低下などの影響でさらに広い領域が必要である。

2) 及び3) の非リニアマウスは、マウスの移動速度によっ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である。マウスをゆっくり移動させた場合には、リニアマウスと同様にマウスカーソルが移動する。マウスを速く移動させた場合には、非リニアマウス1はマウスの移動量にたいして最高2倍のマウスカーソルの移動を行い、非リニアマウス2は最高3倍の移動を行う。従って、マウスカーソルの最小移動量はリニアマウスと同じであるが、マウスを高速で移動させることでリニアマウスより少ないマウスの移動量で目標をポイントでき、リニアマウスがポイントのために机上に広いスペースを必要とする欠点を補い、さらに実際のマウスの移動量を少なくすることでポイント時間を短くすることを狙ったものである。

4) の非リニアマウス3はマウスの移動が遅い場合には、マウスカーソルを通常の半分の移動量で移動させ、また速く移動させた場合には最高4倍程度の移動量で移動をする。これは、マウスによるポイントの際の目標近傍での位置決めを正確さを狙ったものである。

非リニアマウスの実現手法としては、一定間隔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変換表をひいて決定する方法を用いた。非リニアマウス1、2および3に用いた変換表を表1に示す。

表1. マウス移動量換算表

マウス移動量 (ドット)	非リニアマウスカーソル移動量 1	2	3
1	1	1	1/2
2	2	2	1
3	3	3	2
4	5	5	3
5	8	8	4
6	12	12	5
7	14	16	7
8	16	20	9
9	18	27	12

実験には、3種類の手法とも分解能0.25mm/ピクセルのメカニカルマウスを用いた。

ポイント後の位置決定のための動作は、3種類のマウスともマウス上のボタン（マウスボタン）を押すこととした。

2.2 実験方法

実験は、被験者が640×400ドットの解像度をもつVDT画面上に順次表示される目標を各ポイント手法のマウスを用いてポイントしてゆき、この間のポイントに必要な時間を測定することで行った。目標及びマウスカーソルの形状を図1に示す。目標の大きさは1ドットであるが、画面上で容易に認識できかつポイントの正確さを増すために十字の飾りを付加した。またマウスカーソルも十字状とし目標とは異なる色で画面に表示した。さらに、マウスカーソルと目標が重なった場合は、赤色でその部分を表示した。これらは、目標の大きさ3ドット×3ドットでの予備実験を行った結果をもとに決定した事項である。予備実験で用いた目標の形状は本実験のものとはほぼ同じであったが、マウスカーソルの形状は本実験とは異なり矢印状のものを用いた。その結果、マウスカーソルのどの部分が目標を指していれば良いのかが判りにくく、結果的にポイントエラーが非常に多くなった。

実験は、パーソナルコンピュータを用いた実験システムを用いて行った。実験システムの概要を図2に示す。システムは、ポイントモデルに対応する画面をVDT上に表示し、各ポイント手法によるポイントを被験者が行う際に、次の項目を測定し記録する。

- 1) 目標が表示されてから被験者がカーソルを目標まで移動させるのにかかった時間（移動時間）。
- 2) カーソルが目標まで移動してから位置確定のための動作

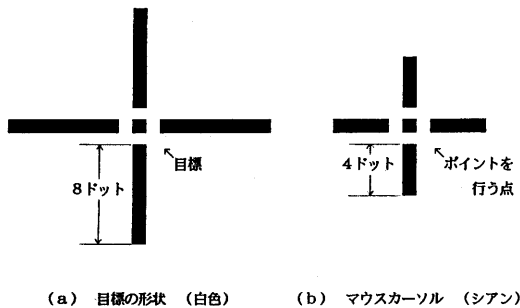


図1. 実験に用いた目標とマウスカーソル

を行ってポイントを終了するまでの時間（確定時間）。

- 3) 正しく目標がポイントされたかどうかの判断。
- 4) 実際に目標をポイントした時のカーソルの位置。
- 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。
- 9) エラー（正しくない目標を選択した）回数
- 10) フォールアウトエラー（一度正しい目標をポイントしたが最終的に誤った目標を選択してしまった）回数。

ポイント時間は、移動時間+確定時間で求められる。4)はエラーの分析を行うためのデータである。5)は机上のマウスの位置に対応したデータである。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。時間の測定にはパーソナルコンピュータに内蔵のタイマを用いて、20ミリ秒単位の測定を行った。

また、実験者の負担を軽減するため、1)一連の実験が、あらかじめ設定されたパラメータデータをもとに自動的に実行できるようにする。2)被験者への説明をVDT画面への説明文の表示と音声によりシステムが自動的に行うなどの工夫をした。

2.3 被験者

被験者は、本学科の学生6人である。各被験者は、4手法すべてについて実験を行った。

実験の手順を以下に示す。

- 1) それぞれのポイント手法について口頭での説明を被験者に行う。
- 2) 実験システムは、最初に実験を行うポイント手法と目標数についての簡単な説明を画面表示と音声で行う。

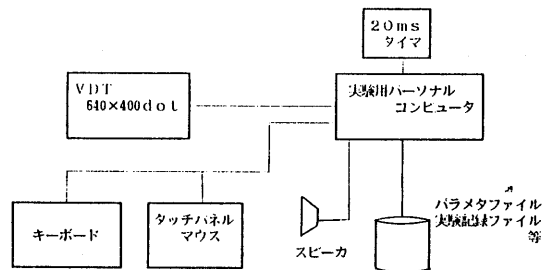


図2. 実験システムの構成

3) 次に被験者がキーボード上のスペースキーを押すことでポイントモデル(本実験ではグラフィックモデル)に対応した画面が表示され、連続して10回のポイント動作を行う。

4) 小休止をとりながら、3)の動作を10回繰り返すことで、100回のポイント動作を行う。

5) 実験を終了する。

被験者が10回のポイント毎に小休止をと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おさえるためである。また被験者には正確さを損なわない範囲でできるだけ手早く目標をポイントするように指示をおこなった。

ポイントすべき目標は、あらかじめ疑似乱数を用いて生成された目標列を用いて表示された。また各ポイント手法の実験の前に練習のための時間を設けて、被験者に、実際にマウスを使用してもらった。

被験者6人は、マウスによるポイントに関する知識を持っているが、日常的にマウスを利用していない。ただし、6人中1人は比較的良好にマウスを利用していた。

実験は、実験を行うポイント手法の順番による影響を考慮して、6人の被験者にそれぞれ異なる順序で実験を行った。具体的には、リニアマウス、非リニアマウス1、非リニアマウス2の3手法の順列6通りをそれぞれの被験者に割り当てた。ただし、被験者数などの都合により、非リニアマウス3のみは、各被験者とも一番最後に実験を行った。

2. 4 実験結果

ポイント時間の平均値を図3に、エラー率の平均値を図4にそれぞれ示す。マウスモーションカウンタの絶対値の累積データを図5に示す。

3. タッチパネルによる実験

3. 1 タッチパネルを用いたポイント手法

タッチパネル装置は、分解能200×200程度、パネル有効面の大きさ81mm×109mm、検出方式が面抵抗座標分割方式のものを用いた。

実験を行ったポイント手法はつぎの4種類である。

1) 絶対位置指定+相対調節方式(絶対相対)

タッチパネル上の点をペン状の先端が尖った棒(指示棒)を用いて触れることでその絶対位置に対応した画面上にカーソルが移動する。ついで、パネル面に指示棒を接触させたまま移動させることで接触点の移動に応じてカーソルが1ドット単位で移動する。ポイント中に指示棒をパネル面から離れた場合は、次にパネル面に触れるまではカーソルは移動しない。位置確定は装置の左上にあるボタンを押す

ことにより行う。

2) 相対移動方式リニア(相対リニア)

カーソルは常に表示されており、指示棒でパネル面に触れている位置が移動することで指示棒の移動量に応じて1ドット単位でカーソルが移動する。パネル面から指示棒が離れている時はカーソルは移動しない。

3) 相対移動方式非リニア1(相対非リニア1)

4) 相対移動方式非リニア2(相対非リニア2)

2)と同様に指示棒がパネル面に触れている位置の相対的な移動量をもとにカーソルを移動させる方法であるが、接触点の移動速度によってカーソルの移動量を最高接触点

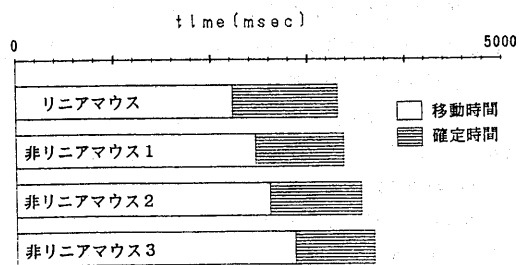


図3. マウス平均ポイント時間

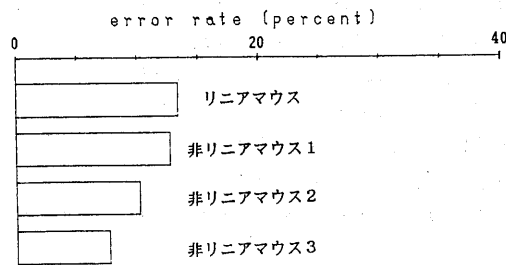


図4. マウス平均エラー率

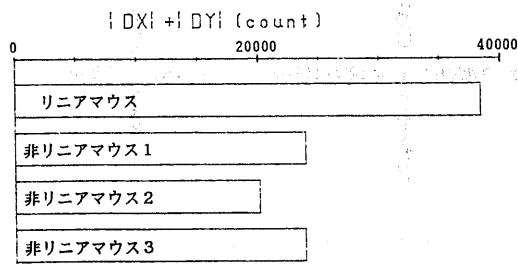


図5. マウス移動量

の移動量の3)で2倍, 4)で3倍にそれぞれ変化させる手法である。相対移動方式でも位置確定のための動作はパネル装置左上のボタンを押すこととした。

1)はパネル面から指示棒を離し絶対位置指定を行うことで素早く目標近傍へカーソルを移動することができる。また、目標近傍での位置の微調節はタッチパネルの分解能に左右されることなく、画面上の1ドット単位で行うことが可能である。2)から4)もカーソルが接触点の相対的な移動をもとに移動するために1)と同様にタッチパネルの分解能に左右されることなく1ドット単位のカーソル移動が可能である。しかし、カーソルを大きく移動させる場合には指示棒でパネル面を同一方向へ何度かこするような操作が必要である。3)及び4)では指示棒を素早く動かすことでカーソルを大きく動かすことができるため、2)よりは少ない操作でポイントが可能である。

実験を行ったポイントモデルは、文献[4]と同様につきの3つを用いた。

1) メニュー選択モデル

画面上に、横4列縦4行(4×4)に目標を配置したモデル。

2) アイコン選択モデル

画面上に、横10列縦12行(10×12)に目標を配置したモデル。

3) 語選択モデル

画面上に、横16列縦24行(16×24)に目標を配置したモデル。

各モデルの画面表示では選択できる目標の中央部に3桁の数字が表示され、隣接する目標との境界が線により示されている。境界の線引は、マウス及びタッチパネルによりポイントで目標がポイントされる為にカーソルが存在すべき範囲を明示するためである。各モデルでポイントすべき目標は3桁の数字の反転点滅表示により示した。アイコン選択モデルでの画面表示を図6に示す。

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6. アイコン選択モデル

3. 2 実験方法

実験手順はマウスの場合と同様であるが、パネル面での指示棒の移動量を示すデータとして接触点の縦及び横方向の移動量の累積値を各相対移動方式で測定した。

3. 3 被験者

被験者数は絶対相対方式が6人、相対移動方式3種類では5人である。絶対相対方式のみを行った1人を除いては同一の被験者がすべてのポイント手法とポイントモデルの組み合わせで実験を行った。各被験者ともタッチパネルを用いたポイントの経験は有していなかった。

3. 4 実験結果

平均ポイント時間を図7、平均エラー率を図8に、相対方式での接触点の平均移動量を図9にそれぞれ示す。図中には、比較のために文献[4]での指示棒による絶対ポイント方式でのデータを記入した。

4. 考察

本節では実験の結果をもとにそれぞれのポイント手法について考察を行う。

4. 1 マウス

ポイント時間に関しては、全被験者のデータを平均した

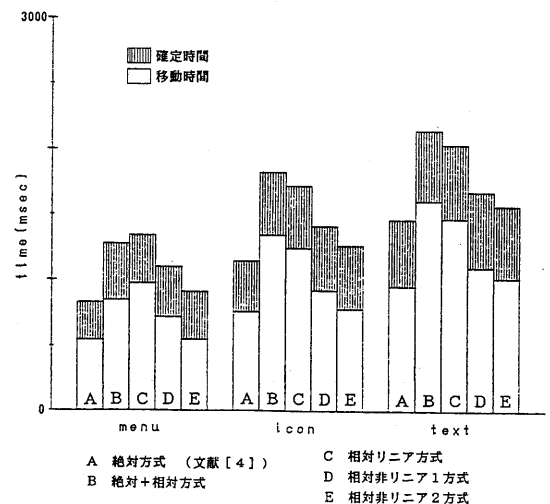


図7. タッチパネル平均ポイント時間

結果では、リニアマウスが最も速く、非リニアマウス1, 非リニアマウス2, 非リニアマウス3の順であった。リニアマウスと非リニアマウス1の差は僅かであり100ミリ秒以内であった。各被験者間では若干の個人差が見られ、被験者6人中リニアマウスで最も速くポイントできたものが4人、非リニアマウス1で最も速くポイントできたものが2人であった。また、6人中5人は非リニアマウス3がポイントに最も多くの時間を要した。いずれの手法も文献[4]で実験を行った、メニュー、アイコン、テキストの3モデルでのポイントより多くの時間をポイントに要している。これは、目標が非常に小さくなったための影響と考えられる。

つぎに、エラー率に関しては、全被験者データの平均では、非リニアマウス3が最も低く7.7%のエラー率であり、ほかの3手法は10%から13.3%のエラー率となった。実際には、6人中4人は非リニアマウス3が、残りの2人はそれぞれ非リニアマウス1と非リニアマウス2が最も低いエラー率を示した。この結果からは、非リニアマウス3で用いた、マウスが低速で移動する場合にマウスカーソルの移動量を半減させる手法は、エラー率の低減にある程度有効であることが考えられる。

マウスの移動量を示すマウスモーションカウンタの絶対値の累積値は、リニアマウスが最も大きく、非リニアマウス1, 非リニアマウス2の順に減少し、非リニアマウス3

では非リニアマウス1とほぼ同じ値がえられた。リニアマウスでの値を1としたとき、非リニアマウス1, 2, 3はそれぞれ0.62, 0.52, 0.62であった。非リニアマウス1, 2がそれぞれリニアマウスの最高2倍, 3倍のマウスカーソルの移動ができることを考えるとほぼ目的どおりの移動量削減効果が得られたと考えられる。しかし、文献[4]での3モデルでの削減効果よりはやや少ない効果である。これは、グラフィックモデルでのポイントのほうが、微調節のために目標近傍でマウスを低速で移動させる操作の割合が多いことによるものと考えられる。

本グラフィックモデルでの実験で、全ポイント手法を通じて比較的ポイント時間が長く、エラー率が高いのは、次の2つの理由によるものと考えられる。

- 1) 画面上の目標が1ドットの大きさであるため、近傍での位置の微調整が困難である。
- 2) マウスを非リニアマウス3以外の手法では0.25mm, 非リニアマウス3でも0.5mm移動させるだけでマウスカーソルが移動してしまい、一度合わせたマウスカーソルがマウスボタンを押す際に移動してしまう。

このうちポイント時間を増加させる要因としては1)が主要な要因であることが考えられる。また実際、実験後に被験者から得た感想及びエラーの大部分がフォールアウトエラーであったことからエラー率を増加させるのは2)が主たる要因であることが考えられる。

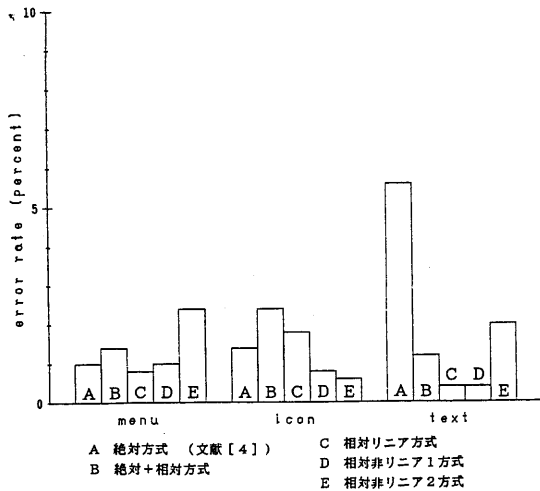


図8. タッチパネル平均エラー率

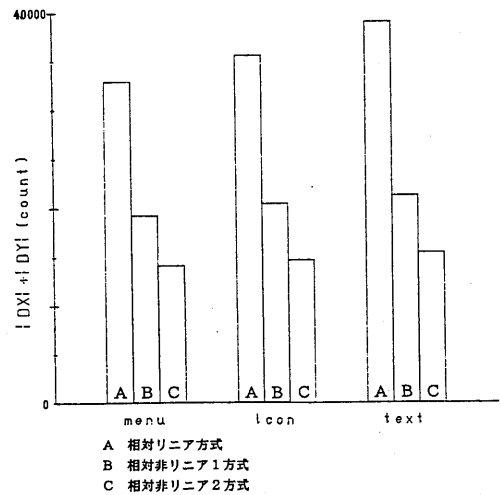


図9. タッチパネルの接触点移動量

4. 2 タッチパネル

いずれの方式も平均ポイント時間は文献 [4] での絶対方式によるポイント時間より大きかった。実験を行った4手法のうちでは、相対非リニア2方式によるポイントが最も短時間で行えており、絶対方式とのポイント時間の差は100ミリ秒程度である。この傾向は全被験者に共通しており、相対方式のタッチパネルの実験を行った5人の被験者のうち、1人がテキスト選択モデルで非リニア1で最も単時間でポイントを行ったほかは、全ポイント手法とモデルの組み合わせで相対非リニア2方式が最短時間でポイントを行えている。

エラー率に関しては、いずれの手法も2%程度以下のエラー率であった。この結果を、絶対方式でのエラー率と比較すると、メニュー及びアイコン選択モデルではほぼ同等である。テキスト選択モデルでは、絶対方式が5%以上のエラー率を示しているのに対して、今回実験を行った手法は最もエラー率の高い手法でも2%であり、目標数の増加するポイントモデルでのエラー率低減効果が得られたと考えられる。

また、相対移動方式による3手法を比較すると、非リニア方式のほうが短い時間でポイントを行えている。この結果は、非リニアマウスがリニアマウスと比してポイント時間が増加する傾向にあるのとは対照的である。このような傾向が生じる原因としては、

1) タッチパネルでのリニア方式では、カーソルを大きく移動させる場合に指示棒を何度もパネル面で同一方向に移動させなければならないのに対して、非リニア方式特に非リニア2では、一度すばやく移動させることでほとんどの場合でポイントが可能であること、

2) 指示棒自体の重量がマウスに比べて軽く、素早く動かしたり止めたりすることがマウスより容易に行えるため非リニア方式の特性を生かし易いこと、

などが考えられる。逆にこの結果から、実際にマウスのための作業領域を制限した状態でマウスのポイント効率を調べた場合、非リニアマウスがリニアマウスより良いポイント効率を持つ可能性があると考えられる。マウスのための作業領域が制限される例として、光学式マウスのような専用のマウスパッドを必要とするマウスを用いて、マウスパッドにより得られる解像度を超える解像度を必要とするポイントモデルのポイントを行う場合がある。また、本実験で用いたマウスの重量は160グラムであったが、これより軽いマウスを用いることで、非リニアマウスのポイント効率をさらに改善できる可能性もあると考えられる。

最後に、相対方式のポイントはタッチパネル自体の分解

能より細かいモデルでもポイントが可能であるので、このような場合でのポイント効率の評価を行うことが、より広い分野でのタッチパネルの利用を考える上で重要である。

5. むすび

本報告での実験によって、

1) グラフィック座標のポイントのような、より細かいポイントにおいても非リニアマウス1を用いた手法が従来のリニアマウスによるポイントより机上の作業領域の低減には有効であり、ポイント時間もほぼ同等であること、

2) 相対非リニア2方式のタッチパネルがエラー率を改善しつつ従来のタッチパネルと同等のポイント時間を持つことが示された。

今後は、タッチパネルのような比較的低い分解能をもつポイント装置で分解能を超える解像度をもつポイントモデルのポイントを行う場合のポイント効率、作業領域が制限された状態でのマウスのポイント効率などについても調べる予定である。

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) Card, S.K., English, W.K., and Burr, B.J.: "Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystic, step keys and text keys for text selection on a CRT", *Ergonomics*, 21, 8, pp.601-613 (August 1978).
- (2) Whitfield, D., Ball, R.G., Bird, J.M.: "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) Card, S.K., Moran, T.P., Newell, A.: "The keystroke-level model for user performance time with interactive systems", *Communications of the ACM*, 23, 7, pp.396-410 (July 1980).
- (4) 竹村, 辻野, 荒木, 都倉: "ポイント手法についての評価", 情報処理学会ソフトウェア工学研究会資料, SW50-7(昭61-09).

資料

マウスの平均ポイント時間（単位ミリ秒）

	移動時間	ポイント時間	エラー率(%)
リニアマウス	2230	3320	13.3
非リニアマウス1	2460	3370	12.7
非リニアマウス2	2610	3550	10.2
非リニアマウス3	2860	3680	7.7

タッチパネルでの平均ポイント時間（単位ミリ秒）

	MENU	ICON	TEXT
絶対方式	840	1150	1450
絶対+相対	1280	1830	2150
相対リニア	1340	1730	2040
相対非リニア1	1100	1410	1680
相対非リニア2	920	1270	1570

タッチパネルでの平均エラー率（%）

	MENU	ICON	TEXT
絶対方式	1.0	1.3	5.7
絶対+相対	1.3	2.3	1.2
相対リニア	0.8	1.8	0.4
相対非リニア1	1.0	0.8	0.4
相対非リニア2	2.4	0.6	2.0