

マウス操作モデル—移動速度と方向の影響

坂本忠明 佐藤知弘 今宮淳美
山梨大学 電子情報工学科
〒400 甲府市武田4-3-11

本論文では、マウス操作の実験から得たデータにより、コンピュータの反応（CD比）の違いと、移動方向の違いの各々の分析から、次の操作時間の予測式を得た。

$$MT = \{ a | \log_2(\text{CD-ratio}) | + b \} \log_2(D/S+0.5) + c$$

Mouse operation model - Influence of CD-ratio and direction

Sakamoto Tadaaki Satoh Tihiro Imamiya Atsumi

Department of Electrical Engineering and Computer Science
Yamanashi University

4-3-11 Takeda, Kofu, Yamanashi 400, Japan

Two refinements to improve the theoretical and empirical accuracy of Fitt's law are presented refinements are as follows;

1. the effect of C/D ratio of a mouse on the index of performance, and
2. the effect of move directions of a mouse on the law.

finally, we propose the refined the prediction model included the two factors as follows:

$$MT = \{ a | \log_2(\text{CD-ratio}) | + b \} \log_2(D/S+0.5) + c$$

1. はじめに

近年コンピュータは、専門家から一般ユーザにまで幅広く利用されている。これにともない、人間とコンピュータを結合するさまざまなユーザインタフェースが開発されてきた[1]。

マウスは、入力した座標をディスプレイ上の座標に変換することで、高速高精度なポインティング操作をユーザに提供した。その利用は初心者ユーザを中心に、今後も更に拡大していくと思われる[2],[3]。

ユーザインタフェースの研究において、マウスの操作性の分析は、操作時間の高速化、ポインティングの正確性、学習時間の短縮化、主観的満足度の向上から議論されてきた。こうした中で、1978年、目標物(ターゲット)までの人間の手の移動時間を予測するFitts's Lawがマウスの操作時間予測に適用され[4]、それ以後さまざまなユーザ操作モデルが考案されている。このモデルではターゲットまでの距離とその幅の2つのパラメータで移動時間を予測する[5],[6]。しかし、ユーザのコンピュータの使用状況を考慮すると、他にもパラメータがあると考ええる。

本論文では、CD比および移動方向の2要因に注目し、これがマウスの操作時間にどう影響するかを実験分析した結果を検討する。特にFitts's Lawとの関連を検討し、その操作モデルの拡張を述べる。

2. 研究背景

CD比および移動方向とマウスの操作時間を検討するにあたり、これまでに報告されてきた研究成果と筆者らの研究視点を述べる。

2-1. 操作時間に基づくマウスの分析

マウスの操作性は、主に操作時間から分析されている。その分析の多くは、1954年に認知科学分野において発表されたFitts's Lawを利用している。

Fitts's Lawは、人間がターゲットに手を移動する時間Tを、ターゲットまでの距離Dとターゲットの幅Sで予測する。

$$T = a + b \log_2(2D/S)$$

この \log_2 で展開される式は、ユーザが何回中

間目標をおくかの発生確率から得た情報量の検討から導かれている。中間目標が多ければ多いほどこの式の値は大きく、それはDとSの関係で決定されるのであるからタスク難度ID(Index of Difficulty)考える。

このタスク難度に注目し、マウス操作に適用した様々な実験分析を通して、マウス操作時間MTのタスク難度を修正した結果、

$$MT = a + b \log_2(D/S + 0.5)$$

が得られている。

一方、a,bは実験環境に左右される定数と考えられている。時間計測を厳密にするとか、統制および実験群としての被験者の訓練などにより強く影響を及ぼすと考えられている(表1)。

表1. マウスの操作時間の予測モデルの例

研究報告	発表予測式
Card et al., 1978	$T = 1030 + 96 \text{ ID}$
Epp, 1986	$T = 108 + 392 \text{ ID}$
Gillan et al., 1990	$T = 795 + 83 \text{ ID}$
Han et al., 1990	$T = 389 + 175 \text{ ID}$
Mackenzie et al., 1991	$T = -107 + 223 \text{ ID}$
Boritz et al., 1992	$T = 1320 + 430 \text{ ID}$

2-2. CD比

マウスの操作時間は、マウスの速度に比例すると予測される。その速度は、マウスの動きを画面上のカーソルの動きに変換するCD比によって決定される。この比はユーザのマウスとカーソルの移動量から、

$$\text{CD比} = \frac{\text{マウスの移動量}}{\text{カーソルの移動量}}$$

として表す。CD比の値が小さい場合、マウスの移動量がわずかでもカーソルの移動量は大きくなり、ユーザにとってはマウスの速度が速く感じられる。逆にこの比が大きいとその速度は遅く感じられる。

CD比を利用して現在の多くのシステムでは、非加速型マウス：CD比が常に一定で、カーソルの移動量が単位時間あたりのマウスの移動量に比例するのと、加速型マウス：CD比が単位時間あたりのマウスの移動量によって決定される。

2-3.移動方向

従来は水平もしくは垂直方向の移動だけに注目した、いわゆる1次元のタスクの予測式を導いている。最近、斜め方向(45°)を含めた2次元のタスクで展開する研究が目立ってきている。マウスがターゲット内にあるかを判定するには水平および垂直に区切った枠(ウィンドウ)を使っている。このマウスの枠内にあるかを判定するのに、従来の1次元タスクでは、ターゲットの幅に差が生じる。そこで移動方向を含めた検討が、よりの確かな予測式を導くとの考えから検討されはじめている。

2-4.本論文の視点

(1)操作時間に基づくマウスの分析

従来の研究では、距離と幅の2要因で操作時間を予測している。しかし、予測での適合性を高くするには、それ以外の要因も必要と考える。

(2)CD比

CD比の違いは、ユーザが体感するマウスの反応速度に大きく影響する。必然的に操作時間に強い影響を及ぼす。

(3)移動方向

マウスがターゲット内にあるかの判定は、ウィンドウを基準にしている。そのため、斜めなどの移動方向により、ターゲット幅の大きさが異なる。

以上の視点で筆者らは、先行研究で検討されていない2要因(CD比および移動方向)について、より厳密なマウスの操作時間を導こうと考える。

3. 実験

3-1.実験方法

計算機に十分なれた大学生10名を被験者に、5種類のCD比を割り振る。実験者は、各CD比ごとに被験者を設定し、それぞれの被験者にマウスを操作させた場合の実験システムのディスプレイ上のカーソルを制御させる。被験者はディスプレイ中央の円内部にカーソルを合わせてマウスボタンをクリックし、そのままの状態課題開始の合い図を待つ(図1,(i))。クリックの2秒後画面周辺が塗りつぶされる合図で、被験者は課題を開始し、ターゲットに向かってカーソ

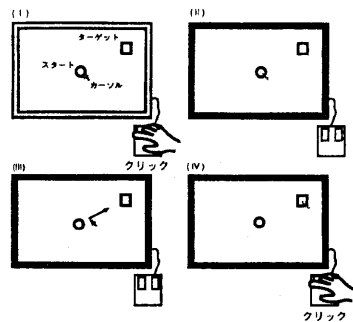


図1. 実験における課題の遂行手順

ルを移動し始める(図1,(ii)(iii))。カーソルがターゲットに到達した時点で、被験者は課題終了の合図としてマウスボタンをクリックする(図1,(iv))。

被験者は、1課題の終了後ディスプレイ上の異なる位置にターゲットが出現し、課題開始前の初期画面に戻ったことを確認した後に、再び中央の円内部にカーソルを合わせ開始合図を待つ。この動作を48課題すべてが終了し、画面がクリアされるまで繰り返す。

ただし被験者には、この時なるべく速く正確にカーソルを操作してターゲットを目指すよう指示する。また正確にクリックできなかった場合は円またはターゲットを再度クリックする。実験者はこの実験において、最初の課題開始合図から全課題終了合図まで、マウスが移動する度にその時刻と座標を、および被験者がクリックした時刻と座標を記録する。

3-2.実験システム

実験システムは、実験対象とするマウス、CD比、実験課題の設定に留意し、Windows 3.1上でBorland Cコンパイラを利用して構築した。

(1)マウス

マウスはX(左右)方向とY(上下)方向を示すカウンタで構成され、各カウンタの値をコンピュータに渡すことで、画面上の座標に変換する。その内部構造の違いから、機械式マウスと光学式マウスに分類できる。

本研究では機械式マウスを研究対象とする。これは、機械式マウスがユーザに広く利用されている点と、光学式マウスでは反射プレートの

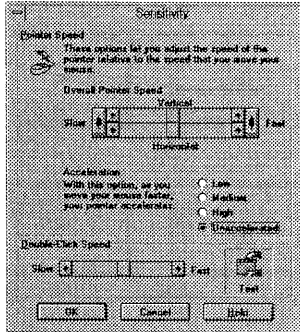


図2. Windows 3.1のマウスマネージャ

位置関係から被験者の操作性に変化が生じ、単純なCD比および移動方向とマウスの操作時間の関連が求められない点を考慮したためである。ただし、機械式マウスを使用する場合に問題となるボールの回転を妨げる対象については、各実験ごとに除去する。

(2)CD比の設定

実験では各被験者ごとにCD比の値を変化させる。CD比の設定はWindows 3.1のマウスマネージャを利用する。このマネージャは、CD比の値をスクロールバーによってSlowからFastまで20区間に分割された値の中から選択できる。

実験では非加速型(等速型)マウスを使用し、CD比はマウス操作に最適だと考えられる0.82、0.59、0.40、0.29、0.23の5つの値を使用する。

(3)実験課題の設定

各実験課題は方向、ターゲットの幅、ターゲットまでの距離によって決定する。

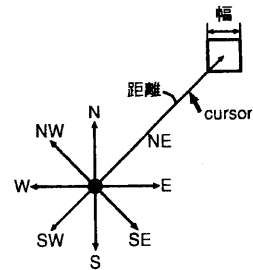
マウスの移動方向は、コンピュータの使用において、その利用頻度が高いと考えられる8方向(E、NE、N、NW、W、SW、S、SE方向)とする。またターゲットの形は正方形とし、その一辺(S:ターゲットの幅)はディスプレイ上の30、60、120ドットとする。同様にターゲットの距離Dも60、120、240ドットとする。

これらの変数から、D、Sの組合せによって実験課題に最適だと考えられる6課題を選定し、その課題を各方向分だけ用意する。したがって、全実験課題は48課題とする。

3-3.実験

(1)被験者と実験機器

被験者は、コンピュータの使用経験が4年以



D(距離)	S(幅)	$D = \log_2(D/S + 0.5)$ (タスク難度)
12	12	0.584963
6	3	1.321928
12	6	1.321928
12	3	2.169925
24	6	2.169925
24	3	3.087463

全実験課題数 = 8方向(E,NE,N,NW,W,SW,S,SE)
*6課題(D,Sの組合せ)
= 48課題

図3.実験課題

表2. 実験課題の割り当て

CD比	課題数	被験者
0.82	48	A,B
0.59	48	C,D
0.40	48	E,F
0.29	48	G,H
0.23	48	I,J

上の大学生10人である。

実験で使用するコンピュータは富士通社製のFM/V(CPU:DX4-100)で、ディスプレイは付属のカラーCRTディスプレイ(15インチ:1024×768ドット)を使用した。また入力に使用したマウスは付属の機械式マウスである。

(2)実験手順

実験は次の手順にしたがい実施した。

1)実験の説明

被験者に本研究の目的と研究の必要性を提示する。提示後、被験者の特徴およびコンピュータの使用頻度を調べるために、文献[8],[9]を参考に作成したアンケートを実施する(表3)。

2)操作方法の説明

被験者に実験システムの操作方法をシステ

表3. 実施アンケート(抜粋)

・あなたの利き手はどちらですか?
 (左,右,わからない)
 ・あなたのパソコンあるいはワークステーションに使い慣れていますか?
 (使い慣れている,普通,使い慣れていない)
 ・マウスの使用経験は何年ですか?
 年

△画面を見せながら説明する。

3)操作練習

被験者に操作方法を確認させるために10題の課題を遂行させる。

4)実験

本実験として被験者に48題の課題を遂行させる。

5)終了

4. 実験結果と考察

4-1.実験結果と分析方法

アンケートの結果、実験に参加した被験者はマウス使用経験を3年以上もつ、右利きの男性であった。

実験データから1度でターゲットに到達できなかったエラーデータを削除し、各CD比ごとに被験者データに差がないか検定した。その結果、CD比0.59、0.40、0.29についてデータに差がないことが確認できた。そこで、本研究ではこれらのデータを分析対象とした。

分析では、CD比および移動方向それぞれの要因が操作時間およびFitts's Lawに与える影響について調べた。さらにCD比と移動方向の両方の要因がFitts's Lawに与える影響について検討し、Fitts's Lawを拡張した。

4-2.平均操作時間の分析

(1)CD比と平均操作時間

CD比0.40および0.59の平均操作時間はほぼ一定であったが、0.29の場合にはタスク難度が増加すると操作時間が速くなった。

(2)移動方向と平均操作時間

タスク難度ごとに見た方向別の平均操作時間にはいくつかの特徴が見られたが、難度0.585におけるNW方向の変化は顕著であった。

表2. 実験課題の割り当て

CD比	課題数	被験者
0.82	48	A, B
0.59	48	C, D
0.40	48	E, F
0.29	48	G, H
0.23	48	I, J

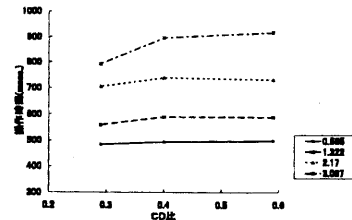


図4. タスク難度別のCD比と平均操作時間

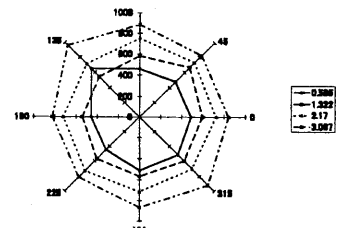


図5. タスク難度別の移動方向と平均操作時間

4-3.Fitts's Lawの分析

(1)CD比とFitts's Law

各CD比ごとにFitts's Lawを求めた。その結果を図6に示す。

ユーザのマウスの操作時間を考慮した場合、各予測モデルの切片の値はほぼ一定と考えられる。したがって、CD比の変化はFitts's Lawの傾きに影響を及ぼすと考えた。そこで、CD比の変化によるマウス操作時間予測モデルを次のように提案した。

$$T = 405.639 + (-36.760 | \log_2(CD比) | + 191.655) \log_2(D/S + 0.5)$$

($\Delta^2=9586.243$)

CD 比	予測モデル (msec.)	寄与率
0.59	$T = 393.269 + 164.224 ID$	0.634
0.40	$T = 417.226 + 141.844 ID$	0.553
0.29	$T = 406.423 + 126.673 ID$	0.590

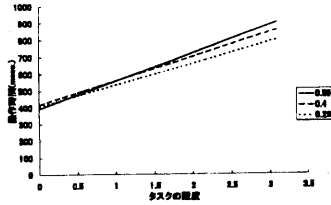


図 6. CD 比別の Fitts's Law

(3) 移動方向と Fitts's Law

移動方向ごとに Fitts's Law を求めたところ、図 7 に示すような式が求められた。それぞれの式から、移動方向の違いによるマウスの操作時間予測を、次の 4 種類の型に分類した。

(4) CD 比・移動方向と Fitts's Law

以上の結果から、CD 比および移動方向がマウスの操作時間予測に影響を及ぼすことがわかった。そこで、実験データを方向別に分類し各 CD 比ごとの Fitts's Law を求め、新たな予測モデルを構築した。

本研究では、E 方向における操作時間予測モデルを次のように提案する。

$$T = 404.816 + (-16.740 | \log(\text{CD 比}) | + 165.355) \log_2(D/S + 0.5) \\ (\Delta^2 = 9915.079)$$

5. おわりに

本論文では、マウスの操作時間予測に利用されてきた従来の Fitts's Law を、CD 比と移動方向という観点から拡張した。その結果、次の予測モデルを提案する。

$$T = a^* + (b^* | \log(\text{CD 比}) | + c^*) \log_2(D/S + 0.5) \\ (*は方向(E, NE, N, NW, W, SW, S, SE)を示す)$$

この提案した予測モデルは、様々な実験データへ適用することで検証できる。また、CD 比をさらに変化させ、マウスの操作時間との関連を調べることで、このモデルをさらに拡張することも可能である。

さらに、非加速型マウスと Fitts's Law の関連について示したが、今後は加速型マウスと Fitts's Law の関連についての分析する必要がある。

(例) E 方向

CD	予測モデル (msec.)	寄与率
0.59	$T = 441.648 + 143.073 ID$	0.590
0.40	$T = 399.465 + 164.291 ID$	0.623
0.29	$T = 373.334 + 123.934 ID$	0.661

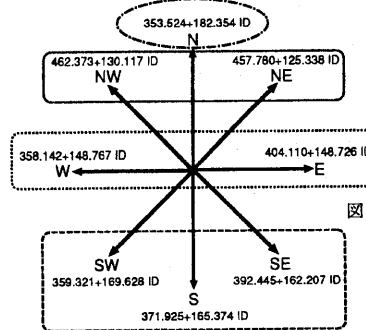


図 7. 移動方向別の Fitts's Law

[1] Shneiderman, B. 著, 東基衛, 井関治監 訳 :

ユーザインタフェースの設計 - 第2版 -, 日経マクロウヒル, 1992.

[2] 日経バイト 1996年 新年号 : 日経BP社, 1996.

[3] 吉田 真, 岡崎 哲夫, 河田 悦生, 管村 昇, 鉄谷信二, 戸井田 徹 : ヒューマンインタフェースのデザイン, 共立出版社, 1995.

[4] Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. : The Psychology of Human-Computer Interaction (pp.51-57, pp.229-243), L.E.A.Inc., 1983.

[5] Mackenzie, I. S. : Movement Time Prediction in Human-Computer Interfaces, Graphics Interface '92(pp.483-493), 1992.

[6] Douglas, S. A., Mithal, A. K. : The Effect of Reducing Homing Time on the Speed of a Finger-Controlled isometric Pointing Device, Human Factors in Computing Systems, Boston, Massachusetts, April 24-28, 1994.

[6] Mackenzie, I. S., Buxton, W. : EXTENDING FITT'S LAW TWO-DIMENSIONAL TASKS, 1992.

[7] S ラブラン, G. ジョンソン 著, 東基衛 監訳, 小松原明哲 訳 : ユーザインタフェースの実践的評価方法, 1995.

[8] Dumas, J S. Redish J C. : A PRACTICAL GUIDE TO USABILITY TESTING, ABLEX PUBLISHING CORPORATION.