

## 触力覚ディスプレイを内蔵したマウス型 インタフェース装置によるポインティング操作

赤松 幹之

生命工学工業技術研究所

操作者の指に触覚刺激および力覚刺激を与えることのできるマウス型インタフェース装置を用いて、ポインティング操作における触力覚の効果を、操作時間、カーソル停止時間、クリック時間およびクリック位置の分布中心からの距離などの指標により評価した。まず、通常のマウスを用いた場合と、触覚情報、それ以外の感覚情報の比較を行った。その結果、いずれの指標においても、触覚情報があるとこれらの操作に効果があることが分かった。

A Pointing Task Using Mouse-Type Interface device With Tactile and Force Display.

Motoyuki AKAMATSU

National Institute of Bioscience and Human-Technology

A mouse was modified to add tactile feedback via a solenoid-driven pin projecting through a hole in the left mouse button and to add force feedback via an electromagnet attached to the surface of the bottom of the mouse. An experiment using a target selection task under five different sensory feedback conditions showed significant differences in the cursor stop time, the clicking time and the spatial distribution of the clicking position. For these indices, tactile feedback was the most effective sensory information. It is argued that tactile feedback allows subjects to use a wider area of the target, to stop the cursor more quickly and to select targets more quickly once the cursor is inside the target.

## 1. はじめに

### 1. 1. 異種感覚の統合

人間には、視、聴、味、嗅、触の五感があるといわれるように、人間と外界（対象物）とのインタフェースには幾つかの感覚系が用いられている。日常生活をふり返ってみると分かるように、これらの感覚情報が単一で得られることはほとんどなく、複数の感覚情報が同時に得られていることが多い。

例えば、外見が石であっても、手で持ち上げてみてとても軽かったとすると石とは認識しないように、その対象を理解するときには、複数の感覚情報を統合している。さらに、単に受動的に受け取る感覚情報だけでなく、対象に対する働きかける時の運動も重要な役割を持っていると思われる。すなわち、能動的に対象にかかわることにより、必要な感覚情報を得たりすることで、対象をより正しく理解することが可能になると考えられる。

感覚統合機能を心理物理的に調べる研究は幾つか行われているが<sup>(1)</sup>、外界から複数の感覚モダリティ情報を得ることの効果を、心理物理実験で調べてみると、例えば、視覚情報と聴覚情報とが得られると音源の位置知覚の精度が高められたりする。また、視覚情報に触覚情報が加えられた時の効果を、形状のなぞり動作で調べてみると、触覚情報があると、なぞり運動の速度や加速度が大きくなるとともに、形状の角への注視回数が減少する<sup>(2)</sup>。このことは、複数の感覚モダリティがあると、動作が促進的になるとともに、ある一つの感覚情報処理への負担が減ることを示唆している。

### 1. 2. 感覚統合から見た計算機インタフェース

このように、我々人間と外界との間で構成されるインタフェースの特徴は、視覚・聴覚・触覚などの異種の感覚モダリティによる感覚情報が得られると共に、運動によって、対象に対し

て働きかけることができることにある。人間には、これらの種々の感覚情報と運動とを統合する機能すなわち感覚統合機能があり、それによって対象を深く認識し、対象に自由に働きかけることができるのである。これに対し、現在の計算機と人間とのインタフェースは、視覚に強く頼った形になっている。

最近、グラフィックユーザインタフェース（GUI）が一般に広がっているが、ここではユーザに理解しやすいグラフィック化した視覚表示を行っている。GUIにおけるインタフェース装置として、マウスが多く用いられているが、マウスによる操作では、カーソル位置の視覚的情報に加えて、手や腕から得られるマウスの動きの運動感覚的情報も得られる。この点からみると、VDTとキーボードだけで構成されているインタフェースよりも自然なインタフェースが構築されていると言える。GUIでは、様々な型をしたアイコンをマウスカーソルで“触れ”て、クリックする操作を多く行うが、これは視覚的に“触れ”ているだけで、触覚的に“触れ”ているのではない。そこで、我々は、マウス型装置を基に、触覚および力覚情報を呈示する装置を内蔵したインタフェース装置「マルチモーダルマウス」を開発した<sup>(3)</sup>。これによって、GUIにおいて、眼で“触れ”るだけでなく、指で対象を“触る”感覚を操作者に与えることのできるインタフェースが構築できるようになった。

人間-計算機インタフェースにおける触覚情報呈示については、仮想現実感・トレイグジスタンスの分野で幾つかの研究が行われてきている。仮想現実感における触覚情報呈示技術の場合、3次元を対象としているため、装置が複雑化・巨大化しがちで、応答速度も問題になりがちである。これに対し、マウス操作は2次元的な動きを対象としていることから、3次元的な触覚呈示装置に比べて、小型軽量の装置で触覚呈示を実現することが可能である。また、マウスはマウスケース内に機構を入れ込むことがで

きるため、外見上に違和感がなく、一般に受け入れられ易いと考えられる。そのため、触覚情報呈示を行うことのできるマウス型装置の研究が幾つか始められている。オーストリアの Penz は、マウスボタンの重さを変えることで、アイコンの印象を与えられるマウスの開発を行っており<sup>(6)</sup>、ドイツの Gobel は、振動刺激を用いて、カーソルとターゲットとの位置関係を伝えられる機構を開発している<sup>(8)</sup>。また、スイスのグループも未発表であるが、触覚情報が呈示できるマウスの研究を行っている。筆者らの開発したマルチモーダルマウスは、その機構上、ON-OFF 的な簡単な触覚情報しか呈示できないが、これによって、ポインティング操作における接触情報を、指でものに触れるというアナロジーに合った触覚という型で伝えることができるものである。

マルチモーダルマウスを用いたインタフェースの一例として、ターゲット（アイコン）にカーソルが到達した時に、触覚刺激が指先に与えられるようにすると、視覚と触覚とを用いて、カーソルのアイコンへの到達を確認することができる。しかし、カーソルのターゲットへの到達情報は必ずしも触覚で伝える必要はなく、聴覚や色の変化といった付加的な視覚情報などで構成されるマルチモーダルインタフェースでも伝達することができる。そこで、種々のマルチモーダル情報による効果を、一般的でかつ単純な計算機操作であるポインティング操作を用いて、異なる感覚情報（触覚・聴覚・視覚）の比較を行った結果を紹介し、触覚情報がポインティング操作において最も効果的であることを示す。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 実験装置

触覚情報および聴覚情報は「マルチモーダルマウス」を用いて呈示する<sup>(9)</sup>。この装置は、マウスの左ボタン先端部にあけられた穴から、1

×2mmのアルミニウム製のピンが突き出てくることで、そのボタンの上のせてある操作者の示指の腹に触覚刺激を与えられるものである（図1）。ピンは、マウスケース内にあるソレノイドとレバー機構を用いて駆動する。このピンの穴には、内側からゴム膜がはりつけてあり、ピンを押し戻すとともに、指へのピンの当たりを滑らかにしている。触覚呈示を行うピンのストロークは1mm、立ち上がりは時間は約4msecである。また、マルチモーダルマウスには、ケース内に電磁石が取り付けられており、これを用いて移動抵抗を変えることで、力覚情報を呈示することができる。電磁石の表面はマウスの底面にあり、このマウスを鉄板などの金属板の上で操作を行なっている時に電磁石に通電すれば、マウスの移動抵抗が増大する。マウスの移動抵抗は、操作者への力覚情報となる。

### 2. 2. 解析

タスクの結果は、マウスが動き始めてからクリックするまでの時間（全操作時間）だけでなく、カーソルがターゲットに入ってから止まるまでの時間、カーソルがターゲットに入ってからクリックするまでの時間を指標として求める。また、ターゲット内でクリックした位置を記録し、クリック位置の分布の中心位置（2次元分布の平均値）からの各クリック位置までの距離を求める。ターゲットの範囲外でボタンをクリックした場合にはエラーとする。

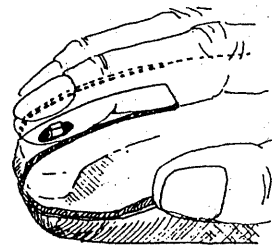


図1. マルチモーダルマウス。

### 3. 感覚モダリティ間の比較実験

#### 3. 1. 実験手順

実験では、できるだけ速くかつ正確に、カーソルをスタート地点からターゲット範囲まで動かす、ボタンをクリックする作業を被験者に行わせる。ターゲットは2つあり、ターゲットの大きさはいずれも  $21\text{pixel} \times 22\text{pixel}$  で、スタート地点からの距離は  $96.5\text{pixel}$  (ターゲット1) と  $186.5\text{pixel}$  (ターゲット2) である。スタート点からターゲットの方向は同じで、垂直線に対し時計回りに  $25^\circ$  の角度である。

触覚情報と比較するための聴覚情報は、VDT装置の右側面に付けられているスピーカから  $2\text{kHz}$  のピープ音を出すことで与える。また、視覚的情報は、ターゲットの色の輝度に変化することで与える。更に、これら3種の感覚情報が同時に呈示される場合についても調べる。これらの感覚情報は、カーソルがターゲット範囲に入っている間に呈示される。通常のマウス作業も含め、実験条件は、通常マウス・触覚・聴覚・視覚・全ての組み合わせ、の5条件とする。

実験は各感覚情報条件ごとに行う。一回の実験では2つのターゲットがランダムな手順で呈示され、各ターゲットごとに20回、合計40回の試行を行う。被験者は、日常の計算機作業

にマウスを用いている10名とする。

#### 3. 2. 結果と検討

##### (1) 全操作時間

全操作時間は、ターゲット間にのみ有意差が認められ ( $F_{1,9}=129.6, p<0.0001$ )、ターゲット1に対する全操作時間は平均  $583\text{msec}$  で、ターゲット2は平均  $747\text{msec}$  であった。5つの感覚モダリティの条件全体については有意な差はみられなかったが ( $F_{4,9}=0.63$ )、感覚モダリティ同志を比較する多重比較を行うと、ターゲット1の場合には、感覚情報なしと触覚情報がある場合とに有意差が認められた。値を比較すると、感覚情報なしの場合には  $625\text{msec}$  で (ターゲット1)、触覚情報がある場合には  $578\text{msec}$  で (ターゲット2)、感覚情報がある場合よりも約  $50\text{msec}$  長くなっていた (図2)。

##### (2) カーソル停止時間

再加速点からは、カーソルをターゲット内に入れ、カーソルを止めるとともにボタンを押す動作を行う。カーソルがターゲットの範囲内に入ってからカーソルが止まるまでの時間 (カーソル停止時間) を調べると、感覚情報間に有意差が認められた ( $F_{4,9}=4.29, p<0.01$ )。ターゲット1と2とを平均すると、感覚情報なしの場合に  $163.8\text{msec}$  であるのに対し、感覚情報がある場合には  $116 \sim 127\text{msec}$  であり、感覚情報がないと長い時間がかかっていることが分かる。多重比較を行うと、いずれの感覚モダリティも感覚情報がない場合に比べて、有意に時間が短くなっている。それぞれの感覚情報間ごとにみると、平均で視覚が  $116.7\text{msec}$ 、触覚が  $118.0\text{msec}$ 、聴覚が  $127.0\text{msec}$ 、全ての組み合わせが  $163.8\text{msec}$  であった (図3)。これらの感覚モダリティ同志の間には有意な違いはなかった。このことから、カーソルがターゲットに入ってから止める動作に、感覚情報の効果があり、触覚が最も効果があることが予測される。このことを確かめるために、再加速点後のマウスの動

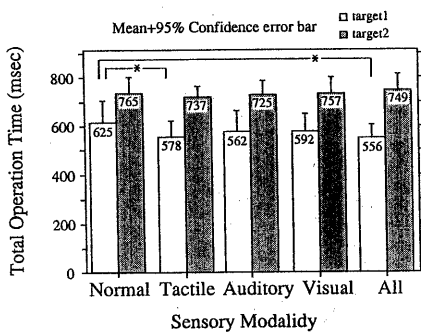


図2. 全操作時間の比較

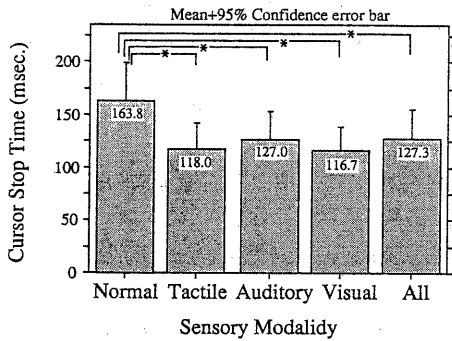


図3. カーソル停止時間の比較

きの最大減速度の平均を求めてみると、感覚情報がある場合には  $944 \sim 1081 \text{ pixel/sec}^2$  で、感覚情報がない場合の  $878 \text{ pixel/sec}^2$  に比べて、急に止まっていることが分かる。感覚情報間では触覚の場合の減速度が最大 ( $1081 \text{ pixel/sec}^2$ ) であった。

### (3) クリック時間の比較

ターゲット内に入ってから、ボタンを押すまでのクリック時間を調べると、感覚情報間に有意差 ( $F_{4,9}=4.12, p<0.01$ ) が認められた。平

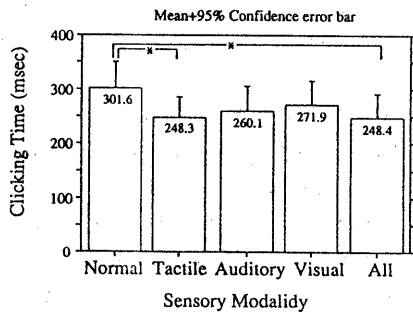


図4. クリック時間の比較

均値を求めると、全ての組み合わせでは  $248.4 \text{ msec}$ 、触覚が  $248.3 \text{ msec}$ 、聴覚が  $260.1 \text{ msec}$ 、視覚が  $271.9 \text{ msec}$  で、感覚情報なしでは  $301.6 \text{ msec}$  であった (図4)。多重比較を行うと、触覚情報がある場合と全ての組み合わせの場合が、感覚情報なしに対して、有意に時間が短かった。このことから、感覚情報があるとクリック時間が短くなり、その効果の大きさは、全ての組み合わせ・触・聴・視の順であることが分かった。

### (4) クリック位置の分布の比較

ターゲット範囲内でクリックした時のカーソルの位置の分布中心からそれぞれのクリック位置までの距離を求め、これを感覚情報間で比較すると、有意な違いが認められた ( $F_{4,9}=3.91, p<0.01$ )。平均値を比べると、全ての組み合わせが  $5.0 \text{ pixel}$ 、触覚が  $4.7 \text{ pixel}$ 、視覚が  $4.6 \text{ pixel}$ 、聴覚が  $4.3 \text{ pixel}$  で感覚情報なしの場合には  $4.2 \text{ pixel}$  であった (図5)。多重比較を行うと、感覚情報なしに比べて、全ての組み合わせの場合と触覚情報の場合が有意に距離が長かっ

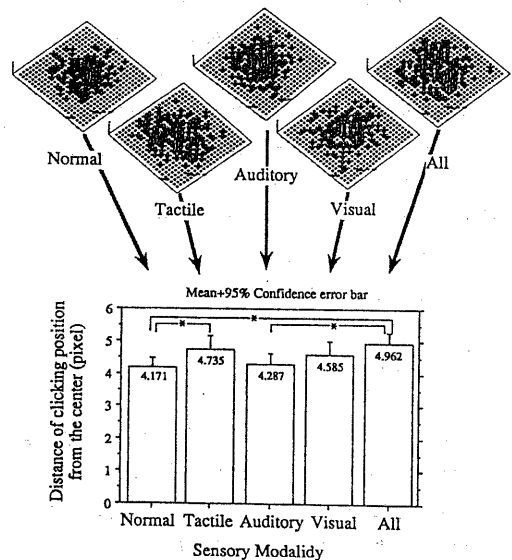


図5. クリック位置の分布の比較

た。また、全ての組み合わせの場合に対して、聴覚情報は有意に距離が小さかった。このことから、感覚情報がある場合には、ターゲット内のより広い範囲でクリックすることができ、その効果は、全ての組み合わせの次に触覚と視覚とが高いことが分かった。

#### (5) カーソル停止時間とクリック時間とクリック位置の関係

ポインティング操作は、カーソルをターゲット内に入れ、カーソルを止めて、マウスボタンを押す作業である。従って、クリック時間にカーソル停止時間が含まれ、また、カーソル停止時間とクリック位置の分布とは関係があることが想像される。そこで、これらの相関関係を調べると、いずれの間にも相関は認められなかった。

このことから、必ずしも、マウスを止めてから、クリック操作を開始しているのではなく、カーソルがターゲットに入るのを見計らって、マウスを止めることと並行してボタンをクリックしていると考えられる。前者は、最終的な位置決め停止動作で、後者はボタン押し反応動作であり、この2つはかなり独立して行われているといえる。カーソルのクリック位置はカーソル停止時間ともクリック時間とも相関関係はなく、クリック位置の分布は、操作の時間とは独立したものであるといえる。クリック位置の分布はターゲット範囲内をいかに有効に利用できるかを表しており、各試行ごとの操作時間等では説明できないものと考えられる。

#### 4. おわりに

付加した異なる感覚情報の内、マウス停止動作に効果が高かったのは、触覚情報と輝度変化の視覚情報であり、クリック動作に効果が高かったのは、触覚情報と聴覚情報であった。また、クリック位置の分布に効果があったのは、触覚と視覚情報であった。従って、この3つの指標

と共に効果的であったのは触覚情報であり、マウスによるポインティング操作において、触覚情報はcompatibleな付加情報であるといえる<sup>(9)</sup>。

#### 参考文献

- (1) 赤松：“視覚と触覚と運動の統合”，信学誌，76-11，1176-1182 (1993)
- (2) Akamatsu M.: “The influence of combined visual and tactile information on finger and eye movements during shape tracing”, *Ergonomics*, 35, 5/6, 647-660 (1992)
- (3) Akamatsu M. and Sato S.: “A multi-modal mouse with tactile and force feedback”, *Int. J. Human-Computer Studies*, 40, 443-453 (1994)
- (4) Penz F. and Kerstner W.: “The feelmouse”, *Abstract Book of WWDU'92*, P-22 (1992)
- (5) Gobel M., Springer J., Hedicke V. and Luczak H.: “Tactile feedback for computer-mouses”, *HCI International'93*にて発表，(1993)
- (6) Jeannerod M.: “Mechanisms of visuomotor coordination - a study in normal and brain-damaged subjects”, *Neuropsychologia*, 24, 41-78 (1986)
- (7) Akamatsu M., MacKenzie I.S. and Hasbroucq T.: “A comparison of tactile, auditory and visual feedback in a pointing task using a mouse-type device”, *Ergonomics*, (印刷中)
- (8) 赤松：“ポインティング操作におけるマルチモーダルインタフェースの効果”，*信学論D-I I*, J77-D-II, 1457-1464 (1994)
- (9) Wickens C.D., Sandry D.L. and Vidulich M.: “Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output”, *Human Factors*, 25, 227-248 (1983)