

# ポインティングデバイスにおける操作端把持力の情動的利用

佐藤 滋<sup>\*1</sup> 北島 宗雄<sup>\*1</sup> 福井 幸男<sup>\*2</sup>

## A Proposal of Informational Application of Operation Terminal Grasping Force for Remote Pointing Devices

### - Realtime Adaptive Gain Adjuster -

Sigeru Sato<sup>\*1</sup>, Muneo Kitajima<sup>\*1</sup> and Yukio Fukui<sup>\*2</sup>

**Abstract** - Grasping must be considered with its purpose. As J. R. Napier indicated, when the purposes differ, grasping styles are different from each other, although the grasped object is the same. This suggests a possibility of detecting operator's will from grasping. In remote pointing devices, there is relationship between the motion of operation terminal and that of the pointer. In usual, the gain of this relationship is not adaptive in operation even though it is adjustable before the operation. But this gain adjustment is a quite difficult function. According to Fitts' law, pointing tasks is easier when the target is larger and the distance is shorter. Large gain means the short distance and small target, small gain means, as opposite to above, long distance and large target. This paper proposes a realtime adaptive gain adjustment for an answer of this dilemma. And it is recommended that this adjustment be controlled by operator's grasping force of operation terminal to avoid increase of complexity of operation. For an example, a computer mouse with realtime adaptive Mickey ratio adjuster is considered.

**Keywords:** grasping force, mouse, Mickey ratio, Fitts' law

## 1. はじめに

把持を考えると、把持単体では意味を成さない。ものを持ち上げる、ものを動かす、手すり体重を支えるなど、把持には目的があり、人はその目的に即して把持をしていると考えられる。Napier は、同じ対象物を把持する場合であっても、目的により把持の形態が異なることを明らかにしている<sup>[1]</sup>。このことは、操作者の何らかの意図が反映された結果が把持に現れるということであり、特定の意図とそれに対応する把持との関係がわかれば、逆に把持の特徴を検出することから操作者の意図を抽出することのできる可能性を示唆するものである。すなわち、意図表現としての把持の検出、対象物に対する意図入力手段として把持を利用することの可能性が期待できる。表題の「把持力の情動的利用」とは、このことを指している。

本報ではこのような観点のもと、リモートポインティングデバイスでのポインティングタスクにおける、操作端の入力と動作端の出力との運動ゲインがタスクの容易性に及ぼす影響を概観し、タスクに容易性向上のために操作端の把持力を入力情報として利用した、リアルタイム

ムゲイン調節を提案する。具体的には、コンピュータマウスを例に取り上げて論ずる。

## 2. マウスでのポインティングタスク

ポインティングデバイスという点から見ると、コンピュータマウスは、広く普及しているリモートポインティングデバイス(の操作端)である。ポインティングタスクの容易性とタスクの所要時間との間には、所要時間の長いタスクは困難であり、所要時間の短いタスクは容易であるとの関係があると考えられる。ところで、Fitts の法則<sup>[2]</sup>によれば、ポインティングタスクの所要時間  $T$  は、ターゲットまでの移動距離  $D$  とターゲットの大きさ  $S$  とによって、次のように表される。

$$T = a + b \log_2(D/S + 1) \quad (1)$$

ただし、 $a$ 、 $b$  は定数である。

(1)式からわかるように、定性的に言えば  $D$  は小さいほど、また  $S$  は大きいほどタスクは短時間で達成でき、すなわち容易であるということになる。これは、大きなターゲットがあるときに容易であるということであり、もっともな傾向である。

ここで、操作端である実空間でのマウスの移動距離と動作端であるコンピュータの画面上でのカーソルの移動距離のゲインであるミッキー比に着目すると、ミッキー比はタスクの容易性に興味深い関係を有することがわか

\*1: 独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

\*2: 筑波大学

\*1: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

\*2: University of Tsukuba

る。すなわち、ミッキー比が大きければ、実空間でのマウスの移動距離に比べてカーソルの移動距離が大きい、言い換えればカーソル速度が速くなり、(1)式に当てはめればD、Sともに同程度に小さくなるのと同等な効果がある。逆にミッキー比が小さくなれば、D、Sともに同程度に大きくなるのと同等な効果がある。したがって、ミッキー比の調節でポインティングタスクの容易性を向上させることは一見あまり意味がない。

しかし、ポインティングタスク自体を仔細に検討すると、「カーソルをターゲットまで移動させること」と、「カーソルをターゲットに位置決めすること」という二つの段階があり、かつ前者は必ず後者に先立って行われるという関係にあることがわかる。そこで、本報では前者を「移動フェーズ」、後者を「位置決めフェーズ」と名づける。

このことを踏まえて再度(1)式を検討すると、DとSとは、D/Sなる比の形になってはいるが、両者の影響が効果を持つのは同時にではなく、Dは移動フェーズにおいて、またSは位置決めフェーズにおいて影響が大きいことに気づく。したがって、移動フェーズと位置決めフェーズとを何らかの方法で区別し、移動フェーズではミッキー比が大きいかつ位置決めフェーズではミッキー比が小さくなるようにリアルタイム調節すれば、Dが小さくSが大きくなるのと同等な効果が得られ、タスクの容易性が向上できる。

ただし、両フェーズにおけるミッキー比の切り替えを操作者が手動で行うのでは、ポインティングタスク中にミッキー比切り替えという新たなタスクを要求することになる。これではポインティングタスクの容易化という目的に逆効果であるから、フェーズの検出とミッキー比切り替えは、外部から容易に検出できるような操作者の行動的、生理的などのパラメータから自動的に行うことが望ましく、少なくとも「ミッキー比切り替えスイッチを操作する動作」を要するようなものであってはならない。

### 3. フェーズ検出の方法

画面上に呈示されているアイコンを選択してクリックするような場合であれば、ターゲットの位置はコンピュータに既知であるから、ターゲット周辺において特別な処理を行い、操作者にフィードバックすることはすでに行われている。「移動フェーズ」、「位置決めフェーズ」のようなフェーズ分けこそ明記されないまでも、カーソルがアイコンに重なったときに触覚刺激を呈示する方法<sup>[3]</sup>や、同じくミッキー比を小さくするよう設定すること<sup>[4]</sup>、操作端に抵抗力を与えて操作端が動きにくくすることにより力フィードバックを与えること<sup>[3,5]</sup>などが具体的に提案され、またそれぞれ効果があることが明らかにされ

ている。

しかし、図形の描画、文章の編集における任意の範囲選択などの多くの一般的な用途においては、ターゲット位置は操作者の意思の中にのみ存在し、コンピュータ側に既知でない。このため上記のような方法は適用できない。

ここで、本報では、操作者はポインティングタスク中、継続してマウスを把持しているという事実に着目する。Napierにより明らかにされた<sup>[1]</sup>ように、対象物が同一でも、把持の目的により形態は一様でなく、Napierは把持力については言及していないが、精密を要する把持では、大きな力を伝達するには不利でも、手と対象物との位置関係を保つことが大切である。この場合、指を緊張させて保持することが自然である。操作者がマウスを把持する把持力について適用するならば、位置決めフェーズにおいては、移動フェーズにおけるよりもカーソル移動に精度を必要とするから、両者で把持力が異なることは不自然でない。マウスの把持では大きな力の伝達は必要でないから、移動フェーズでは把持力が小さく、位置決めフェーズではこれよりも把持力が若干大きくなるのが期待される。

したがって、この把持力の変化を検出することができれば、これを利用してミッキー比を切り替えることが可能で、それにより(1)式におけるDを小さくかつSを大きくするという、タスクの容易性向上の条件を両立させることができる(図1)。また、把持力によってミッキー比が切り替わることが操作者にわかっているならば、ターゲットへのカーソル位置決めの際に意図的にマウスを強く握ったとしても、既に握っている力を強めるだけであって新たな動作を必要としないから、タスクの容易性を損ねる恐れは少ない。

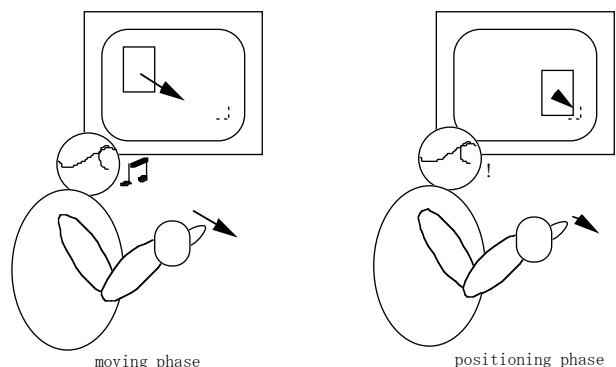


図1 移動フェーズと位置決めフェーズ  
Fig.1 Two Phases in a Dragging Task

#### 4. リアルタイムミッキー比調節マウスの試作

##### 4.1 外観的特徴

以上述べた仮説に基づき、市販のマウスを改造してリアルタイムミッキー比調節器つきマウスを試作した。その外観を図2に示す。

試作したマウスの元のマウスとの外観上の相違点は、マウス把持力のセンサが付いていること、及び実験の便宜上の都合で低ミッキー比動作になっていることを示すインジケータが設けられていることのみであり、実現のための技術的困難性は低い。

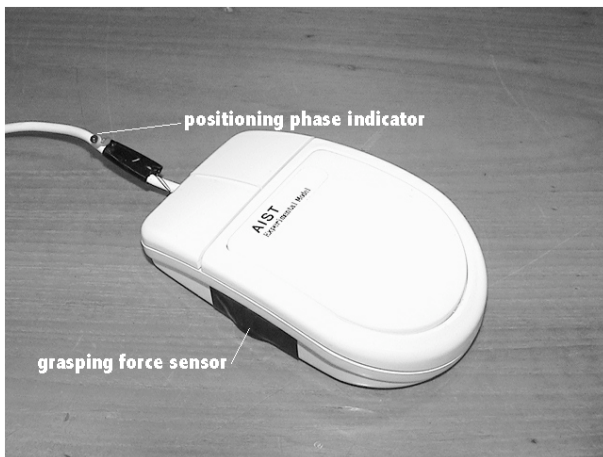


図2 試作したマウスの外観

Fig.2 Experimental Sample of a Mouse with Realtime Adaptive Mickey Ratio Adjuster

##### 4.2 ミッキー比調節器設置場所の検討

機能的には、図3に示したように、従来のマウスに比べて、把持力検出センサとその情報に基づいてミッキー比を変更するミッキー比調節器が追加されている。これらのうちミッキー比調節器は、マウスに内蔵するのではなく、コンピュータに設けることも可能である。

コンピュータにミッキー比調節器を設ける場合にはマウスの中という狭い空間に回路を追加するよりも製作は容易になり、またハードウェア的にカーソル移動信号を変化させなくてもコンピュータ本体におけるソフトウェア的手法によってカーソル移動量を変化させることもできることによりミッキー比調節の調節代の設計に自由度が増す。反面、コンピュータにも専用回路を付加したり、専用ドライバソフトの追加やオペレーティングシステムレベルでの変更など手を加える必要が生じる。

逆にマウスにミッキー比調節器を、ハードウェア的に内蔵することにより、従来のマウスを使用していたコンピュータでもマウスのみを本報で提案するマウスと交換することで、簡単にミッキー比調節機能つきマウスのメ

リットを利用できるというメリットがある。図2の試作ではこの点を重視し、ミッキー比調節器までをあえてマウスに内蔵させることとした。

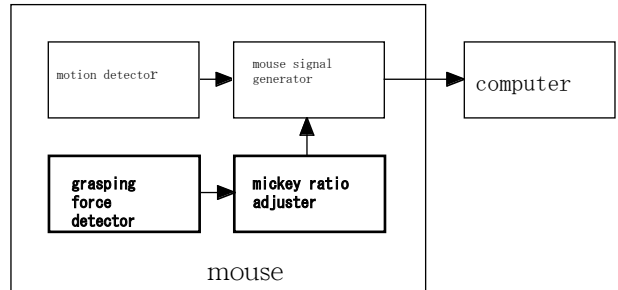


図3 ミッキー比調節機能つきマウスのブロック線図

Fig.3 Block Diagram of Proposed Mouse

##### 4.3 把持力検出とミッキー比変更の方法

把持力を検出するには、把持したときに指とマウスが接触する場所にセンサを設ける。図2の試作に当たっては、右手でマウスを保持したときに母指が接触する場所に、図4に示すような、感圧導電性ゴムとくし形電極を組み合わせた薄型圧力センサを貼付した。センサの種類としては、ほかにもロードセルやひずみゲージなどの応用も考えられるが、今回の試作に当たっては、柔軟性がありマウスの表面に設置が容易であること、センサの出力を利用する際に増幅器を必要としないために使いやすいことにより、このタイプのセンサとした。

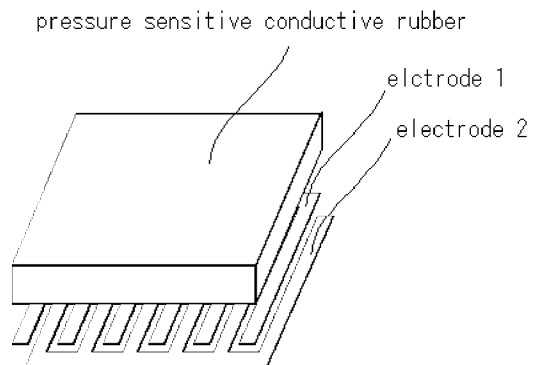


図4 把持力センサの構造

Fig.4 Construction of grasping force sensor

このセンサは、圧力を感圧導電性ゴムの抵抗値変化として検出する（無負荷で抵抗値が最も大きく約1MΩから、強く握ったときには数百オームまで抵抗値が変化する）ので、これと可変抵抗、シュミットゲートを組み合わせて、位置決めフェーズ検出器とする。可変抵抗は、ふたつのフェーズの切り替えレベルを調整するために使用する。

移動フェーズでは、全くノーマルなマウスとして機能させる。位置決めフェーズでは、エンコーダ直後に分周回路を介して、発生したパルスを半減して処理回路に送ることで、ミッキー比を移動フェーズの1/2にしている。

これにより、移動フェーズにおいてカーソルを目標位置付近に移動した後、位置決めフェーズでやや把持力が強まれば、ミッキー比を半減して位置決めを容易にするマウスを実現することができる。また、この方法によれば、コンピュータ本体にはまったく変更がないので、従来のマウスとマウスのみを交換するのみで、提案したマウスを利用することができる。

## 5. まとめ

ポインティングデバイスにおける動作ゲイン設定の問題を取り上げ、タスクを移動フェーズと位置決めフェーズに分けて後者のほうがゲインが小さくなるようにゲイン設定を行うことでタスクの容易性を向上させる方法、とりわけ操作端を把持するを操作者の把持力をこれらフェーズの識別情報として利用することを提案した。

具体的には、コンピュータのマウスを例として、実現のための試作例を示した。

## 参考文献

- [1] Napier, J. R.: The prehensile movement of the human hand; Journal of Bone and Joint Surgery, **Vol.38-B**, pp. 903-912 (1956).
- [2] Fitts, P. M.: The Information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement; Journal of Experimental Psychology, **Vol.47**, pp. 381-391 (1954).
- [3] Akamatsu, M., Sato, S., and MacKenzie, I. S.: Multimodal Mouse: A Mouse-Type Device with Tactile and Force Display; Presence, **Vol.3**, No.1, pp. 73-80 (1994).
- [4] Worden, A., Walker, N., Bharat, K. and Hudson, S.: Making Computers Easier for Older Adults to Use: Area Cursors and Sticky Icons; Proc. CHI 97, Atlanta, pp.266-271 (1997).
- [5] Dennerlein, J. T., Martin, D. B. and Hasser, C.: Force-Feedback Improves Performance For Steering and Combined Steering-Targeting Tasks; CHI Letters, Amsterdam, **Vol.1**, pp. 423-429 (2000).
- [6] Sato, S., Kitajima, M. and Fukui, Y.: A New Mouse with Cursor Speed Control by Grasping Force; Proc. HCI2001, New Orleans, Poster Sessions, pp. 291-292 (2001).
- [7] Sato, S., Kitajima, M. and Fukui, Y.: Proposal of a New

Mouse with Realtime Mickey Ratio Adjuster Controlled by Grasping Force, Proc. SICE2002, Osaka, 2002, in press.