

伸縮機構による触覚呈示をするペン型入力デバイスの開発

3C-03

沼田 啓¹，葛岡 英明¹，山崎 敬一²

1) 筑波大学機能工学系

2) 埼玉大学教養学部

1. はじめに

近年、机の上を表示装置とする机型ディスプレイを用いて、そこに投影される電子的な情報と、机の上の作業空間内の物体とを、シームレスに扱えるシステムの開発が行われている [1, 2, 3]。このようなシステムでは、机の上に表示される情報をやり取りするための入力デバイスが重要になり、考案されてきた [3, 4]。それらには、手振を認識したりするもの、何らかの道具を使って、入力を代替させるものなどがある。

その中で筆者らは、ペン型の入力デバイスに注目した。ペン型であれば直感的な操作感をそこなく、作業者がシステムに対して入力などの作業を行うことができると期待できる。さらにペンの先を伸縮できるようにし、その伸び縮みを利用して本来平面であるディスプレイ上に仮想的な触覚を作ることを試みる。

本論では、デバイスの設計指針となった実験について簡単に触れた後、デバイスの概要について説明し、最後にデバイスで呈示する仮想的な触覚の評価実験について述べる。

2. 直感的な入力デバイス

本来、入力デバイスとは、直感的に操作可能であることが望ましい。そうであれば多様なシステムに対して、特別な訓練等を必要としないからである。また入力速度に比例するような作業の効率向上も期待できる。著者は以前、指先に再帰性反射材とタクトスイッチと呼ばれる小型のスイッチを取り付け、入力デバイスとして用いた (図 1)。このシステムでは、指先の位置を特定するため天井

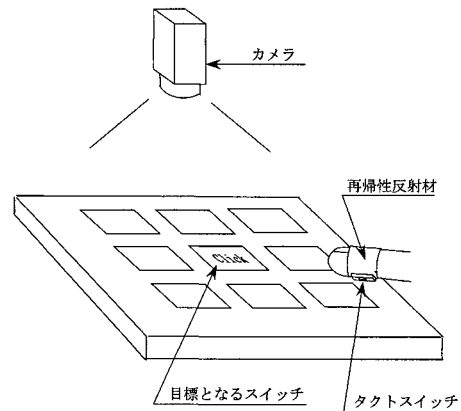


図 1: 実験

にカメラを設置し机上を撮影する。撮影した映像にリアルタイムに画像処理を施し、位置を特定する。入力、指先のタクトスイッチを机上の目標に直接押しつけて行う。

そしてこのデバイスと、通常のマウスによる入力とで比較実験を行うためアプリケーションを作成した。机上ディスプレイにボタンを 9 つ並べ、その内 1 つだけに入力を促す文字列を表示する。被験者は、この文字列に従ってボタンを順々に押していく。文字列はランダムに表示され、全部で 20 回入力を行うと終了する。

以上のアプリケーションを使って実験を行い、総入力時間を測定して入力速度の比較を行った。結果、指先を用いた方式の方が、マウスよりも入力速度の点で優れていることが言えた。さらに、実験の被験者に入力デバイスの使用感について質問した。この時の答えのなかに、「指をボタンにもっ

ていく行為が、そのままボタンへの入力につながる」、「マウスのカーソルを目で追う必要がない」などの意見が見られた。マウスによる入力は、手元の動きに連動したディスプレイ上のポインタを、目で追わないと正確な入力を行うことはできない。このためポインタを見失ってしまった時は、マウスを左右上下に動かしてポインタを見つけ出す必要があり、これは不要な行為であるとする。

また最近、アイコンなどの上をマウスポインタが通ると、使用者の触覚に作用する Immersion 社の FEELit というマウスがあるが、これもやはりポインタを見失ったりするとそれを探すのに手間がかかる。つまりマウスによる入力は、ポインタの視認を必要とし、移動が相対的な相対的指定である。そして前述のようなボタンを直に押しに行く直接方式は、その位置指定が絶対的指定であると言える。

これらは、この入力方式が直感的な操作を可能としていることを示している。

2.1 視覚と仮想的触覚

前述のような入力デバイスは、システムへの入力確認を指先のタクトスイッチの感覚で行える。実世界において、ボタンを押したときのクリック感は、入力が何らかのシステムに対して確実に行われたことの確認として、非常に重要なものと筆者は考える。銀行の ATM などタッチパネル方式の入力機器では、視覚的にボタンを変化させることで作業者に入力の確認を促す。その上で、音などをならして押した瞬間にボタンに目をやっていたとしても、確認できるようにしている。しかし、タッチパネルは、指が画面に触れた瞬間に入力を受けつけてしまう。このため、ボタンを押し込む時のような入力の猶予期間がなく、その分正確な操作を要求される事になる。確認音も雑音にかき消される事があり、これらは予期せぬ動作の原因になり得る。

これが機械式のボタンであるならば、確実に押せたことを触覚的に知ることができる。だが今度は、タッチパネル方式のように画面上にボタンを

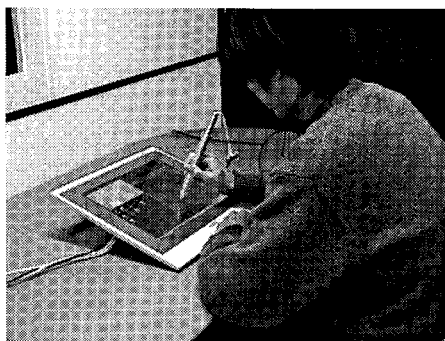


図 2: システム外観

直接配置することは難しく、位置も固定されてしまう。さらに、同一のボタンに複数の機能を持たせると、機能名をボタン上に複数のラベルとして表示するか、ディスプレイ上に機能名を表示して対応するボタンを矢印などで示す必要がある。

そこで筆者は、本来平面である机上ディスプレイ上で、作業者の見ている画像に合った起伏を仮想的に作りだすことは非常に有用であると考えた。この仮想的触覚によって、ディスプレイ上の任意の位置に表示したボタンの凹凸やクリック感を、作業者に与えることを考える。視覚情報に付加する形で触覚情報を作業者にフィードバックすれば、より直感的なインターフェースとしての操作感が期待できる。

2.2 ペン型入力デバイス

指そのものに、仮想的な触覚を与えるような機構を取りつけると、作業者の作業の邪魔になることが考えられる。そのためペン型の入力デバイスを道具として用いることとした。この形であれば入力を行なうのに違和感もなく、直感的な入力も損なわないと考える。そしてペン先が上下するような機構を組み、その機構を制御することで、仮想的な触覚を作りだすことが可能となる。

3. ペン型触覚フィードバックデバイスの開発

図 2 のようなシステムを今回開発した。PC 等の画面を表示するディスプレイを横置きにして、そ

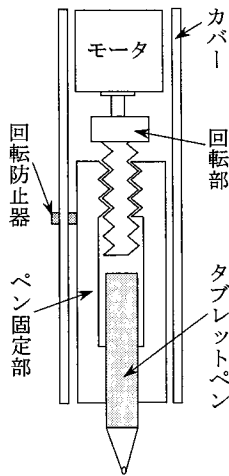


図 3: ペン内部機構

の上を作業領域とする。ディスプレイ上に表示される画像に高さの情報を持たせ、その情報を元にペン先を伸縮させる。こうすることで先に述べたように、本来平面であるディスプレイ上に仮想の凹凸を作り出す。

3.1 ペン先の位置認識

このようなペン型の入力デバイスを作成するにあたって、入力の位置精度は重要な要素であると考え。この精度が悪いと、文字を入力したり画面に表示されたボタンを押したりする時に、操作者の目標とずれた位置に実際の入力が行われることになり、直感的な操作感を損なうだけでなく入力作業そのものに支障をきたすことになる。

本システムでは、開発したデバイスのペン先の位置認識にタブレットを利用して行っている。このタブレットは、Wacom 社製の PL500 というディスプレイ一体型の製品で、ディスプレイがそのままタブレットの入力面になる。そして入力デバイスの内部にタブレットのペンを内包し、今回の入力デバイスのペン先の位置検出、入力検出に利用している。

3.2 伸縮機構

ペン先を伸縮させるための機構は、図 3 に示す通りである。モータの回転運動を、直接回転部に伝

表 1: ペンの性能

伸縮移動最大速度	32 (mm/s)
分解能の理論値	0.02 (mm)
ペンの推力	1 (kg)
全長	215 (mm)
ストローク	50 (mm)

え、回転部回りのネジ部分がタブレットのペン先を固定するペン固定部を伸縮させる。この時ペン固定部が回転部につられて回転しないように、ペン固定部には回転防止器を取りつけ、カバーに溝をつけることで伸縮方向への動きを実現している。

3.3 位置制御

伸縮運動をさせるために使用したモータには、エンコーダが内蔵されており、その値を利用してペンの位置制御を行っている。

制御は専用の PC を用いて行っている。PC にはエンコーダのパルスカウント用のボードとして Interface 社の PCI-6204 を搭載している。このボードにモータのエンコーダパルスを入力する。また、モータを駆動するためのドライバ回路を PIC16F877 を使用して作成した。回路と PC は RS-232C を介して、115200bps で通信している。

3.4 ペンの性能

表 1 にペンの簡単な性能をまとめた。ペンは伸縮機構部が約 32mm/s で移動することができる。エンコーダのパルスはペン先が 1mm 進むごとに 60 カウントされる。つまり約 0.02mm の分解能で現在のペン先の位置を知ることができる。

ペンの推力は 1kg である。これはこのデバイスがペン先に 1kg ほどの力がかかってしまうと停止してしまう事を示しており、推力に関してより出力の大きいモータを使用することが必要と考えられる。

ペンの全長は 215mm であり、伸縮可能なストロークは 50mm となっている。

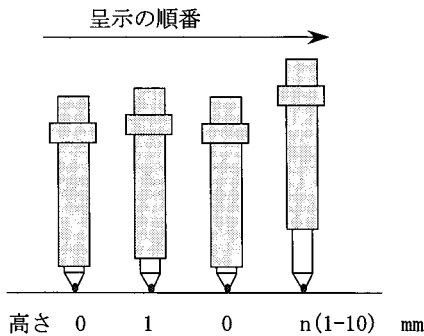


図 4: 1 問あたりの問題の流れ

4. 実験

開発したペン型デバイスをを使って実験を行った。まず被験者にはペンを持ってもらい、そのペン先をディスプレイに表示されているウインドウ上に乗せてもらう。ペンを持ってもらった状態でペン先を伸縮させ、呈示した高さと被験者が実際に感じた高さについて調べる。

図4のように一番縮んだ状態を高さ0とする。次に基本となる高さをペンを伸ばすことで被験者に呈示する。この高さは1mmであり、これを基本高と呼ぶ。この後さらにペンを縮めて0を呈示し、最後に比較高を呈示する。以上を1問とする。比較高は基本高に対して整数倍になっており、1-10mmまでを不規則に並べ、各3つずつ計30問を被験者に呈示して、基本高に対して比較高が何倍であるかを答えてもらう。尚、被験者には前もって整数倍であるかどうか伝え、最高何倍まであるかは教えない。

以上の実験を、モータの動作音とペン先の動きの視覚的情報が作業者の知覚に影響があるかどうかを調べるため、2種類の実験を行った。

1つ目として、被験者にヘッドホンをつけてもらい、モータ音よりも大きい音を聞かせることで被験者へのモータの動作音を遮断した。その上でペン先などを目で見ないように指示し、視覚情報による高さの判断を行えないようにした。

2つ目は、モータ音やペン先が実際に伸び縮みし

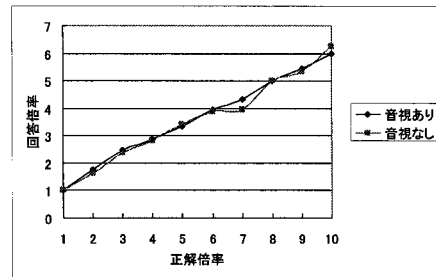


図 5: 1 問あたりの問題の流れ

ている所を目で確認したりと、得られる情報を自由に使ってもらい高さの判断を行ってもらった。

5. 結果

被験者9人に対して、先に述べた各実験を行った。1-10倍の正解に対して被験者が答えた倍率を平均して各点プロットした。その結果が図5である。「音視あり」がモータの動作音とペン先の動きなどの視覚情報を被験者がすべて活用したときの結果であり、「音視なし」が動作音、視覚情報ともに被験者から遮断した場合の結果である。

グラフによれば、音情報と視覚情報がある場合と、無い場合についてほぼ同じように比例直線を示している。最初筆者らは、2つの情報により精度の高い解答が得られると考えたが、結果としてほぼ同じような比例直線を描いている。

被験者の意見にペン先の伸縮運動をしっかり目で追ってもペン先には目盛がふってあるわけではなく目印がないので始点を見失いがちで、結局感覚に頼らざるを得ないであった。これは上記の理由の一つとして考えられる。

また高さの知覚について、実際の高さの6-7割に解答の倍率は減っているが、各倍率を段階的に知覚できている。これはペンの上下機構を利用した単純な仮想的触覚であっても、ある程度高さ同士の比較ができることを示している。

6. おわりに

伸縮機構を内包したペン型触覚フィードバックデバイスを開発した。その上で、伸縮機構で表示する高さについてどれだけ正確に感じ取ることができるかについて実験を行い、その際の視覚情報とモータの動作音による影響を調べた。その結果、今回のデバイスを用いて高さの段階的な知覚ができることが分かった。またその知覚には、モータの動作音やペン先の上下動などの視覚的情報はあまり関与していなかった。

しかし、今回の実験においては被験者 9 人という少人数に対して行ったため、統計的な議論は行っていない。今後はさらにこのデバイスの有効性を確かめるための実験を行い、併せて統計的な議論も行っていく。さらに応用として教育用アプリケーションなどへの適用を考えていきたい。

謝辞

本研究の伸縮機構による触覚呈示をするペン型入力デバイスの開発の設計にあたり、筑波大学工作センターにご指導、ご協力いただいた。またデバイスの評価実験を行うにあたって、筑波大学機能工学系葛岡研究室の皆様にご協力いただいた。ここに記して感謝する。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B)(課題番号 12558009) によって支援されている。

参考文献

- [1] Ishii, H.: TeamWorkStation: Towards a seamless Shared Workspace; In Proc. of CSCW'90, pp.13-26, (1990).
- [2] Kuzuoka, H., Yamashita, J.: Agora: A Remote Collaboration System that Enables Mutual Monitoring; CHI'99, pp.190-191, (1999).
- [3] 小林, 佐藤, 小池: Enhanced Desk のための赤外線画像を用いた実時間指先認識インターフェイス; インタラクティブシステムとソフトウェア 7 WISS'99, pp.49-54, (1999).
- [4] Brave, S., Ishii, H., Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication; CSCW98, pp.169-178, (1992).

