



Title	ヒューマンインタフェースにおけるユーザの動作計測および解析
Author(s)	野中, 秀俊; 伊達, 惇
Citation	北海道大學工学部研究報告, 167, 97-105
Issue Date	1994-01-14
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/42402
Type	bulletin (article)
File Information	167_97-106.pdf



[Instructions for use](#)

ヒューマンインタフェースにおける ユーザの動作計測および解析

野中 秀俊 伊達 惇

(平成5年8月31日受理)

Measurement of User's Action and Analysis in Human Interface Design

Hidetoshi NONAKA and Tsutomu DA-TE

(Received August 31, 1993)

Abstract

Measurement or detection of user's action is necessary for computer to communicate with user. But it is usually achieved with keyboard and mouse in uniform and inflexible manner, then user is obliged to practice in handling them in order to communicate fluently with computer. In this paper, we present new methods for measuring user's action. They are effective for making variety of communication, which makes human interface friendly. Firstly ultrasonic position measuring method is introduced, and performance test of the method is discussed. Secondly the principle of video system with motor vision and its construction on an experimental basis are introduced. Thirdly detection method of lifting action is described and inertia-mouse is introduced. Finally pointing systems using ultrasonic position measuring are realized. They are verified to be suitable for practical use by performance test.

1. はじめに

パーソナルコンピュータやワークステーションが普及し、コンピュータ利用が個人の社会的活動の一部となりつつある。特にコンピュータが小型化、高性能化することにより、マルチメディアをはじめとした多様なアプリケーションが個人レベルで活用されるようになり、またノート型や手帳型といった可搬型のコンピュータの出現により、コンピュータの利用形態や利用目的そのものが変化しつつある。しかしこのようなソフトウェア・ハードウェアにおける多様化が進む中で、ユーザとコンピュータのコミュニケーションに用いられインタフェースはキーボードとマウスによる入力と、ディスプレイ(と音声)による出力といった形態に落ちついて久しい。このインタフェースをさらに多様化し、コミュニケーションの自由度を増大させれば、ユーザの個性や利用目的に応じて柔軟に対応できるなど、効率の良いコミュニケーションが実現し、現在のコンピュータの性能がより活かされるものと考えられる。最近実用化されてきている電子手帳にお

る手書き入力や、キャッシュディスペンサーにおけるタッチスクリーンなどは、そのような要求にある程度応えたものであるといえる。本研究はこのインタフェースの多様化のために、特にコンピュータ入力において用いられるユーザの動作の検出と解析、およびユーザへのフィードバックの構成について検討し、ヒューマンインタフェース設計の指針を与えることを目的としている。具体的なユーザの動作検出の手段として超音波の位相差を利用した位置計測法を提案し、ディスプレイシステムおよびポインティング装置への応用について述べる。またポインティング装置にユーザが利用できる動作を追加することによる効果について述べる。

2. ユーザの動作の計測

ヒューマンインタフェースは、ユーザとコンピュータのコミュニケーションの機能的接点である。ユーザはユーザの意図をコンピュータに伝達するために、コンピュータが受理するような動作を行うことが要求される。現在コンピュータ入力機器には主にキーボードとマウスが利用されている。ユーザの動作の検出は、キーボードの場合は各キーのオンオフによる打鍵情報、マウスの場合ではマウスが平面上にあるときの移動情報と、一つ以上のマウスボタンのオンオフに限られる。動作の検出のための手段がこのように限定されているために、ユーザに要求される動作は、ユーザの個人差にかかわらず画一的であり、円滑に使用できるようになるためには熟練を要する。また利用形態としては、キーボードは平面上に置かれ、ユーザはその正面に位置する必要があるし、またマウスは平らな水平面上でしか利用できないため、ユーザの姿勢が拘束されることとなる。変更の可能性としてはキーボードのカスタマイズや、マウスカーソルの移動速度の変更、マウスからトラックボールへの置き換え程度に留まっている。

ヒューマンインタフェースは、上述のようなコンピュータ側の技術的制約にとらわれることなく、ユーザ本位のフレンドリな設計指針に基づいたものである必要がある。ユーザは実生活において様々な動作の複雑な組合せによる外界とのコミュニケーションの手段を獲得しており、それらの手段をヒューマンインタフェースに付加することにより、コミュニケーションの効率が向上するものと考えられる。またユーザの動作を検出する機構を多様化し自由度を増すことによって、ユーザが要求される動作を実生活における動作に近づけることや、姿勢の拘束や疲労感の少ない、個人差や用途に柔軟に対応できるインタフェースを実現することが可能になると考えられる。

3. 超音波の位相差を利用した位置計測

本節では、ユーザの動作を計測するための手段として、超音波の位相差を利用した位置計測法を提案する。ユーザの動作計測にはユーザの動作そのものに与える影響が少ないことが要求され、そのような計測法には、他に磁界を利用したものや、画像処理を用いたものなどが挙げられる。これらは位置だけでなくユーザの複雑な動作の計測が可能であるが、人間の動作のスピードに追従した計測は困難である。それに対して本方式は人間の動作のスピードに十分追従するスピードがあり、コストが低いなどの特徴がある。次に超音波を用いた位置計測の中でも従来のものは、超音波の伝播時間による絶対距離計測と、三角測量の原理に基づくもので、計測時間、測定誤差ともにユーザの動作計測にとって十分な性能が得られてはいない。本節で採用した超音波の位相差を用いた位置計測の場合、位相差の多価性の問題、ドップラー効果の問題、反射波やノイズの問題、気流の影響の問題など多くの問題点について考慮する必要があるが、本方式はユーザの動作計測という適用条件においてこれらの問題点をかなりの程度解消したものである。

超音波センサの位相差を利用した位置計測の原理は、以下の通りである。図1(a)に示すように、

被測定点に移動方向と垂直な方向に向かって、超音波スピーカが設置され、一方1対の超音波マイクロフォンが被測定点に向けて並べて設置される。スピーカを取り付けた被測定点の移動に伴い、両マイクロフォン・スピーカ間の距離が変化し、両マイクロフォンが受ける信号の位相差が変化する。この位相差が被測定点の位置データに変換される。さらに図1(b)に示すように、超音波マイクロフォン2対を十字型に設置し、超音波スピーカの平面内の位置を計測する。

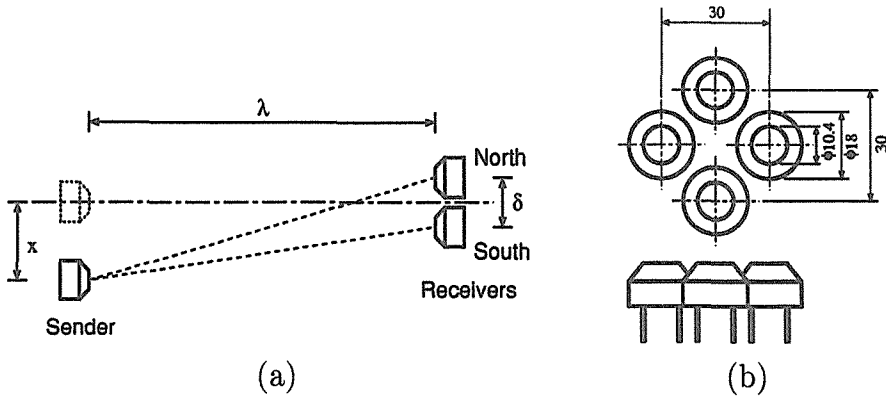


図1 超音波センサの配置と形状

二次元の位相差から位置データへの変換は、近似的に以下の式で表される

$$\tilde{\xi} = \frac{2\pi f_s}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{y}{\lambda}\right)^2}} \frac{\delta}{\lambda} x = C \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{\lambda}\right)^2}} \frac{\delta}{\lambda} x \quad (1)$$

$$\tilde{\eta} = \frac{2\pi f_s}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{y}{\lambda}\right)^2}} \frac{\delta}{\lambda} y = C \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{\lambda}\right)^2}} \frac{\delta}{\lambda} y \quad (2)$$

但し、 $C \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2\pi f_s}{c}$, $r \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{x^2 + y^2}$ とする。

以上の原理に基づいて位相差計測システムを試作した。図2にそのブロック図を示す。システムはアンプ部、カウント部、位相差補正部、加算平均部からなる。カウント部においてクロックによるカウント値(8 bit)として位相差データが得られる。位相差計測に伴う多価性に対する対策として以下の方式を採用している。超音波の周波数は40KHzでありクロックの周波数が10.24MHzであることから、位相差 2π が256カウントに対応することになる。よってカウント数のオーバーフローが、それぞれ位相差の一周分分のオーバーフローに対応する。このオーバーフロー時のカウント数の不連続的な変化を検出し、その変化の回数をカウントすることによって多価性を除去している。また測定誤差に対する対策として、位相差データに対して256回の加算平均を行うという方式を採用している。

計測誤差について評価実験を行ったところ、測定データ16bitのうち上位12bitが安定したデータとして得られ(このことは例えば超音波スピーカとマイクロフォンの間の距離が30[cm]のとき

分解能は約0.4[mm]となることに相当する), 測定の精密さ (precision), 正確さ (accuracy) とともに, ユーザの動作計測への適用が可能であることが確認された。これらの裏付けとなるデータについては, 参考文献³⁾に発表しているのので, ここでは省略する。

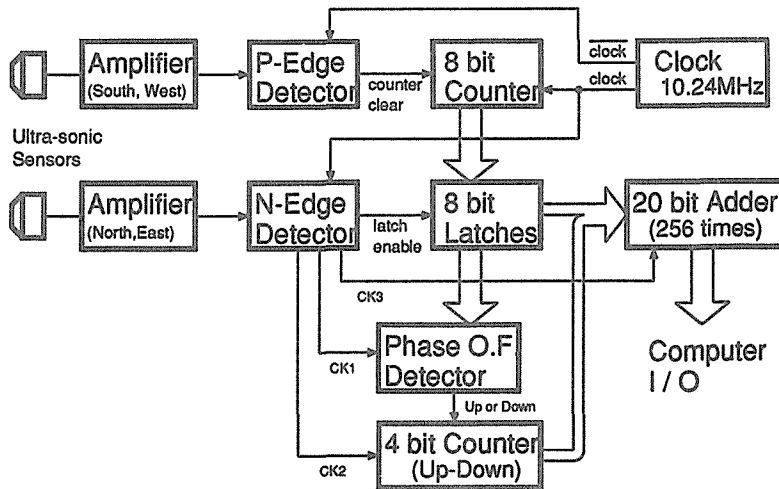


図2 位相差計測回路のブロック図

4. 視者の頭部の動きに対応したビデオ画像撮影・表示システム

本節では, ビデオカメラで撮影した動画像をディスプレイを通して視者が観察する際, 視者の頭部の動きを計測し, その動きに対応してビデオカメラを移動するという機構を用いて, 視者に奥行き感のあるビデオ画像提示する方式を提案する。これは近年極限環境用ロボットの操縦, 無人施設における遠隔監視等において, ビデオ画像を通して視者に正確な空間情報を与え, 視者の空間知覚を助ける手段が必要となってきたことに応えようとするものである。システムの構成は以下の通りである。被写体を, 同期した2台のビデオカメラ (視者の左右眼に対応) によって撮影する。2台のビデオカメラからの映像を, ディスプレイにおよそ1/60[s]間隔 (フィールド毎) で交互に表示する。この表示と同期して開閉する眼鏡型の光学シャッタ (TN型液晶) によって, 左右のビデオカメラの映像を視者の左右眼にそれぞれ分離して導く。これにより視者はビデオ画像に対する両眼視を行うことができる。視者の左右の移動量を前節で述べた超音波位相差計測によって計測し, ビデオカメラを移動させる。これにより, 視者はビデオ画像に対する運動視を行うことができる。

自然な奥行き感を視者に与えるためには, ビデオカメラの配置や, 視者とディスプレイの位置関係などを適切に設定する必要がある。そのために撮影空間から表示空間 (図3を参照) への写像を定式化し, 設定手順を明確にした。設定手順は以下の通りである。

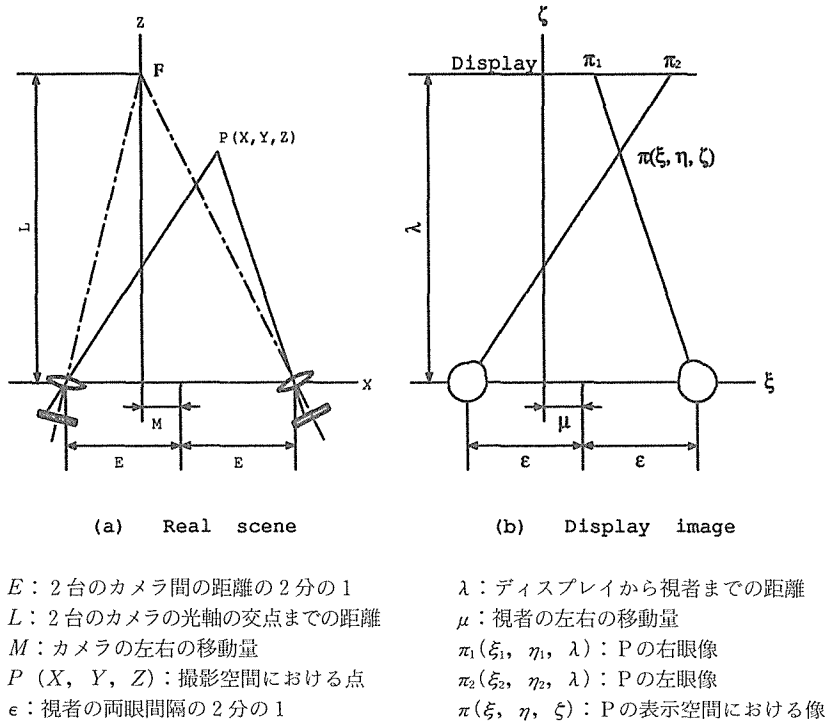


図3 撮影空間と表示空間のモデル

1. 視者とディスプレイとの距離 λ を、視者が見たみかけ上の像の大きさが実物と等しくなるように設定する。
2. 二台のビデオカメラのレンズ系の中心間の距離が両眼の幅と等しくなるように配置する。
3. 両カメラのレンズ系の中心の midpoint から前方に距離 λ の一点において、両カメラの光軸が交わるように向きを調節する。
4. 両カメラの光軸の交点を保ちながら、視者の左右の移動に伴い、その移動量と等しい距離だけ両カメラのレンズ系の中心を移動させる。

上に示した設定のうち例えば 1. 及び 2. の設定を省略すると、像の見かけ上の大きさや奥行き感が変化し、いわゆる箱庭効果などの現象が生じる。3. の設定を省略すると、奥行き方向に歪みが起こり、ボール紙効果などの現象が生じる。また 4. の設定を省略すると、視者の左右の移動に伴って、像が剪断的に変形する。これらは視者の自然な空間知覚の妨げとなる。 $\lambda = 88[\text{cm}]$, $M = \mu$ とした場合の視者の両眼と画面の中央を含む水平面上における立体像の歪みを示している。図 4 (a) は、撮影空間における、2 台のカメラの光軸を含む水平面を、一辺 $20[\text{cm}]$ の格子に分割し、真上からみた図である。座標の横軸は水平方向を、縦軸は奥行き方向を表している。

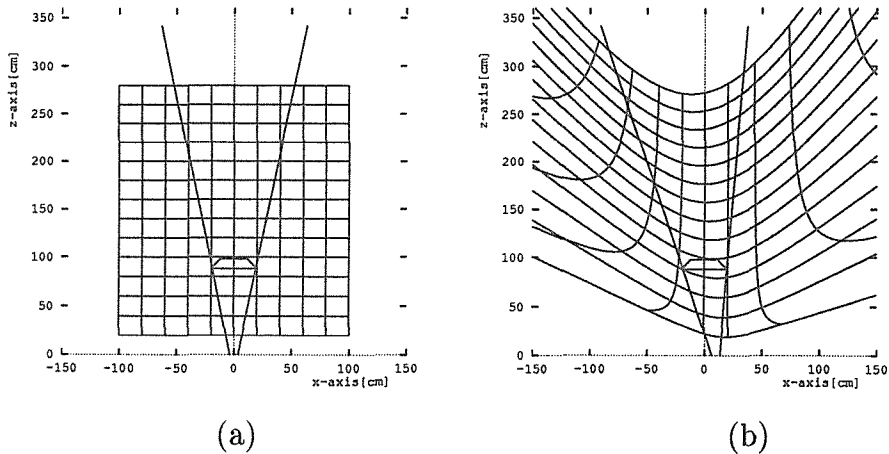


図4 撮影空間と表示空間(top view)

($\lambda = L88$, $\epsilon = E = 3.5\mu = M = 10$)

図4(b)は、図4(a)の水平面を、視者が右方向に10[cm]移動した時の、像を真上からみた図である。これによれば、正面から見たとき見えていた右側の部分が隠れ、見えていなかった左側の部分が見えてくるといふ回り込みの効果が得られていることがわかる。また視者が正面から見た時の正面奥行方向がほぼ保存され、特に撮影空間における正面方向の点(縦軸上の点)が表示空間における縦軸上の点として忠実に再現されていることがわかる。

ビデオ画像表示システムに両眼視及び運動視の機能を付加する試みを行い、幾何学的方法で撮影機器の配置および移動制御の設定を行うことにより、歪みの少ない立体像が得られた。視者にとっては、窓から外を見ているようなイメージが生起されるという効果が得られた。このことについては参考文献²⁾で詳細に述べている。

5. ポインティング装置における動作要素の付加

パーソナルコンピュータやワークステーションが増加したのに伴って、比較的安価であり優れた操作性を有するマウスが、標準入力機器として急速に普及した。しかしマウスに対して以下に示すような問題点を指摘することができる。一般にユーザがマウスを操作しやすいと感じるマウスの位置は、ある程度狭い範囲に限られ、またそのような体や腕の姿勢も限定される。キーボードを併用するときは特にそれが顕著である。そのため、ユーザはマウスをある一定の場所に戻しておこうとする傾向があるが、カーソルを遠くに移動するときには、何度もマウスを持ち上げる動作を強いられることになる。逆に、マウスを持ち上げる動作をせずにポインティングを行うと、マウスの操作範囲が広くなり、ユーザが腕を大きく動かすことを強いられる。マウスを持ち上げるという動作は、機械式マウスでは球が停止すること、光学式マウスではフォトインタラプタの反射光が減衰することで、マウスからの出力が停止するもので、特にコンピュータ側によって検出されるものではない。しかしこの動作を検出する機能を付加することにより、慣性機能をはじめとした付加機能を実現することができる。

本節で提案する慣性マウスは、マウスをテーブルから持ち上げると on, テーブルにおくと off となるスイッチがマウスに設置され、この慣性スイッチが off のときには通常のマウスとして動作する。また on に変化すると、画面上のカーソルがそのときの移動方向と移動速度を初期値として、off になるまで慣性運動のように移動する。外観は通常のマウスと同じであり、重量も通常のマウスと識別できない程度の差である。

慣性機能を活用すると、ユーザは特にマウスカーソルを遠くに移動させるとき、何度もマウスを持ち上げては元に戻すという動作による煩わしさから解放され、マウスを使った作業の能率化・高速化や、ユーザの疲労の軽減に有効と思われる。慣性マウスを持ち上げながらマウスカーソルを移動させる場合、ユーザは「マウス内部の球が、持ち上げる前の回転速度を保ったまま回り続けているようなイメージ」あるいは「マウス内部の球がフライホイール（はずみ車）と連動しているようなイメージ」を持ちながら操作することになる。これはユーザが日常経験している自然な動作に整合した動作であると考えられる。

このことを検証するために以下のような評価実験を行った。ディスプレイ画面上の一点の座標が疑似乱数により与えられ、ターゲットがその座標に表示される。被験者がマウスを操作してこのターゲットにマウスカーソルを重ね、左ボタンをクリックすると、ターゲットが消え次のターゲットが表示される。このようなポインティングを3分間繰り返すという課題が、通常のマウスを使用した場合と、慣性マウスを使用した場合についてそれぞれ3回ずつ交互に課された。設定は次の通りである。

表1 慣性機能活用度測定実験の結果 (ターゲット指示回数)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{x_{ij} - x_{i.}x_{.j}/x_{..}}{x_{i.}x_{.j}/x_{..}}$$

$$x_{i.} = \sum_j x_{ij}, x_{.j} = \sum_i x_{ij}, x_{..} = \sum_i \sum_j x_{ij}$$

Distance [dot]	Normal mouse		Inertial mouse		χ^2
	lifted (x_{11})	not lifted (x_{12})	lifted (x_{21})	not lifted (x_{22})	
0 ~ 79	3	185	8	169	2.67
80 ~ 159	32	519	114	439	52.73
160 ~ 239	59	401	200	236	118.94
240 ~ 319	90	290	257	106	165.56
320 ~ 399	158	219	305	65	130.13
400 ~ 479	63	76	107	21	42.19
480 ~ 559	21	33	34	13	11.34
560 ~ 639	13	3	16	0	3.31

被験者 21歳から30歳 12名

表示画面 640×400 [dot] 14[inch] ディスプレイ

カーソルの大きさ 8×8 [dot]

ターゲットの大きさ 32×32 [dot]

被験者の位置 画面から約50[cm]の正面

カーソル移動速度 マウスの移動8[cm]に対しカーソルの移動が500[dot]

マウスの持ち上げの有無、ターゲットへの命中の有無が測定され、各ポインティング毎に、ターゲットが表示されたときのカーソル・ターゲット間距離(dot)と、ユーザがマウスを持ち上げる動作を行ったか否かの情報を記録した。表1にその結果を示す。

特にカーソル・ターゲット間距離が200dotを越えると、慣性マウスの場合マウスを持ち上げる率が高くなりはじめ、距離が遠くなるに従ってその傾向が強まるという傾向が観察される。カーソル・ターゲット間距離の各区分毎に、両者に差がないとする仮説に対して分割表による検定を行うと(表1)、80~559[dot]の範囲において危険率1%で棄却される($\chi^2 \geq 6.63$)。マウスケーブルは十分に広く設定しているが、それにも拘らず、慣性マウスの場合には持ち上げる動作を行う傾向がある。このことは、マウスに慣性機能が付加されると、ユーザがこの機能を自発的に利用するというを示している。被験者にアンケートによる質問を行ったところ、カーソルを遠くへ移動する際、持ち上げる動作は一回だけでよいということ、カーソルを定位置に戻しておきたいということ、手首だけで操作でき、腕を使う必要がないことなどが、慣性機能を利用する理由として挙げられた。

平面上でマウスを動かす動作およびマウスボタンをオンオフさせる動作に加えて、マウスを持ち上げるという動作の検出を行うことにより、慣性機能を付加したが、これは既に普及している装置に対して、その既存のイメージに他の実世界での経験から得られたイメージを自然に融合させるような装置改良を施した例となっており、そのようなアプローチによるインタフェース改良の可能性を示唆している。

現在さらに、マウスに傾斜機能および感圧機能を付加したポインティング装置を試作し、評価実験を行なっている。

6. 超音波の位相差を利用したポインティング装置

超音波の位相差による位置計測を利用したポインティングの形態としては、様々なものを想定することができる。本報告では、マウス型、ペン型、ベルト取付式、指先取付式(図5)の4種類の装置を試作した。

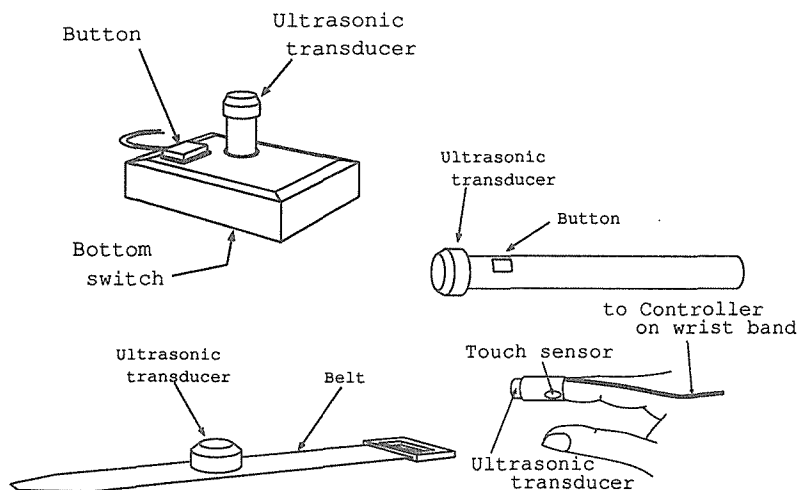


図5 マウス型、ペン型、ベルト取付式および指先取付式ポインティング装置

マウス型装置は、テーブルに置いてマウスのように操作するもので、底部のスイッチの使い方により、通常のマウスと同様なポインティングの形態、ペンのアップダウンに対応したフリーハンド入力の形態、慣性機能を持ったポインティングの形態などが、ソフトウェアによって選択できる。ペン型装置はペンのように持って人差指でクリックする形態の他に、ハンディライトのように持って親指でクリックするという形態もある。またベルト取付式を使用して、ユーザの頭部、手首、足などの動きによるポインティングが可能である。

実際にポインティングの形態を設定し、被験者に簡単なポイント操作を課することによって実用性の検証を行なった。マウス型装置およびペン型装置および指先取付式を使用した場合、通常のマウスの場合よりポイント操作が速いということが統計的に示された。またマウス型、ペン型装置および指先取付式の場合、通常のマウスの場合に比べて、距離の影響を受けにくいことが統計的に示されたが、これは、操作時に摩擦や抵抗を受けにくいことや、装置の向きの変化の影響を受けないことなどが考えられる。これらの評価実験については、参考文献³⁾で詳細に述べている。

7. ま と め

ユーザとコンピュータのコミュニケーションの多様化や、ユーザの個性や利用目的に応じて柔軟に対応できるヒューマンインタフェースの実現を目的とし、特にコンピュータ入力において必要となるユーザの動作の検出と解析、およびユーザへのフィードバックの構成について検討した。具体的なユーザの動作計測の手段として超音波の位相差を利用した位置計測法を提案し、ビデオディスプレイシステムおよびポインティング装置に応用した。また既存のインタフェースに動作検出の機能を追加することによって、ユーザフレンドリな機能拡張を実現することが可能であることが評価実験によって確認された。

参 考 文 献

- 1) 野中秀俊, 伊達惇: 「慣性機能を持つポインティング装置の開発」情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp. 268-274, Feb. 1990.
- 2) 野中秀俊, 伊達惇: 「両眼視と運動視を応用したビデオシステム」計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No. 10, pp. 1144-1151, Oct. 1991.
- 3) 野中秀俊, 伊達惇: 「超音波の位相差を利用したポインティング装置 (SPD) の開発」計測自動制御学会論文集, Vol. 29, No. 7, pp. 735-744, July 1993.
- 4) 野中秀俊, 伊達惇: 「高速視点位置計測装置の開発」Human Interface N & R, Vol. 8, pp. 177-182, May 1993.