

[Original article]

(2006 年 9 月 8 日 Accepted)

超音波の位相差と伝達時間計測を併用した 携帯型 3 次元仮想接触提示装置

吉野 慶一¹, 渡辺 義明², 外村 慶二³

1) 北九州工業高等専門学校・電子制御工学科 2) 佐賀大学・理工学部

3) famteam LLP

要約： 情報技術の進展につれて、コンピュータを常に携帯して様々な処理を行わせることが可能となってきた。このようなモバイルコンピューティングやウェアラブルコンピューティング等と表現される分野が広がりを見せている。そんな中コンピュータ内の仮想空間や現実環境の 3 次元情報を、場所を限定せずリアルタイムに人間へ提示する装置や、人間からコンピュータへ空間情報を与える装置は様々な応用が期待できる。本論文では、個人的利用を前提に、持ち運びが容易、シンプルで軽量かつ安価な 3 次元接触提示装置を提案する。この装置は屋外で使用する仮想現実感や 3 次元マウス、及び視覚障害者補助等への応用が期待できる。装置は手の位置を超音波により計測し、ピエゾ振動子で接触情報を与える。位置計測は聴覚への外乱を最小限にするために超音波の位相差による計測方法を基本として用い、定期的に伝達時間による計測で補正を行う位相差と伝達時間併用の提示装置とした。センサ上空 500mm における手の位置の計測誤差は 5mm 以内であった。この装置を仮想接触装置として試用したところ、一辺 100mm の立方体と直径 100mm の球の接触情報提示ができた。

キーワード： 携帯, 3 次元計測, 仮想接触提示装置

Portable 3D Virtual Touch System using Measurement Methods of Ultrasonic Phase Difference and Traveling Time

Keiichi YOSHINO¹, Yoshiaki WATANABE², Keiji HOKAMURA³

1) Department of Electronics & Control Engineering, Kitakyushu College of Technology

2) Department of Information Science, Saga University

3) famteam LLP

Abstract: A portable virtual three-dimensional touch system is proposed. The system is premised the personal use, cheap, simple and light weight. This equipment would be applicable to virtual reality, three-dimensional mice and sight handicapped support used in outdoor. The equipment measures the position of the finger by the ultrasonic wave, and contact information is given by the piezoelectric ceramic vibrator. The position is measured by phase difference of the ultrasonic wave in order to minimize the disturbance to auditory sense. The correction is carried out periodically by the transmission time measurement. The measurement error of the finger position was within 5mm at 500mm above the sensor. The contact information of a cube and a sphere was recognized.

Keywords: Portable, Three-dimensional, Virtual, Touch

 Keiichi YOSHINO

5-20-1, Shii, Kokuraminami-ku, Kitakyushu-shi, 802-0985, Japan

Phone: +81-93-964-7283, Fax: +81-93-964-7288, E-mail: yoshino@kct.ac.jp

1. はじめに

情報技術の進展につれて、コンピュータを常に携帯して様々な処理を行わせることが可能となってきた。このようなモバイルコンピューティングやウェアラブルコンピューティング等と表現される分野が広がりを見せている。そんな中コンピュータ内の仮想空間や現実環境の3次元情報を、場所を限定せずリアルタイムに人間へ提示する装置や、人間からコンピュータへ空間情報を与える装置は様々な応用が期待できる。本論文ではコンピュータ内の仮想空間上にある物を眼前に在るかのように触る事ができる仮想接触装置を目指して、装置のコンパクト、携帯性、安価を重視し、従来から利用されている超音波による位置計測方法を採用した装置を製作した。超音波を利用した計測では伝達時間を採用するのが一般的であるが、計測対象が高速に移動しても原理的に計測が可能である事と、連続音を利用すれば聴覚に外乱が発生しないという特徴を兼ね備えた超音波の位相差による計測方法を導入した。しかし、この方法は計測を失敗すると原点の校正を行う必要があるため、従来の伝達時間計測の併用によりその点を補う事とした。一方、接触情報提示に関しては、携帯性や安価を目的としているため、反力等の提示は行わず、接触情報の提示のみに限った。

ここでは、多くの人が利用できるように、シンプルで軽量かつ安価な3次元の仮想接触提示装置の基礎的研究を目的とする。この装置は屋外で使用する仮想現実感や3次元マウス、及び視覚障害者補助等へ応用が期待できると考えられる^{[1][4]}。

本論文では、先ず指の3次元位置を計測するための、超音波の位相差と伝達時間計測を併用した3次元位置計測方法を検討する^[5]。併用する理由は伝達時間計測に比べ高速に位置計測ができる上に、聴覚に外乱を与えるのを最小に留めるためである。次に、計測したデータをノートPCに送り、PC内で仮想空間処理の出来るシステムの検討を行う。またPC内に取得した手の位置と、縮小簡略化した3次元モデルとの位置関係を計算するプログラム開発を行う。更に、処理した情報をシンプルで安価に指に示すために、 piezo振動子を利用した小型の提示装置を制作する。以上を組み合わせ、仮想空間内で簡単な物体の接触情報を提示し、その有効性を確かめる。

2. システムの概要

2.1 構成

図1に携帯型仮想接触提示装置の構成を示す。装置は大きく分けて、手の指の位置を計測する3次元計測部と高レベルの情報処理を担当するノートPC、及び接触情報提示部から成る。

先ず、3次元計測部は1個の超音波スピーカ（村田製作所製 MA40S4S）とバッファアンプ、3個の超音波マイク（村田製作所製 MA40S4R）と増幅器、及びワンチップマイクロコンピュータ（以下、マイコン）で構成する。被測定点である手の指に設置した超音波スピーカから出た音波は、三つの定点に置かれたマイ

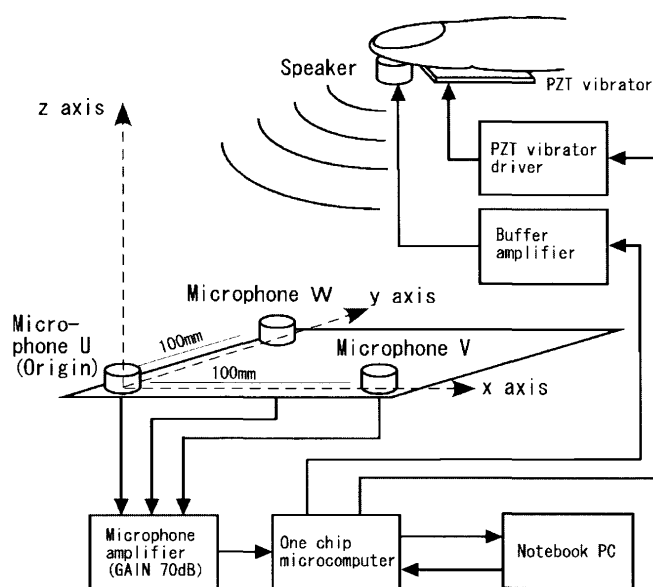


図1 仮想接触提示装置の構成図

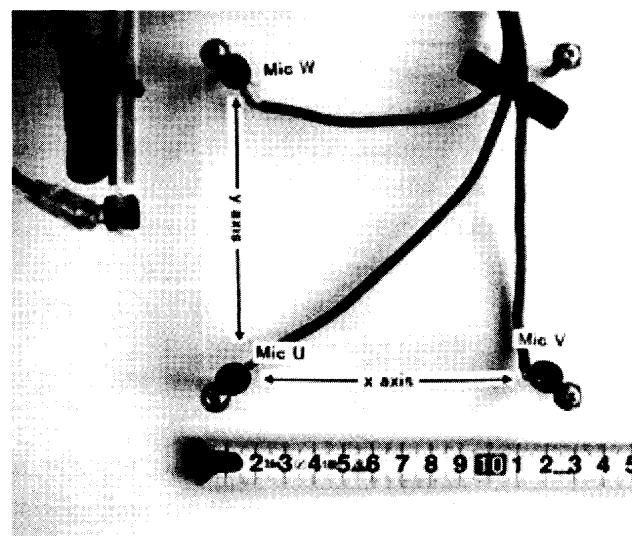


図2 仮想接触提示部と超音波マイク

クで受信する。信号は増幅器を通った後、マイコンに送られる。マイコンはスピーカとそれぞれのマイクまでの距離を、後述する方法により計測しノート PC へ送る。

ノート PC は手の位置を直交座標で求めた後、仮想空間上の仮想物体と指との位置関係を計算する。仮想物体と接触しているかどうかを判断して、その有無の情報をマイコンへ送り返す。マイコンは接触情報の有無に従って、振動子を振動させる信号を生成する。信号はドライバによりピエゾ振動子 (NEC/TOKIN 製 サイズ $50 \times 13.5 \times 1 \text{ mm}$ の短冊形) に伝えられ、接触したことを指に知らせる。図2は指に付けたピエゾ振動子とスピーカ、及び 100 mm 間隔で設置したマイクの写真である。

2.1 位置計測の方法

空間上を高速に測定点が移動しても位置計測ができるようにするため、聴覚への外乱を最小限にするために、超音波の連続音の位相を使った測定を基本とする。スピーカから発せられた音は同心円状になって空間に広がる。スピーカから同一半径の場所において、音波の位相は一意的に決まる。位置が半径方向に変化すれば位相がずれる。従って、理論上は音場に外乱を与えることなく連続的に位相を計測できれば、高速に位置を求める事が可能である。計算上では、伝達時間計測の場合測定範囲を 1m とすると、音速の関係から毎秒 350 回程度の計測が可能である。これに比べ位相差による計測では超音波の周波数を 40 kHz とすると、1 周期毎に計測できるので、毎秒 40,000 回の計測ができることになる。

まず、最初にスピーカの絶対距離を、一般的な音波の伝達時間により計測する。この値を距離の初期値とし、距離の増減の計測を続けることで現在位置を求める。スピーカとマイクの上に障害物が入った場合や、マイクやスピーカの指向性のために、一時的に計測が失敗した場合には距離のリセットを行う必要がある。

2.3 位相差による位置計測

超音波の位相差は時間差に比例する。その差をマイコン内にあるカウンタを使って測定する。スピーカの送信信号を信号 a、マイクからの受信信号を信号 b とする。図3に示すように信号 a を基準にカウントをスタ

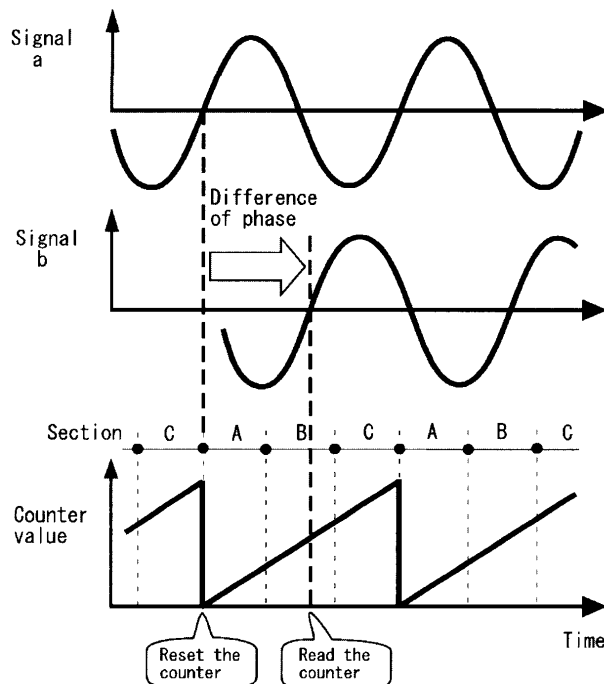


図3 距離の計測方法

ートし、信号 b によりカウントを終了する。このカウント値と音速より距離を求める。従って、多周期に渡ってこの距離を加算すれば、長い距離も求めることが出来る。ただし、位相は一回転すると零に戻るため、以下の処理を行う。

先ず図3のように、区間Aはカウンタのリセットから 1/3 まで、区間Bはその後 2/3 まで、区間Cは残りの区間と、信号aの一周期を 3 区間に分ける。信号aと信号bの位相差は、マイコンが次にカウンタの値を読みに行く間までに、隣の区間までしか変化しないと仮定する。計測中位相差が現在の周期から次の周期の所まで移動して、区間Cから区間Aにカウンタの値が変化したときは、1 周期分の距離を加算する。反対に前の周期に移動し、区間Aから区間Cにカウンタの値が変化しているときには、減算すれば常に距離を求めることが可能である。なお同様の方法を 2 次元のポインティングデバイスとして、マウスに使用している例がある^[6]。

3. システムの詳細

3.1 超音波の送受信

超音波の周波数 40kHz の元になる電気信号は、マイコン内の発振回路で生成する。その信号は方形波のままバッファアンプを介してスピーカを駆動する。発せ

られた音はスピーカの共振特性のため正弦波状になって空間に放射される。

図1に3次元計測の基準となるマイク位置を示す。水平平面上の原点にマイクUを、x軸上100mmの位置にマイクVを、y軸上100mmにマイクWを設置した。

スピーカから送信される超音波信号は、マイクとの距離の二乗に反比例して、急速に減衰するため増幅が必要である。計測部の測定有効範囲を1mとすると、そのときマイクの信号電圧は4mVであった。従って増幅器を使い約70dB増幅する。増幅器は40kHzにおいて、最も増幅率が高くなるように設計した。増幅器の出力はクランプ回路によって、パルス信号に整形してマイコンに送る。

3.2 マイコンの処理

整形された信号はマイコン内部のマルチファンクションタイマーユニット（以下、MTU）に入力される。ここで、MTUとはカウンタ回路を基本とした、時間計測や任意の幅のパルス出力等の機能が設定できる内蔵ユニットの事である。先ず、図3で説明した信号aと信号bの立ち上がりの時間差をカウントするようにMTUを設定する。信号aは位相計測を行う基準とする波であるから、それをスピーカから発せられる超音波にとる。すなわち、スピーカの駆動信号から信号aの位相情報を得る。一方信号bはマイクで拾った超音波になるので、マイクの増幅器出力から位相情報を得る。

信号aの元となるスピーカの駆動信号を作り出すマイコンのクロックは、信号bとの位相計測を行うカウンタのクロックと同じなため、計測を容易にかつ正確に行う事ができる。次に2.2で示した処理によってカウント値から距離情報を求め、現在の位相情報を得る。カウントは超音波の周波数が40kHzなので25 μ s 毎に行う。際にはマイコンのクロックが24.576 MHzなので、カウント値の最大は約614カウントである。マイコンは日立製SH7044を使用した。

3.3 リセット動作

電源を入れた計測開始時や位相計測を失敗した場合、スピーカの位置をマイコンに初期値として与え、原点の校正をする必要がある。この場合は絶対位置があるため、従来から用いられている超音波による伝達時間

計測を用いる。切り替えはスピーカから超音波を出したと同時にカウントを開始するように、マイコンのMTUのセッティングを変更するだけでよく、プログラムにより対応できる。ただし、何時このリセット動作を行うかが問題となる。普通は障害物を検出したら原点の校正を行えばよいが、検出のためには、超音波の音圧レベルの低下を調べる必要がある。装置は新たなハードウェアの追加、及びソフトウェアの変更を伴う。しかし、障害物の有無に関らず伝達時間計測を一定時間間隔で、原点校正を行う方法を行えば、この問題が解決できる。また、ソフトウェアだけで対応可能である。今回は3秒毎に原点の校正を行った。

3.4 通信

これらの方法で得られた、スピーカから三つのマイクまでの16bitの直線距離情報は、順番にASCIIコードの文字列に変換して、ヘッダやフッタを挿入した後、RS-232Cを用いてノートPCへ送信する。通信速度は38,400bpsを用い、約10ms毎にデータを送信した。

3.5 仮想空間の処理

三つの距離データからの手の位置の導出はノートPC内で行った。開発にはMS Windows 98上のMS Visual C++を用いた。ノートPCは各距離のデータをカウンタ値から距離に換算する。カウンタのクロックが24.576 MHzなので、音速を343.5 m (20℃を仮定)とすると、1mm当たりのカウント数は72となる。従って、カウンタ値と距離の関係は、距離[mm] = カウンタ値 \div 72 となった。この値を元に三つの距離データから3軸直交座標を導出する。

今回は接触認識される物体のモデルを、あらかじめ3次元仮想空間内に設定した。その物体モデルに接触したとの判定を行う。その結果は接触情報として、接触しているとき文字'I'、していないとき文字'O'をRS-232Cを用いてマイコンへ送り返す。

3.6 現在位置のディスプレイへの出力

3軸直交座標データを用いて、ノートPCのディスプレイへ手の位置を表す点と物体モデルの表示を行う。物体モデルは立方体と球の二種類を用意した。実空間

上では立方体では一辺が100mm, 球では直径が100mmに相当する。球の場合の実行画面を図4に示す。

現在位置のディスプレイへの出力は, x 軸, z 軸をディスプレイの横方向, 縦方向, y 軸をx 軸から45 度の方方向に設定した。図はy 軸をそのままの長さでプロットしたため, 球が少し歪んだように見える。また, 手の位置及びそのx-y 平面上への投影を表す点を直径5 ドットで描画した。この時, 滑らかな画面の描画を行うため, 画面上で変更が必要な画素のみを画きかえる方法をとった。なお, ディスプレイの1 ドットが計測空間の0.5mm に対応している。

3.7 ピエゾ振動子の駆動

マイコンはノート PC から送られてきた接触情報に従って, ピエゾ振動子を振動させる。振動の周波数はやはりマイコン内の MTU により作りだし, 専用のドライバで駆動する。ピエゾ振動子は約 $3\mu\text{F}$ の容量があり, スイッチ用のトランジスタ一つで駆動するた

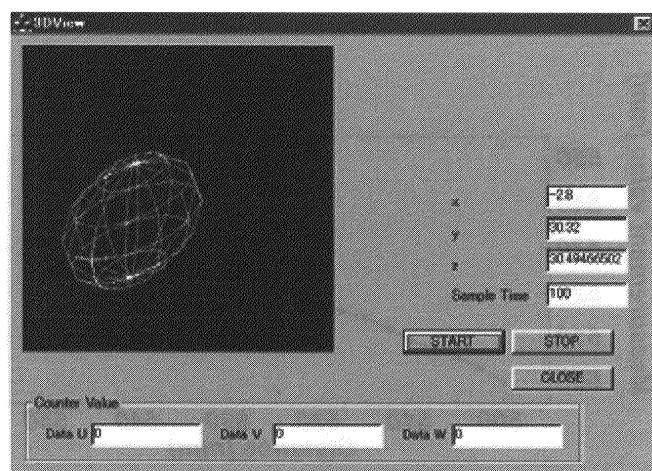


図4 現在位置のディスプレイへの出力

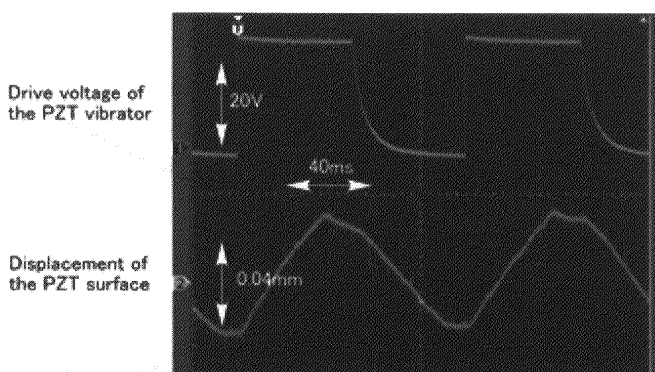


図5 ピエゾ振動子に与えた電圧と振動子の変位

め, 放電用の抵抗を並列接続して使用した。スイッチのオン時間を1ms 程度に短くとると, 100Hz まで駆動することが可能であり, 消費電力も少なくてすむ。振動の周波数はピエゾ振動子を指にあて, 感覚が最も良く伝わる周波数を選んで10Hz とした。図5 はピエゾ振動子に与えた電圧波形と, その時の振動子の変位を実測したものである。短冊形のピエゾ振動子の片方を固定し, 反対側をレーザー変位計で測定した。約25Vp-p の印加電圧で0.05mm の変位が得られた。

4 評価実験

仮想接触装置の評価を行った。まず, 距離計測の精度を測定した。次に, 実際に装置を組み立てて現実使用可能か調べた。

4.1 距離計測

距離計測の精度を求めるために, マイクからスピーカまでの直線距離をカウンタ値で測定した。図6, 7 にその結果を示す。図6 は距離30mm から間隔1mm を0.025mm おきに測定した結果, 図7 は0mm から300mm の結果である。図6 の測定結果より, 0.1mm 以下の距離の変化を判別できることが分かる。また図7 より十分な直線性を持っていることが分かる。

4.2 3次元での距離計測

図8 はマイクU とV の中間点の上空500mm の地点から, x 軸方向にスピーカを移動して測定した結果である。図からわかるように指示値は50mm の変化に対し, 45.93mm と誤差は4.59mm であるが, 非直線性は2.99 %と良好である。図9 は同様の位置からz 軸方向に, 50mm 測定点を変化させた時の結果である。50mm 移動時の計測値は49.03mm で誤差0.92mm あった。やはり非直線性は1.05 %で良好である。

4.3 装置評価

以上の装置を組み合わせ実際に使用した。マイコンは距離情報を10ms 毎にノート PC に送り続ける。ノート PC はOS の都合で50ms 毎のイベント発生に対応させたため, その情報はバッファに蓄積される。イベントが発生すると, バッファ中の最新の情報を取り出

し、位置計算に用いる。計算は次のイベントが発生するまでに終了するため、50ms後にマイコンに結果を送ることができる。ピエゾ振動子の振動周期は100msにしているので、振動の周期内で結果を手伝えることができる。

使用感に関しては、接触を振動で表現するため接触した情報は伝わるが、反力が無いため実際の接触とは違った感覚である。また、物体の中に指が入ってしまうのも実際と異なる。しかし、安価、シンプルを目指したことから利用方法は限定されるが、接触情報を伝えるという目的は達成できたと考えられる。聴覚の外乱に関しては、時間計測のパルス音が耳をすませば知覚できる程度であった。他に接触情報を与えるためのピエゾ振動子を、10Hzで振動させているにも関わらず、高調波音が発生するため、その音が聞こえる問題が起こった。これは方形波で駆動したためで、正弦波駆動に変更する事で起きなくなった。ただし、感触では振動が小さくなったように感じるので、振動振幅を大きくする等の改良の必要がある。

計測可能な範囲や、普通の手で手を動かす事に対する追従性能についても十分であった。しかし少し早めに手を振る場合は、時間遅れのため位置感覚にずれが生じるのは否めない。操作性に関しては、スピーカとマイクの指向性の問題もあり、距離1mで正対した位置からどちらかが60度以上回転すると、マイクへの音圧が低下し動作が不安定になった。

5 考察

5.1 障害物の影響

当初のシステムでは、基準点からの位相の変化分をリアルタイムに加減する事により、現在位置を得ていた。しかし、超音波が一時的に遮られたとき、正しい計測が行えなくなった。このため、予め位置が判っている基準点でのリセットを行っていた。また測定を開始するときもリセット動作が必要であった。しかし実際に使用する場合はこの動作は煩雑である。

本研究ではこの問題を解決するための一つの方法として、超音波の位相差による計測と、従来から用いられている伝達時間による計測を併用を考えた。即ち、あるタイミングで計測を、音波の伝達時間を使った計測に切り替える方法である。伝達時間による測定を行い絶対位置を得た後、再び位相による測定に戻す動作

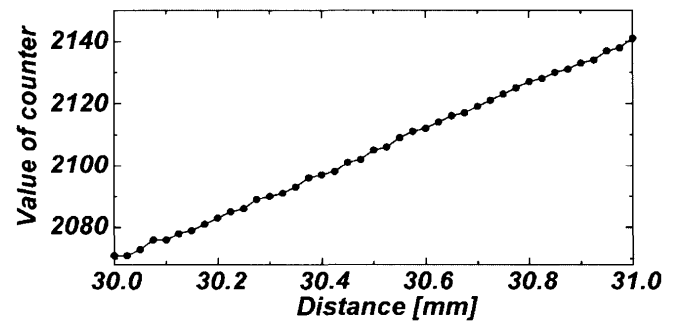


図6 距離計測の実験結果（測定範囲1mm）

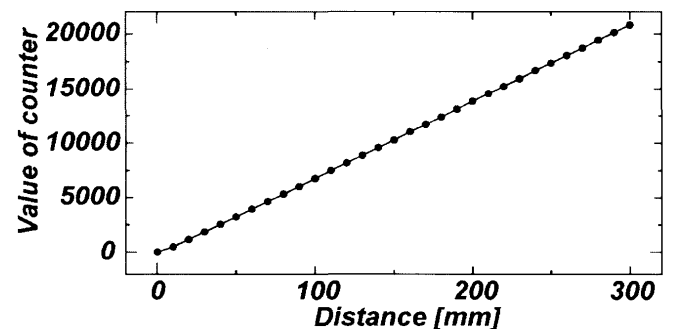


図7 距離計測の実験結果（測定範囲300mm）

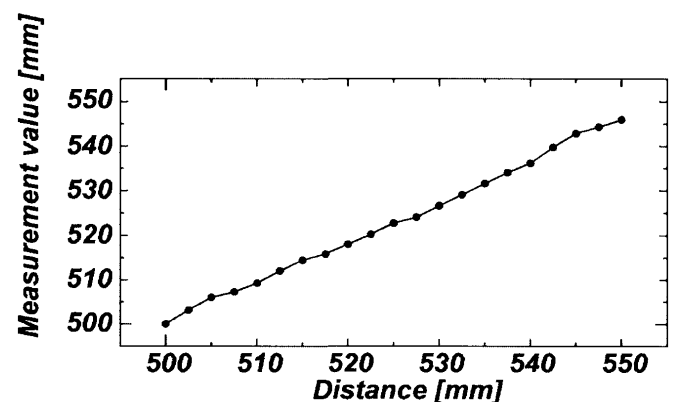


図8 3次元空間における位置測定結果（x軸方向）

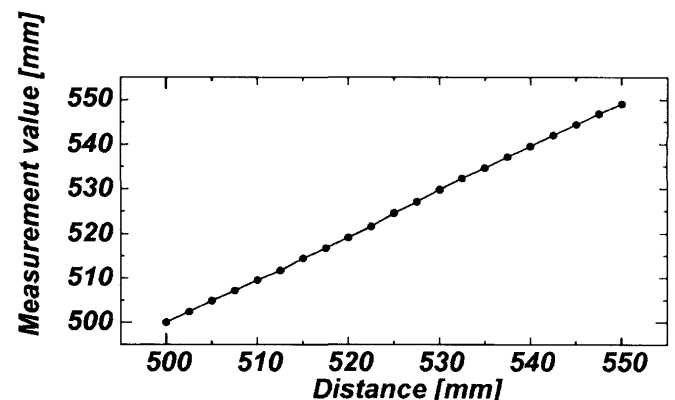


図9 3次元空間における位置測定結果（z軸方向）

を行えば、連続して装置を使用することができる。ただし、この時超音波が漸続するので、使用者に測定音が少々聞こえるが、時間が短いので外乱を最小限に押さえる事ができると考える。リセットのタイミングは計測を失敗した場合に行うのが適当であるが、システムが複雑になるので、ここでは単位時間毎に行うこととした。

一方、別の方法として4個以上のマイクを用いる方法がある。最低3個のマイクが超音波を受信できれば、正しい位置の計測が継続できる。

5.2 マイクとスピーカの角度

マイクに対してスピーカは真正面を向いていることが望ましいが、3次元の位置の測定に際し一つのスピーカから出される超音波を、3つのマイクで受信しているため、スピーカとマイクにはある程度角度がつく。マイクとスピーカの角度は、音圧に影響を及ぼす。マイクに対して、スピーカを正対した0度から180度の範囲で回転させ、受信レベルを観察した結果、計測可能な範囲はマイクとスピーカの角度が最大60度までの範囲に限られた。従って、この装置の使用範囲はマイクの正面を基準に、上下左右60度、距離1m以内である。

5.3 接触感覚の向上

物があると言うだけの接触情報をピエゾ振動子により与えているが、反力や形状及び表面の感覚情報が無いため、実際に物を触った時の接触とはかなり異なる。また指に様に振動を与えるため、下側か横か等の情報が無く形状の情報が乏しい。

このため球と立方体の接触実験でも、空間をスキャンするように指を動かして、違いが判る程度であった。この問題点を解決するためには、振動振幅や周波数を変化させたり、振動素子を複数にする等して情報量を増す必要があるであろう。この点は今後の課題としたい。また、触感を表現する研究として電気刺激による方法⁷⁾等があり、それらとの組み合わせも考えられる。

5.4 位置計測誤差の検討

装置を携帯する場合小型であることが望まれる。しかし、マイク間の距離を短くすると測定精度が低下す

る。以下に、携帯可能な装置における位置計測誤差の検討を行う。図10に示すように、二つのマイクから等距離に被測定点がある場合で、x軸方向とz軸方向の計測誤差を検討する。被測定点にあるスピーカの位置はx軸からz軸方向 D_z の距離とし、マイクUを原点に、マイクVをx軸上 D_x の距離に設置する。スピーカとマイクの距離が十分遠い場合、図に示すように一定誤差の範囲が菱形とみなせる。距離測定により発生する測定誤差を e_r とすると、x軸方向誤差とz軸方向誤差それぞれを e_x 、 e_z とし、x軸と原点からスピーカを見たときの成す角を θ とすると、それらは以下の簡単な関係となる。

$$e_x = \frac{e_r}{\cos \theta} \quad (1)$$

$$e_z = \frac{e_r}{\sin \theta} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2D_z}{D_x} \quad (3)$$

マイクの間隔 D_x を100mmとした場合、 $D_z = 500$ mmにおける位置誤差を求めると、 e_r が0.1mmの場合 e_x は1.005mm、 e_z は0.101mmである。

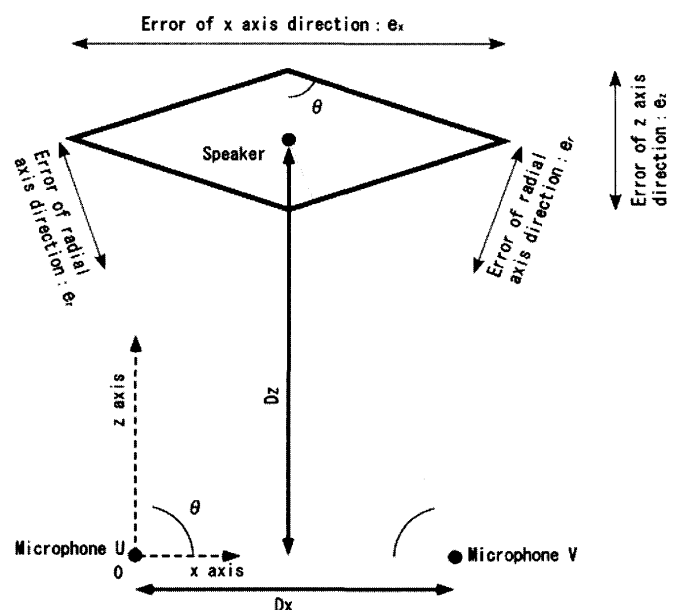


図10 計測誤差の検討

しかし、前述の実験結果では e_x は4.59mm、 e_z は0.92mmであった。誤差が計算より大きくなっている原因としては、超音波の反射によって位相が変化する事や、測定空間の空気の影響が影響している事が考えられる。また、マイクが有限の大きさのため音源が点とみなせない事や、工作精度が十分で無い事も原因であると考えられる。

5.5 計測における動特性の検討

本論文は距離の測定に位相差を用いているため、送信信号と受信信号は、次にカウンタの値を読むまでに、 $1/3$ の周期までの位相差しか生じないと仮定した。よって、次の測定までに位相差が $1/3$ 以上変化すると不具合が生じる。以下に計測の限界を求める。 t °C の乾燥した空気中の音速 v は気圧及び振動数に関係なく、

$$v = 331.5 + 0.6t \dots\dots\dots (4)$$

である。室温を 20°C としたとき音速は約 343.5 m/s である。よって、40kHz での周期は 25 μ s、波長は 8.59mm である。従って、測定点が約 115m/s 以上で移動すると正しい測定が行えなくなる。体の前で手を振る速さを実測したところ、最大で約 9 m/s であった。従って、手の動きには十分追従でき、実用上は全く問題なく使用できる。

5.6 接触情報の提示

今回は接触情報の提示にピエゾ素子の振動だけを用いた。しかも人差し指に限られている。本来は物の触覚や力覚を再現するのが理想であり、情報も指や手のひら全体に与える事が望まれる。本手法を複数本の指に拡張するには、超音波の周波数を多数使えば実現する事が期待できる。

3次元の仮想接触提示の従来の研究では、指先に付けたカップから外枠へ糸を張り、糸の長さや張力を利用して力覚を表現するワライラットらの研究がある^[8]。また大脇らのアームによる位置と力覚提示デバイスを使った研究もある^[9]。いずれも反力を与えることが可能なため接触感に優れ、後者の研究では質感も表現出来る。しかし、装置は一般に大きくて重量があり携帯に向かない。更に機械的に複雑なシステムは高価になり、個人で使用するのは難しく小型軽量化やコストダウンが望まれる。本研究では、質感よりも小型軽量化を重視した。

また、2次元情報を触覚で提示する装置として、手のひらほどのボードに 8×8 本のピンを並べ、ソレノイド駆動で高さを三段階に変えて触図形出力を行う研究^[10]があるが、やはり装置は大型である。一方小型軽量のものとして、指先に付けた光センサと振動コイルを用いて、指が接触した平面のテクスチャを仮想的

に感知する試みがある^[11]。しかし、3次元への拡張は難しい。

6. おわりに

モバイルコンピューティング、ウェアラブルコンピューティング等や視覚障害者補助の簡易応用を目指して、携帯性に優れた仮想接触提示装置の基礎的研究を行った。3次元の位置計測には超音波の連続音を基本としているため、可聴音が少なく使用者の聴覚に与える外乱は最小限にできる事が確認できた。3次元の実用範囲で測定誤差も超音波の進行方向の z 軸では、0.92mm、直角方向の x 軸では 4.59mm である事がわかった。また手の動き程度の速さに十分計測追従することも確認できた。今回作成した装置は電源、ノートPCを除けば約 200g の重量である。超小型のPCを採用すれば、容易に携帯可能な提示装置となると考えられる。更にコストの点でも、マイコンと簡単な回路で安価に、かつ容易に装置を構成でき、個人単位での利用という点で可能性は大きい。本装置をベースシステムとして使用し、様々な他の装置との組み合わせを行えば、利用の範囲が広がると考える。

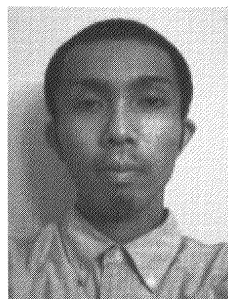
今後の課題として、接触感覚の向上の問題がある。また盲人補助への応用を考えた場合には、周辺情報の獲得方法の検討が必要である。

参考文献

- [1] 河井良浩, 小林真, 皆川洋喜, 宮川正弘, 富田文: 3次元仮想音響による視覚障害者用支援システム, 電学論, 120-C, 5, pp.648-655, 2000
- [2] 河井良浩 富田文明: 視覚障害者用3次元物体認識支援システム, 映像情報メディア学会誌, 51, 6, pp.870-877, 1997
- [3] 内田雅文 田中久弥, 井出英人, 横山修一: 単一のPZT振動子を用いた16種類の変調波振動による触覚ディスプレイ, 電学論, 120-C, 6, pp.825-830, 2000
- [4] 伊福部達: 音の福祉工学, コロナ社, 2000
- [5] 榎田裕士, 鳥越一平, 高橋和男: 超音波式位置計測システム, 第20回SICE九州支部学術講演会, 103D4, pp.273-274, 2001
- [6] 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(PSD)の開発, 計測自動制御学会論文集, 29, 7, pp.735-744, 1993

- [7] 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 館 暉: 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 信学論 (D-II), J84-D-II, 1, pp.120-128, 2001
- [8] ワライラット ソムサック, 山田啓太, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠: 力覚提示を伴う仮想物体の両手多指操作環境の開発, 信学論(D-II), J84-D-II, 6, pp.1140-1148, 2001
- [9] 大脇崇文 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊: 視触覚モダリティ変換を用いたリアルタイム実環境仮想接触システム, 信学論(D-II), J81-D-II, 5, pp.918-924, 1998
- [10] 皆川洋喜 大西昇, 杉江昇: 触覚と聴覚による盲人用図表現システム, 信学論(D-II), J77-D-II, 3, pp.616-624, 1994
- [11] H.Ando, T.Miki, M.Inami and T.Maeda: SmartFinger: Nail-Mounted Tactile Display, <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/projects/smartfinger>, 2002

ネットワーク等の研究に従事。



外村 慶二 (ほかむら けいじ)

famteam LLP (famteam 有限責任事業者組合員)

略歴 2001 年北九州工業高等専門学校卒業。2003 年九州工業大学情報工学部卒業。2005 年九州工業大学大学院修了。2005 年有限会社クロスマネジメント入社。2005 年同社退社。同年屋号 fam としフリーランスでシステム開発を行う。



吉野 慶一 (よしの けいいち)

北九州工業高等専門学校, 電子制御工学科教授

1980 年佐賀大学理工学部電気工学科卒業。同年シャープ株式会社入社。

1984 年九州工業大学文部技官。1992 年北九州工業高等専門学校, 助手, 講師, 助教授, 現在に至る。1995 年佐賀大学大学院博士後期課程修了。博士(工学)。電気学会, 電子情報通信学会会員。ニューラルネットワークに関する研究に従事。



渡辺 義明 (わたなべ よしあき)

佐賀大学理工学部知能情報システム学科教授

1972 年九州大学工学部電子工学科卒業。1977 年同大大学院博士課程修了。同年同大・工・情報工・助手, 以後同大・医・講師, 佐賀大・理工・情報科学・教授。工学博士。日本 ME 学会会員。生体工学, 医用情報処理, ニューラル