グラフィクスとCAD 72−18
(1994. 12. 17)

VRにおける指動作入力デバイスの試作とインタフェースの開発

伊藤純一*, 宮崎慎也**, 安田孝美***, 横井茂樹***, 鳥脇純一郎*

* 名古屋大学工学部情報工学科
** 中京大学情報科学部
*** 名古屋大学情報文化学部

〒464-01 名古屋市千種区不老町
TEL 052-789-3310
FAX 052-789-3807

あらまし

新しく考案した指の曲げ角度を測定できるセンサーを用いた指動作入力デバイスの試作と、インタフェースの開発について報告する。入力デバイスは、従来のものと比較してセンサー部分に容易に入手できる材料を用いているため、安価に製作することが可能となっている。実際にデバイスを試作し、その動作の評価実験を行った。また、グラフィックワークステーションにデーターを入出力するための通信インタフェースを開発するとともに、アプリケーションソフトでの利用を可能とするためにビジュアルインタフェースを開発した。

和文キーワード　人工現実感、入力デバイス、インタフェース

Development of an input device for finger motion and an interface with it in VR

Jun-ichi Ito*, Shinya Miyazaki**, Takami Yasuda***, Shigeki Yokoi***, and Jun-ichiro Toriwaki*

* Department of Information Engineering, School of Engineering , Nagoya university
** School of Computer and Cognitive Science , Chykyo university
*** School of Informatics and Science , Nagoya unibersity

Furo-cho , Chikusa-ku , Nagoya 464-01
TEL 052-789-3310
FAX 052-789-3807
E-mail ito@toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

Abstract

This paper describes a simple input device for finger motion by measuring bending angles of fingers and a visual interface. This device can be made with lower cost than conventional ones , because we use cheap and common electronics parts for the sensor. We have made a manufactured as an experiment device for the estimation of sensing motions. We developed not only a communication interface for data input/output to GWS , but also a new visual interface software for convenience of application software.

英文 key words　VR , Input Device , Interface

1 まえがき

人工現実感（仮想現実感—VR）は、新しい可能性を持つ技術として関心が非常に高まっており、研究も多くなされている。人工現実感のシステムでは、人間が仮想世界の物体を直接的に操作できることが特長であるが、そのための装置として、人間の動作をそのままコンピュータに伝えるインタフェース装置の開発が大変重要である。中でも、人間の手の動きを入力するためのデバイスは、設計や訓練、教育などの応用において特に重要な役割を果たす。手の動きを入力するデバイスは、これまでに、様々な原理[1]に基づくものが開発され商用化されているが、まだ、精度面やコスト面で実用性が高いと言えず、人工現実感システムの普及のひとつのネックとなっている。

このような背景のもとに、筆者らは、手の動きの入力用の安価なデバイス開発を目的とし、簡単な構造で手の動きを入力するための入力システムを試作した。さらに、それに伴うインタフェースを開発することにより、指の動きの入力デバイスに関する問題点を検討した。

2 手の動きの入力デバイスの試作

2.1 指の曲げ測定センサーの構造

従来の入力デバイスに使われてきた、指の曲げを測定するセンサーには、曲げることで内部を通過する光量が変化する特殊な光ファイバーや、圧力を感知するインキを用いたセンサーなど、特殊な材料を用いたものが多かった。

今回考案したセンサーの構成図を、図１に示す。センサーの材料としては、LED、ホトトランジスタ(Photo Tr.)、光ファイバーを利用しており、LED と Photo Tr. が光ファイバーで結ばれた構成になっている。また、Photo Tr. と光ファイバーの接続部はピストン状になっており、ファイバーは左右にスライドして動くことができるようになっている。

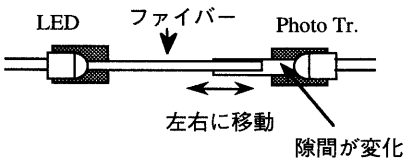


図１　指曲げセンサー

このセンサーを用いた指の曲げの測定方法を、図２に示す。測定する指の背に、関節をはさむようにLED と Photo Tr. を固定する。指が伸びている状態の時には、LED より発した光はファイバーを通って、ほぼ全量 Photo Tr. に流れ込むので、Photo Tr. には多くの電流が流れるが。ここで指を曲げると、図に示すように、ファイバーと Photo Tr. の接続部分に隙間ができ、流れ込んでくる光量が減少するので、Photo Tr. に流れる電流も減少する。この電流の変化を測定することで、指の曲げた量を測定することができる。

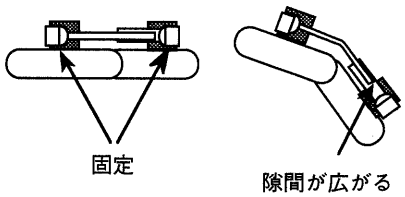


図２　関節角の測定方法

2.2 センサーの出力特性に関する実験

センサーを指に取付け、指の曲げ角度と、センサーの出力の対応関係を、実験的に調べた。本実験では、指の曲げ角度については、図３のように人差し指の第２関節の背の角度を測定し、センサー出力については、センサーからの電流値を増幅して０～５Ｖの電圧に変換したものを、12bit の A/D変換をかけて、0 ~4095 の値に変換したものである。また、センサーはグローブに固定して、グローブを手にはめて、実験を行った。

指の曲げ角度と、センサーの出力値についての関

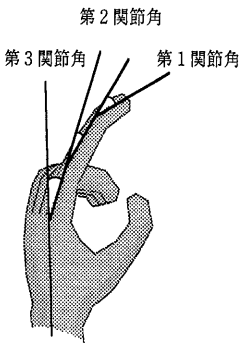


図３　指の関節と測定個所

係を、図4に示す。両端が曲線になっているが、15~60°にかけて角度と出力値はほぼ線形な関係となっている。

次に、センサー出力の電気的な安定度を測定した。センサーの電流変化は、非常に微弱（数十μV 程度）であるため、用いる増幅器には大きな倍率を持つものが必要となる。このため、セン

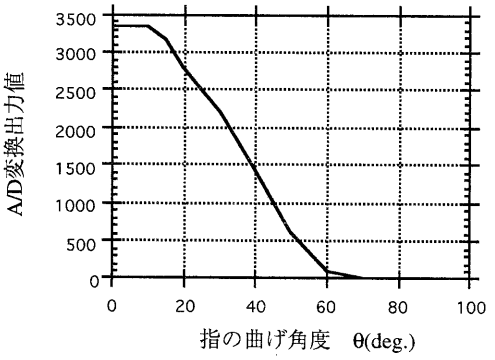


図4　関節角とセンサー出力

サー回路に供給される電源電圧の変動、外界からの電磁波によるノイズなど、普段は微弱である要素が無視できない存在となる。測定の方法は、指を円筒状の物体に沿わせて、関節が一定の角度を保つように固定する。その状態のまま適当な時間で測定した出力値の分布を、図5に示す。図4と照らし合わせてみると、測定された角度の変動範囲は約±2°程度であることがわかる。

最後に、センサーの機械的な安定度を測定した。この安定度には、グローブと手のずれ、ファイバーのゆがみ、などの要素が含まれている。測定の方法は、指をのばした状態からある一定の角度まで曲げて、その曲がった状態のときの出力値を測定した。その分布を図6に示す。図4と照らし合わせてみると、約±5°の範囲に分布していることがわかる。

指の曲げ角度と、センサーの出力の関係より、このセンサーは、15~60°の範囲内では誤差はおよそ±5°以内で曲げ角度を測定可能であると判断される。

センサーの誤差については、図5と図6の実験より評価できる。電気的な誤差（図5）は相対的に少なく、機械的な誤差が支配的であると考えられる。よって、このセンサーの測定誤差は、±5°程度と評価される。

2.4 入力デバイスの製作

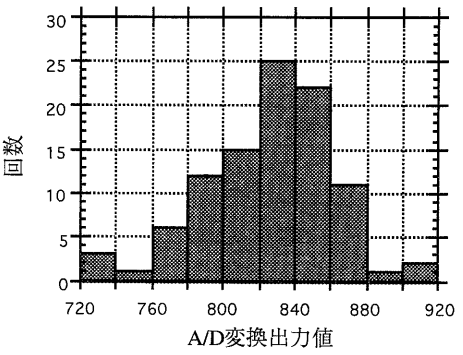


図5　センサー出力値分布（電気的安定度）
試行回数100回　曲げ角度47°

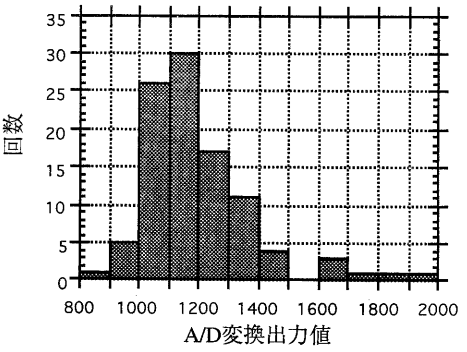


図6　センサー出力値分布（機械的安定度）
試行回数100回　曲げ角度40°

このセンサーを装着した入力デバイスを製作した。（図7）親指から薬指の4本の指の第2関節に、それぞれ一つずつセンサーを取り付けて、指の曲げ角度を測定する。すべての指、すべての関節にセンサーが取付けられてはいないが、これについては次節「インタフェース」のところで解説する。グローブの材質は綿であり、手にフィットするようになっている。グローブからの電流は増幅器で最大5Vの電圧に変換され、12Bit　A/D　変換器により0~4095 のデジタル信号に変換され、パソコンに取り込まれる。

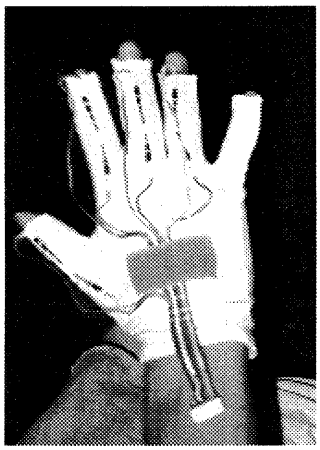
3 インタフェース

入力情報を利用するGWSのフロントエンドプロセッサとしてパソコン（以下PCと書く）をおき、入力デバイスの出力を受ける。PCとGWS の間は

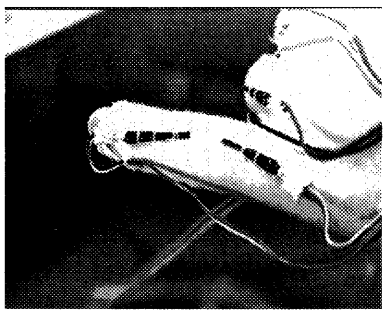
RS232C 回線で通信を行うようにする。デバイスで測定したデータをGWS に送りアプリケーションに渡すため、インタフェースソフトウエアを開発した。今回は、この部分を、C 言語の一つの関数として実現をした。具体的な処理内容は、RS232C を使った通信、上で述べたセンサーのついていない関節の角度値の近似計算、およびアプリケーション側に角度値を渡す処理などである。

3.1 PC,GWS 間の通信方法

まず、RS232C を用いた、PC,GWS 間の通信処理について述べる。今回使用したGWS である IRIS Crimson RE では、Dialbox というダイヤル式のバリュエーターデバイスが利用できるので、そのデバイスポートを利用した。図8に示すようなコードをPC側から送ると、GWS側に用意されている Dialbox



a) グローブ本体



b) センサー部分

図7　製作したデバイス

0	1	2
Header	Data Low8bit	Data High8bit

合計3バイト

・Header は、0x30 + Dial No.
（今回 Dial No. は、0 のみ使用）
・Data は 0~65535 の範囲内

図8　送信データ

数値読み取り用の関数により、センサー1つ分のデータを送信できる。今回のデバイスでは、4つのセンサーを使用しているので、この処理を4回繰り返せば、すべてのセンサー値が受信できる。

また、GWS 側からも Dialbox 文字列書込用の関数を利用することで、PC 側に値を送信できる。現システムでは、これをハンドシェーク用にしか用いていないが、将来的に、反力などを返すシステムに拡張する際に、利用できると思われる。

3.2 角度値の近似計算

角度測定の際に、センサーを、どの指のどの関節に取り付けて角度を測定するか、ということが重要となってくる。人間の手の指には15箇所の関節角があり、その内の何カ所かは、縦と横の2方向に動くために、指の自由度の数は、合計21箇所となっている。この全ての自由度を測定すると、デバイスが複雑化しすぎる。また、同じ指の関節角は相互に依存関係があるため、必ずしもすべての自由度を測定する必要がないと考えられる。そこで、今回のシステムでは簡略化のために、4つのセンサーを用い4箇所の自由度を測定した後、それを用いて全ての指の関節角を近似計算により求めるようにした。

用いた近似式についてであるが、指の各関節には、ある程度の相関関係があることが知られている[2]。これより、各指の第1関節は、第2関節の角度値をもとに(3.1)式の近似によって求めることにした。第3関節角については、手を自然に握ったときの角度変化を考慮して、(3.2)式のようにした。（関節角は図3参照）

$$(\text{第1関節角}) = \frac{2}{3} \times (\text{第2関節角}) \quad (\text{親指以外})$$

$$(\text{第1関節角}) = \frac{7}{5} \times (\text{第2関節角}) \quad (\text{親指}) \qquad (3.1)$$

$$(\text{第3関節角}) = (\text{第1関節角}) \qquad (3.2)$$

また、指の開き角度についても、握ったときは指の間がぴったり閉じて、開いたときには10~15°程度開くという点に着目して、第2関節の曲げ量に応じて、その間を線形に補間するという手法を用いた。

また、小指については、薬指と同じ動きをするとみなした。

以上の近似によって、4つの角度値だけを用いても、簡単な手の形状なら自然な形で再現することができている。

3.3 アプリケーションソフトでの利用について

今回作成したインタフェース関数の利用法について述べる。アプリケーション側で指の状態を知りたいときは、この関数をコールすることで、その瞬間の状態を読み込むことができる。読み込んだ値は、各関節に対応した配列（図9）に収められ、アプリケーションでは、その値をつかって処理を行える。また、あらかじめ定義された指の形状（にぎる、開く、ピースサインなど）を自動的に判定し、その形状に対応したコードを、返り値として渡してくるので、それを利用することもできる。

この関数を組み込むことで、デバイスに装着されているセンサー数などを特に意識しなくても、指の全ての関節角の角度を利用することができる。今後、デバイスのセンサー数が増えたり、測定位置が変化したときでも、関数の引数を変えたり、関数内部の記述を変更したりすれば、アプリケーション側の変更を最小限にとどめることができるように、工夫されている。そのための支援ツールを、現在開発中である。このツールはグラフィカルなシステムであり、デバイスの入力をどう計算してアプリケーションにどう結びつけるかが、ウインドウ上に、アイコンをおいたり、そのアイコン同士を結んだりすることで実現できる。（図10）

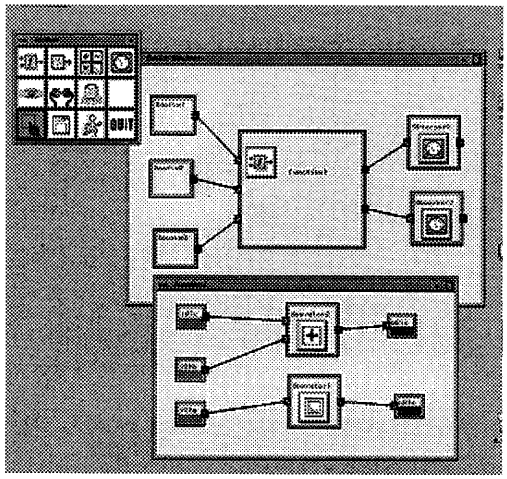


図10　支援ツール画面

4 システムの構成

考案したセンサーを用いて、指動作入力のためのシステムを構成した。システム全体は、デバイス部分と、インタフェース部分の、大きく2つに分けることができる。この2つを含めたシステムの構成図を、図11に示す。

GWS の装置としては、シリコングラフィックス社の IRIS Crimson RE を使用し、アプリケーションソフトとして、指の各関節の角度値を与えると、円筒でモデリングした手を表示するプログラムを使用した。図12に、デバイスを装着した手と、GWS 上で表示した手のモデルを示す。デバイスを装着した手とモデリングした手とを目で比較したところでは、ほぼ同じ動きをしている。

デバイスの反応速度については、ほぼ、アプリケーションのフレームレートに依存している。

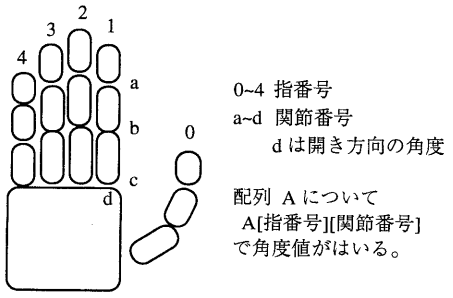


図9　関節の対応図

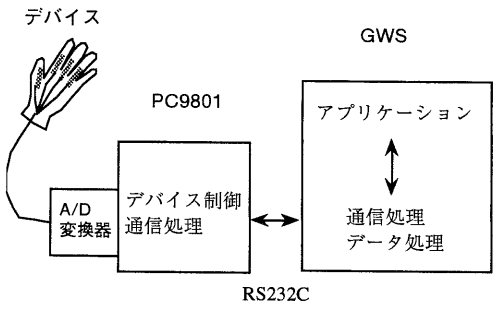


図11　システム構成図

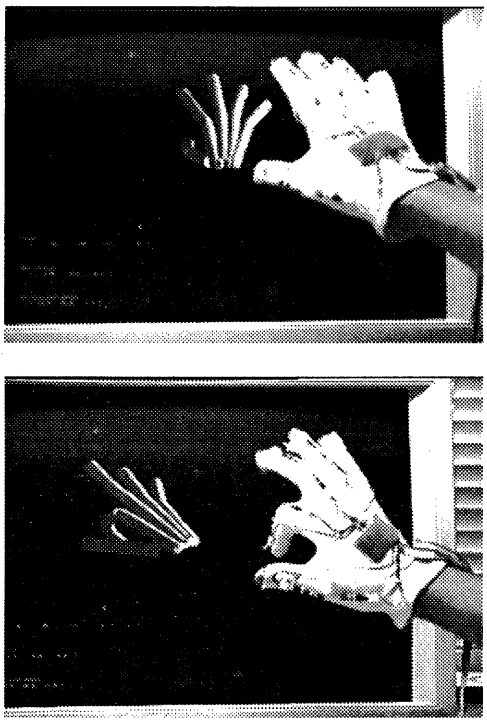


図12　実際に使用しているところ

5 試作システムに関する考察と課題

試作したシステムは、精度面ではまだまだ不十分で、問題点は色々残されている。しかしながら、指の動きの入力システムとしては、一応まとまったものとして構築することができたので、今後はこのシステムの各部をより高精度にし、高機能化に向けて、つめていけば良いと考えられる。今回のシステムにおける課題点としては、以下のようなものがあげられる。

(1) 指入力デバイスについて

まず、測定範囲を広げるという課題がある。今回のシステムでは、安定した角度測定のできる範囲は15~60°であるが、指を伸ばしたときと、いっぱいまで曲げたときの角度を考えると、15° 以下と 60° 以上の部分も測定の必要がある。改良するべき点としてはいくつか考えられるが、センサーに感度の高いPhoto Tr. を用いる、増幅器の増幅率を改良する、などの方法が有効ではないかと思われる。

つぎに精度の向上の課題がある。今回の誤差のほとんどは機械的な部分、すなわち、グローブと手のずれによる、センサーの位置変化により発生したものと考えられるため、この点を改良すれば、精度はかなり向上するものと思われる。具体的な方法としては、グローブをずれにくい材質にすることなどが、あげられる。また、センサーが固定されていればよいので、センサー部分に、指にうまく固定するような金具などを取り付ける方法も考えられる。

(2) システム全体について

センサー出力を角度値に変換する変換式についてであるが、これは使用者によって、補正が必要となってくるチューニング機能の開発も必要である。

将来は、指の開き方向の角度にも対応できること、反力を返すシステムにも拡張することが考えられる。

6 むすび

今回、指の曲げを測定するセンサーを考案し、指の動きを入力できるデバイスを製作した。それをGWS と接続するためのインタフェースを開発して、指の動きを入力するシステムを実現することができた。これらの研究の中で上記デバイスの精度が確認され、また、扱いやすさの評価も行われた。

謝辞

本センサーの原理について御指導いただいた本学応用物理学科の山内健治技官に感謝する。また、日頃熱心に御討論いただく鳥脇研究室の方々にも感謝する。なお、本研究の一部は人工知能研究振興財団の研究助成による。

参考文献

[1] David J.Sturman and David Zeltzer,"A Survey of Glove-based Input", IEEE CG&A, 14(1),1994.1, pp.30-39.

[2] Hans Rijpkema and Michael Girard,"Computer Animation of Knowledge-Based Human Grasping", Computer Graphics (SIGGRAPH '91), 25(4),1991.7, pp.339-348.