

仮想空間内における装着型触覚ディスプレイの開発

田中, 豊 / TANAKA, Yutaka / 雨宮, 賢一 / AMEMIYA, Kenichi

(出版者 / Publisher)

法政大学計算科学研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University / 法政大学計算科学研究センター研究報告

(巻 / Volume)

13

(開始ページ / Start Page)

21

(終了ページ / End Page)

25

(発行年 / Year)

2000-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00024867>

仮想空間内における装着型触覚ディスプレイの開発

雨宮 賢一

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

田中 豊

法政大学工学部機械工学科

近年、高解像度プロジェクタを用いて大型スクリーンに仮想空間の立体映像を投影する没入型ディスプレイが注目されている。このような没入感のある仮想空間内で、操作者と仮想空間とのあいだで臨場感のある双方向性を実現するためには、操作者に直接装着して広い行動範囲を確保する装着型触覚ディスプレイの開発が重要となる。本報では、マトリクス状に配列された複数のノズルから空気流を噴射させ、それらの位相を変化させて操作者の指先に触覚感を擬似的に提示する触覚ディスプレイの、提示予備実験の知見と試作装置への適用結果、および立方体を用いた触覚提示実験の結果について報告する。

1. はじめに

バーチャルリアリティの分野では、これまでに数多くの力触覚ディスプレイが開発されている[1]。それらは据え付け型と装着型の2つに大別できる。据え付け型は装置を机上などに設置して操作する。例えば、PHANTOM[2]やHapticMaster[3]などである。据え付け型の長所は、装置の重量負荷をユーザにかけないことや固定により位置精度を高くできること[4]、短所は、装置の可動範囲が狭いためにユーザの作業スペースを制限してしまうことである。一方、装着型は装置をユーザの身体に直接装着させて操作する。例えば、Rutgers Master[1]や流体グローブ[5][6]などである。装着型の長所は、その可動範囲が大きいことからユーザの作業領域が広がること、短所は、装置の重量負荷がユーザに直接かかることなどである。

したがって広い仮想空間内で作業する場合、ユーザの行動範囲を制限しないような触覚提示用インターフェイス、すなわち装着型インターフェイスの開発が重要となる。本研究では、ユーザが自由に行動できる広い仮想空間内で利用可能な触覚提示用インターフェイスの開発を目標として、指先の触覚感覚に着目し、指先腹部に複数の圧縮空気噴流で刺激を与えることによって、指先が仮想物体に触れた形状を擬似的に提示する指先装着型ディスプレイを試作する。

仮想物体の形状を提示する手法には、複数の小さな突起状アクチュエータをマトリクス状に配列する方法[7] - [9]を用いる。例えば突起状アクチュエータを、触れた物体の形状に合致するように突出状態を変化させることで立方体の角や縁や平面に触れた感覚などを提示することができる。本研究の触覚ディスプレイでも同様の手法を用い、複数の空気噴射ノズルをマトリクス状に配列して触覚を提示する。

また、手に装着するには、小型で軽量のアクチュエータを用いたディスプレイでなくてはならない。空気噴流は駆動部を持たないため、軽量で簡易な構造を持つ触覚ディスプレイを実現することができる。

2. 噴流に対する指先二点弁別閾

空気噴流で指先を刺激すると、人間は圧覚受容器を介して刺激を感じ取ると考えられる。そこで指先圧覚受容器の二点弁別閾を測定し、配列するノズルの間隔と測定した閾値とを一致させる。これにより離散的に配列されたノズルからの噴流刺激を連続的な刺激として錯覚を生じさせ、使用するノズル数も最小限にできる。そこで二点弁別閾を測定する以下の心理物理実験をおこなった。

2.1 測定方法

20代の男子学生からなる10名の被験者に対し、完全上下法による二点弁別閾測定実験をおこなった。被験者は、ノズルの位置を視認したり、その噴射音によってノズルの中心間距離などを予測できないように、視覚・聴覚を遮断した環境下で、噴流刺激に慣れた後に実験を開始した。噴射のターゲットは、指先腹部表面の中心部から指先方向にかけての10 mm四方の部分である。実験に用いた測定装置の概略図を図1に示す。図中マイクロメータ側のノズルの位置をマイクロメータで調整し、0.1 mm刻みで移動させながら、完全に1点もしくは2点に感じられたところでノズル中心間距離を測り、上弁別閾と下弁別閾を求め、二点弁別閾を算出した[10]。

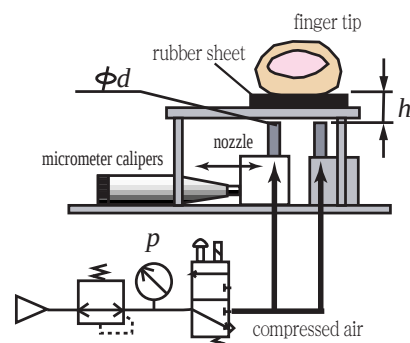


図1．二点弁別閾測定装置

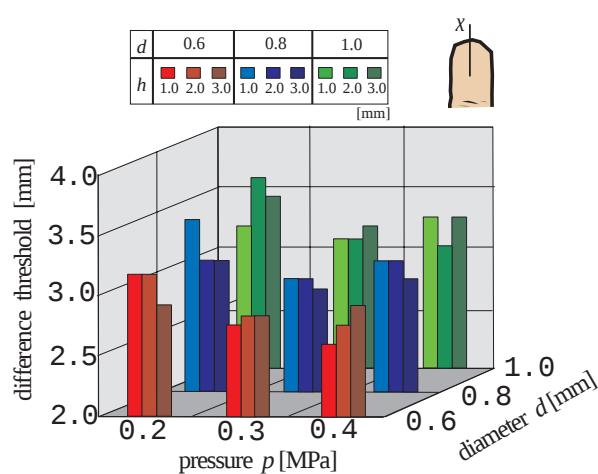
実験は、掌から指先方向に x 軸を、それと直行する方向に y 軸をとり、人差し指と親指の x 方向と y 方向に対してノズル口径 d (mm)、噴出口と指先腹部表面との距離 h (mm)、圧縮空気噴流の制御弁入口圧力 p (MPa)の3つのパラメータを表1に示す値で変化させておこなった。

表1. パラメータ設定値

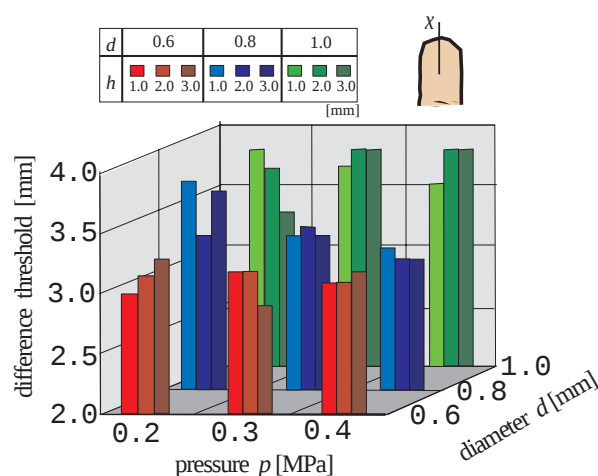
supplied air pressure p [MPa]	0.2	0.3	0.4
nozzle diameter d [mm]	0.6	0.8	1.0
distance from outlet h [mm]	1.0	2.0	3.0

2.2 測定結果

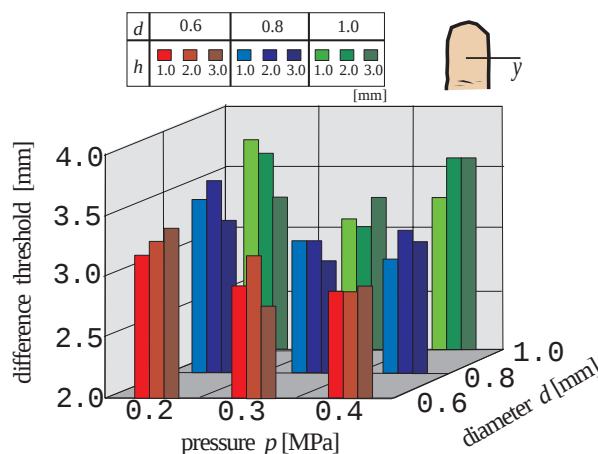
図2(a)に人差し指の指先腹部 x 方向、図2(b)に人差し指の指先腹部 y 方向、図2(c)に親指の指先腹部 x 方向、図2(d)に親指の指先腹部 y 方向、それぞれの二点弁別閾の平均値を示す。横軸に圧力 p とノズル口径 d 、縦軸に平均閾値をとり、3本並ぶ棒グラフを左から順に $h=1, 2, 3$ mmの場合とした。図2から、ノズル口径 d が大きくなると、 h によらず $p=0.3$ MPaにおいて弁別閾は最小となり、一方、 d が小さくなると、ある h までは圧力の増加とともに弁別閾は小さくなるが、それを越えると弁別閾は0.3 MPaで最小となる。また、 d の比較では、 d が小さくなるほど弁別閾も小さくなり、 x 方向、 y 方向の比較では若干 x 方向のほうが弁別閾は小さくなることがわかる。



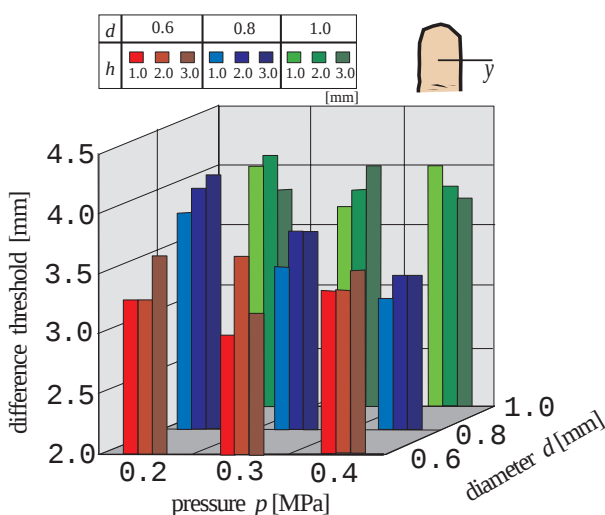
(a) . 人差し指 x 方向



(c) . 親指 x 方向



(b) . 人差し指 y 方向



(d) . 親指 y 方向

図2. 噴流刺激に対する指腹部の二点弁別閾

3. 装着型触覚ディスプレイ

図3に示すのは、前節での実験結果をもとに、試作した触覚ディスプレイの構成図とその装着時外観である。噴出口の配置には、親指と人差し指ともに、 $d = 0.6 \text{ mm}$ 、 $p = 0.4 \text{ MPa}$ 、 $h = 1 \text{ mm}$ での二点弁別閾値を用いた。各ノズルからの噴流の出力を、電子天秤で計測したところ、 0.05 N であった。人差し指用ディスプレイは、8個の口径 0.6 mm のノズルを、それぞれの中心間距離が x 軸方向に 2.6 mm 、 y 軸方向に 2.8 mm で図3(a)に示すように配置されている。同様に、親指用ディスプレイは、噴出口が x 軸方向に 3.1 mm 、 y 軸方向に 3.4 mm で配置されている。外形寸法はそれぞれ $25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ 、 $26 \text{ mm} \times 11 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ である。空気噴出部材質はアクリル樹脂である。噴出口は外部のウレタンチューブ(外径 2 mm 、内径 1 mm)とコネクタを介して接続される。また、指先と提示部の間に厚さ 1 mm のスポンジと、口径 1.5 mm の噴出口を提示部と同様に配置した厚さ 1 mm のシートをそれぞれ挟む。質量は人差し指用と親指用とで合計 22 g である。

4. 触覚提示

4.1 幾何形状提示実験

本実験では表面の滑らかな立方体に触れたときの形状を提示する。実際の物体に触れた感覚と、試作ディスプレイを用いて仮想物体に触れた感覚との比較実験を行った。

4.1.1 実験システム

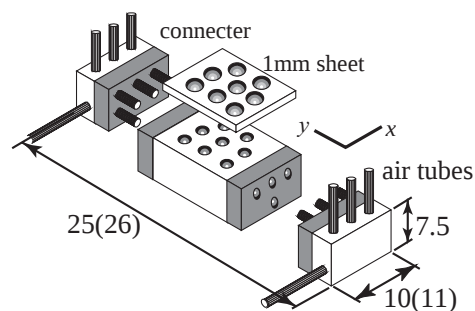
図4は幾何形状提示実験に用いたシステムの構成図である。被験者は人差し指の先に試作したディスプレイを装着し、同時にマウスを操作する。指先の位置はマウスを介してPCモニタ上にOpenGLを用いて描画された球に反映される。PCは接触した仮想物体の形状に合致するように空気噴流をオンオフ制御する。このとき制御弁(KOGANEI 010E1)への空気供給圧力は 0.4 MPa である。制御弁は、オン時 70 ms 、オフ時 15 ms で動作する。

4.1.2 幾何形状の提示

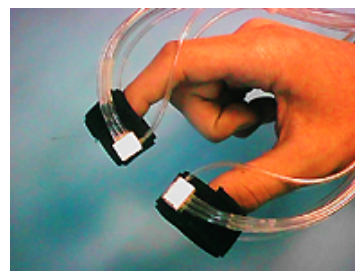
図5は、PCモニタ上に描画された立方体の表面に物体が触れた箇所と、ディスプレイ上の噴流刺激分布の対応関係を示している。(a)は指先 x 方向の縁に触れた場合、(b)は指先 y 方向の縁に触れた場合、(c)は上面に触れた場合、(d)は角に触れた場合の感覚を提示するパターンである。

これらのパターンを組み合わせ、本実験では図6に示すように、(1)指先 x 方向の縁をなぞる、(2)指先 y 方向の縁をなぞる、(3)指先 x 方向に縁-面-縁をなぞる、(4)指先 y 方向に縁-面-縁をなぞる、(5)上面の縁を一周なぞる、の5通りのなぞり動作を行う。

これらのなぞり動作を、CGによる視覚フィードバックがある状態で、試作ディスプレイを使用した経験のある男子学生10名を被験者に行った、被験者には、実際の立方体形状の物体で同様の動作をおこなったときの感覚とを比較してもらい、「同じ感覚」、「ほとんど同じ感覚」、「ほとんど異なる感覚」、「別の感覚」、の4段階で評価し回答してもらった。



(a) . ディスプレイ部構成



(b) . 装着時外観図

図3 . 空気噴流を用いた触覚ディスプレイ

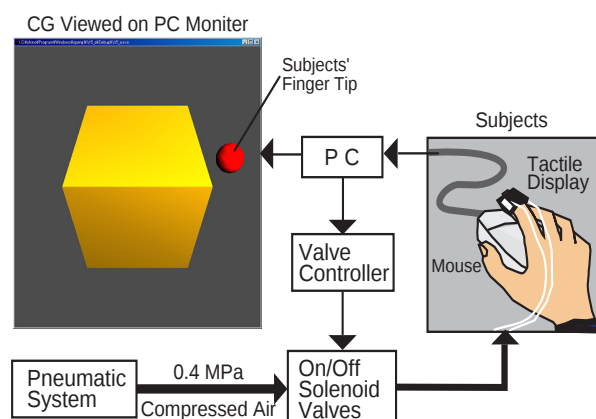


図4 . 触覚提示実験システム構成

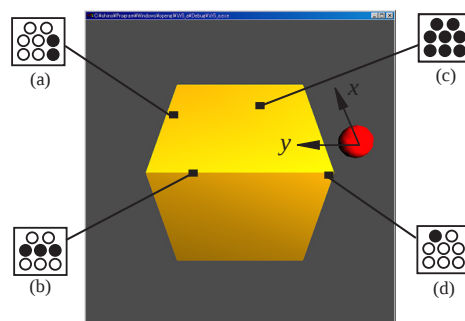


図5 . 接触形状に対応した噴流刺激：●が噴射

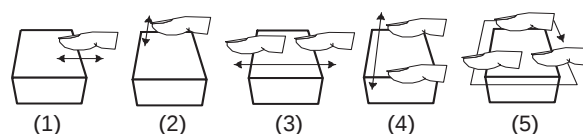


図6 . なぞり動作

4.1.3 実験結果

図7は、立方体を用いた幾何形状提示実験で得られた視覚フィードバックがある場合の実験結果である。いずれの物体形状も、実際の物体に触れた感覚を完全にシミュレートできないものの、実物に触れた擬似的な感覚を提示できることがわかる。また、x軸上とy軸上の縁に触れたときの回答に差があることから、ノズルの配列や数によって感覚が多少変化することがわかる。また、被験者からは、縁から面へ触れる場合に比べ、面から縁へ触れた場合に得られた感覚が大きく異なるとの指摘があった。これは平面に触れた場合に提示される噴流刺激が強すぎるのが原因であると考えられる。

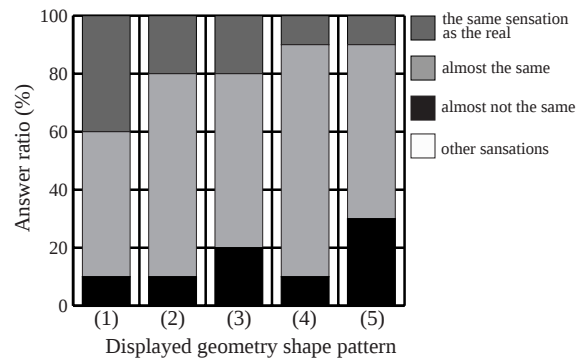


図7．触覚提示実験の結果

4.2 三次元仮想空間内での触覚提示

試作した触覚ディスプレイを作業領域の広い三次元仮想空間に適用する。図8にそのシステム構成図を示す。

装着者の指先の位置は、磁気トラッカ Fastrak(Pohemus社)と指の曲げ角を計測する SuperGlove(日商エレクトロニクス社)によりグラフィックWS Indigo2 (SGI社)上の仮想空間に反映される。仮想空間はWorldToolKit R8(Sense8社)で作成した。WSから触覚ディスプレイ制御用PC(PentiumPro 200 MHz, 64 MB)へはソケット通信により仮想物体との接触情報のみを送信し、空気噴流の噴射をオンオフ制御する。

ハプティックディスプレイの使用経験のある学生に、試作した触覚ディスプレイを人差し指に装着してもらい、指への力覚提示がない状態で、仮想空間内の立方体の周囲を任意に触れてもらった。実験の様子を図9に示す。このとき、平面に触れた感覚は得られるものの、縁や角に触れた感覚は指先の接触状態によって全く異なる感覚がするとの指摘があった。

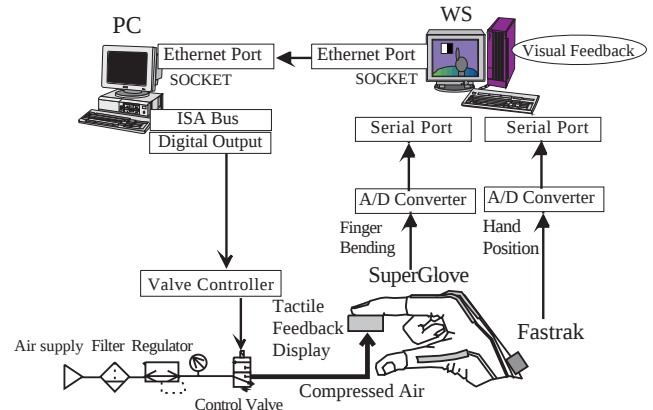


図8．三次元仮想環境内での触覚提示システムの構成

5. おわりに

空気噴流を用いた指先に装着する触覚ディスプレイを試作した。実験を通して立方体の表面に触れた感覚を擬似的に提示できることを確認できた。今後も多様な形状提示実験を行い、試作装置に改良を加え、作業領域の広い仮想環境内で本装置を利用することによって本装置の有効性を検討していく。

最後に、実験用空気圧機器をご提供いただいた株式会社コガネの伊藤氏ならびに実験に協力していただいた、当時法政大学学部生 篠原氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] G. C. Burdea, "Force and Touch Feedback Display for Virtual Reality", New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] T. H. Massie, "Virtual Touch Through Point Interaction", ICAT'96, pp19-38, 1996.
- [3] 浅野, 矢野, 岩田, "フォースディスプレイを用いた仮想環境における手術シミュレーションの要素技術開発", 日本バーチャルリアリティ学会第一回大会論文集, pp95-98, 1996
- [4] 廣瀬, 小木, 矢野, 箕, 中垣, "ワイヤーテンションを用いたウェアラブルフォースディスプレイの開発", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 3, 1998.
- [5] Tanaka, Y. and Kanamori, T., "Dynamic Force Display De-

vice by Pneumatic Pressure Feedback", Proc. 5th FLUCOME, Vol.2, pp.719-723, 1997.

- [6] 田中, 菊池, 金子, "空気圧ベローズを用いた力感覚提示用流体グローブ", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp5-6, 1998.
- [7] Youngblut, C. et. al., "Review of Virtual Environment Interface Technology", IDA Paper P-3186, Institute for Defense Analyses, 1996.
- [8] Ikei, Y., K. Wakamatsu, and S. Fukuda, "Vibratory tactile display of image-based texture", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.17, pp.53-61, 1997.
- [9] Asamura, N., N. Yokoyama, and H. Shinoda, "Selectively Stimulating Skin Receptors for Tactile Display", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.18, pp.32-37, 1998.
- [10] 大山正, 今井省吾, 和気典二, "感覚・知覚ハンドブック", 誠信書房, pp.18-28, 1994



図9 三次元仮想空間内での触覚提示

キーワード

バーチャルリアリティ , 装着型インターフェイス , 触覚ディスプレイ , 空気噴流刺激

Summary.

Portable Tactile Feedback Interface in Virtual Space

Kenichi Amemiya

Graduate School of Engineering, Hosei University

Yutaka Tanaka

Department of Mechanical Engineering, Hosei University

The authors have developed portable force feedback displays to realize the use of force feedback for telerobotic and large-scale virtual environment applications. Tactile sensations as well as force sensations, however, are also required for initial contact detection to virtual objects, because force feedback does not come about prior to any manipulation tasks. In this paper, we have developed a portable tactile display using air jet on a trial purpose to give local shapes of virtual objects and have conducted an evaluation of the perceptual characteristics of the air jet stimulator and the two point difference threshold of index finger pads and thumb finger pads. The tactile display has a eight element array tactile stimulator. In our experiments, subjects are tested to see if they can perceived patterns presented to their finger pad with the device. Two test sets of a cubic geometry shape; the corners, the edge, and the plane surface of the cubic on a PC or a graphics workstation are used to present. It is experimentally verified that the portable display provides the contact sensation for cubic objects.

Key Words.

Virtual Reality, Portable Interface, Tactile Feedback, Air Jet Stimulation, Large-Scale Virtual Space