

三次元分布データの可触化

青野哲巳

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

科学技術データをいかにわかりやすく人間に伝えることができるかという問題が重要になってきている。最近のコンピュータ技術の進歩で、コンピュータグラフィックスによる実環境下の物理現象を表す三次元分布データの表示が可能である。しかし、三次元分布データの理解において従来の視覚提示手法では現実感、相互作用感を表現するには限界がある。そこで、本研究ではデータの理解に、より多くの情報を直感的に理解できる新しい洞察の機会を与えることを目的とし、三次元分布データを表示する際、従来の手法に立体視覚と接触感覚を結び付けている。本報では、バーチャルリアリティ技術を応用したサーフェスモデル提示システムの構築結果について報告する。サーフェスモデルとは、物体の表面形状を定義した三次元分布データのことである。構築したデータセンシュアライゼーションシステムを用いて強化された感覚によるデータの理解と把握の容易性は実験的に確認された。

1. はじめに

科学技術の分野では、複雑で膨大な数値データをいかにわかりやすく人間に伝えることができるかという問題が重要になってきている。物体表面の凹凸や粗さ、物体周りの流体の流れ場、圧力分布、温度分布、三次元濃度分布などの三次元分布データを表現するために、従来様々な視覚提示手法が考案されている。最近では、二次元ディスプレイ上に三次元空間内の多次元データを提示する方法に加え、特殊なメガネを使って立体的に提示する方法も行われている。しかし、従来の手法で現実感のあるインタラクティブな感覚を提示するには限界がある。

最近、こうした視覚情報に加えて接触感覚を提示することにより、より直感的に三次元分布データを理解する試みが始められた[1][2]。これは、各種の力感覚、接触感覚提示装置の開発によるところが大きい。このような触覚を用いて情報表示を行う手法は、可視化に対して、可触化[1] (Haptization)と呼ばれる。Massieら[3]は、指先と仮想物体との相互作用が1点で行われるタイプの接触感覚提示装置 PHANTOMを開発し、微細な触覚表現を可能にしている。岩田ら[4][5]は、パラレルリンク機構を用いた力感覚提示装置 HapticMaster[4]を開発し、ある程度の提示力と操作空間を実現している。また、操作者と仮想物体との接触境界が面であるタイプの HapticScreen[5]を開発している。池井ら[6]は、振動ピン提示形の触覚ディスプレイを開発し、仮想物体の微細な表面形状を提示する手法の検討を行っている。Immersion社によって開発された ImpulseEngine2000[7]は、ジョイスティック型のフォースフィードバック装置で、遠隔操作のマスターコントローラとして利用可能である。ソフトウェアに関しては、廣瀬ら[2]が、仮想空間のコンテンツを作成するのに必要な触覚ディスプレイのための基本ソフトウェア(HIP)の開発を行っている。

本研究では、三次元分布データの表示に際して人工現実感技術を応用し、情報提示に多感覚を使用したデータ・センシュアライゼーション手法の提案および開発を行った。本報では、物体表面の凹凸や粗さの三次元分布データにより表現された仮想物体表面形状と視覚・接触

感覚によるインタラクティブな感覚提示を可能にするシステムの構築結果について報告する。

2. データ・センシュアライゼーションシステムの基本概念

人工現実感技術を応用することによって情報提示に多感覚を使用したデータ・センシュアライゼーション手法

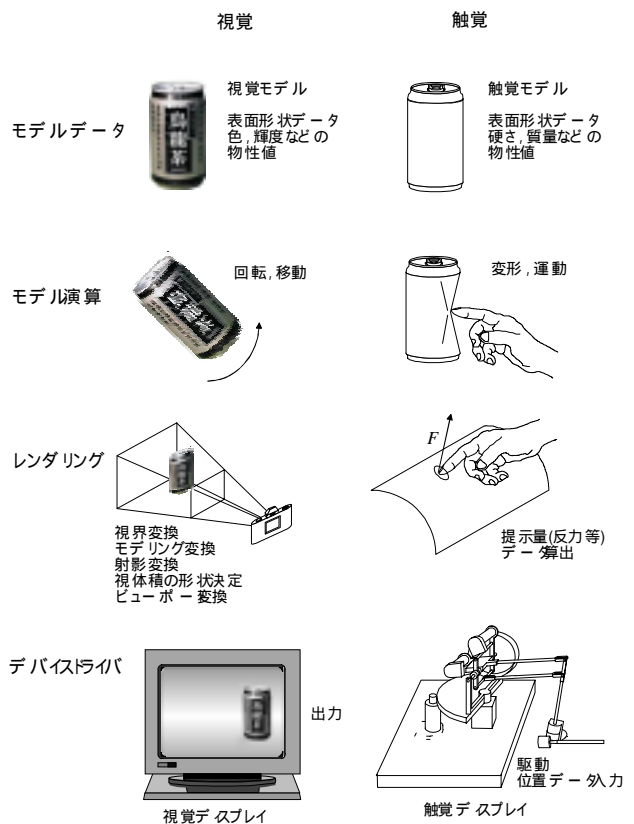


Fig.1 Concept of Data Sensualization System

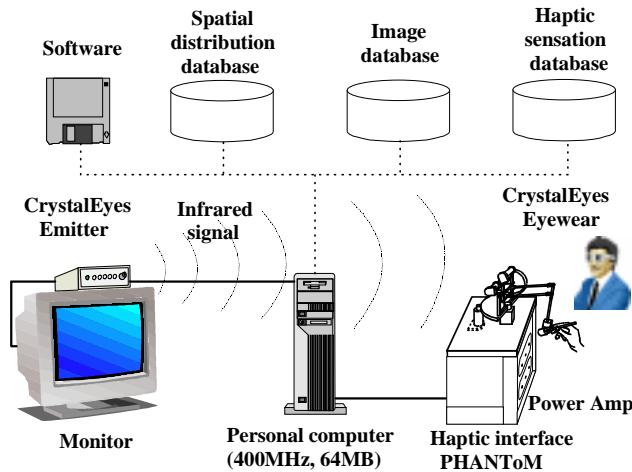


Fig.2 System Configuration

は、聴覚、触覚等の複数の感覚を統合することによって、コンピュータから人間に対して、より正確で効果的な情報の伝達を行い、人間がより多くの情報を直感的に理解出来るようにする手法である。

Fig.1 は視覚提示と触覚提示をともなったデータセンシユアライゼーションシステムの基本ソフトウェアに必要な機能をまとめたものである。このソフトウェアは以下に示す4つの機能が必要である。

(1) モデルデータとその変換機能：モデルデータは、モデル演算で使用されるモデルの形状、色、硬さ、質量等の物性値である。また、モデルデータ変換機能は、外部のシステムで作成された外部形状データファイルを読み込んで、仮想世界のモデルファイルに変換する機能である。

(2) モデル演算機能：この機能は、人間が仮想世界に対し何らかの動作を働きかけた場合に仮想世界を更新し、人間に提示する表示量の計算を行う。視覚においては、描画計算を行い、触覚においては、仮想物体と指先との接触判定、反力計算を行い、そのデータをレンダリング機能におくる。

(3) レンダリング機能：この機能は、仮想空間の中のモデルという大域的情報から操作者の立場(視点、触点)における事象を局所的情報として切り出す機能である。視覚においては視体積を、触覚においては仮想物体のどの部分を提示するかを決定する処理を行う。

(4) デバイスドライバ：この機能は、視覚ディスプレイに出力、触覚ディスプレイを駆動するための機能である。また、触覚ディスプレイにより計測されるセンサデータをレンダリング機能に出力する。

3. ハードウェアシステムの構成

Fig.2 に視覚・触覚をともなった仮想環境を操作者へ提示するためのシステム構成概略図を示す。本ハードウェアシステムは、パーソナルコンピュータ(PC)、触覚感覚提示装置、立体視提示装置から構成されている。中央演算装置である PC(Pentium 400MHz、メモリ 64MB)は、触覚感覚提示装置と立体視提示装置のインターフェイスともなっている。三次元分布データの触覚感覚を提示する装置として、PHANToM を用いた。立体視提示装置としては、CrystalEyes を用いた。

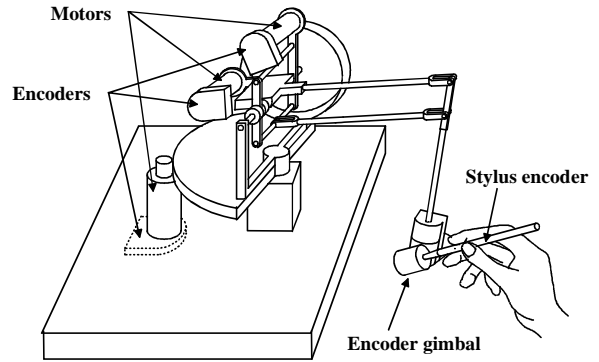


Fig.3 Haptic Interface Device; PHANToM

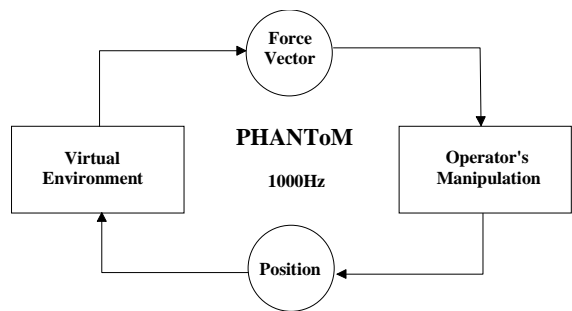


Fig.4 Rendering process for PHANToM

操作者は、液晶シャッターメガネを装着し、PHANToM のスタイラスを握り、PC 上で生成された仮想空間の立体視覚提示を見ながら、仮想の指先カーソルを移動させる。指先カーソルは、PHANToM のセンサによって得られるセンサデータに基づき、仮想空間を移動する。センサデータは指先データとなりアンプを介してパーソナルコンピュータに送られる。パーソナルコンピュータは仮想空間を生成し、指先データに合わせて指先カーソルをユーザーに視覚提示する。指先カーソルがオブジェクトに接触すると、パーソナルコンピュータは反力計算を行い、提示力を算出する。その提示力データに基づく PHANToM 駆動データがパワーアンプを介して PHANToM に送られ、これに合わせて PHANToM が力を提示する。これにより、操作者は指先カーソルが仮想物体の表面にふれた際の触覚を得る。

4. 感覚提示装置

Fig.3 は本研究で触覚感覚提示装置として用いた PHANToM の構造である。PHANToM は操作者に力感覚、触覚感覚を与える装置であり、同時に 3 軸の三次元任意入力センサとして機能する。すなわち指先の位置データをコンピュータに返し、その結果計算された仮想環境内の 1 点に仮想的に生じる力を指先にフィードバックする。その可動範囲は、19.5(奥行き)×27(高さ)×37.5(幅)cm、最大提示力は 8.5N である。

Fig.4 に触覚情報提示のアルゴリズムを示す。プログラムを起動すると、まず、指先データを取得する。次に、得られた指先データは位置データとして出力される。このとき、指先データの指先基準値とオブジェクトの間で

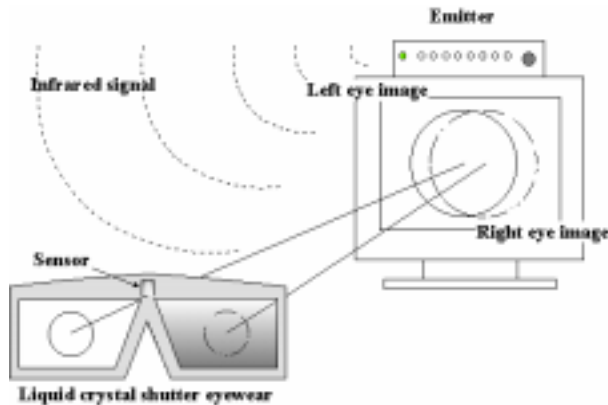


Fig.5 Principle of Stereo Vision System

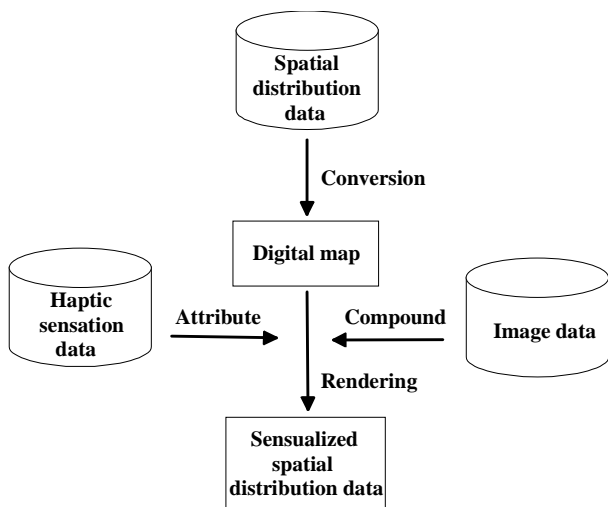


Fig.6 Conversion process

接触判定を行う。ここで、オブジェクトと接触していると判定された場合は、触覚強度データを計算する。最後に、得られた触覚強度データを提示力データに変換して、デバイスドライバに出力する。以上の動作を、デバイスドライバからの指先データの入力がかぎり繰り返す。このプロセスは、1秒間に1000回以上の更新率で処理される。

Fig.5は本研究で立体視提示装置として用いたCrystalEyesである。このCrystalEyesは、時分割シャッターメガネ方式と呼ばれる立体視提示方式により、1つのディスプレイに左目用と右目用の画像を交互に表示させ、時分割シャッターメガネによって左目用の画像が表示されている間は左目のみが、右目用の画像が表示されている間は右目のみが見えるようにする方式である。この方式では画面表示とメガネのシャッタースイッチとの同期をとる必要があり、エミッタはメガネに赤外線信号を送る。

5. ソフトウェアシステムの構成

本研究では、基本ソフトウェア構成の4つの機能を踏まえ、データセンシュアライゼーションシステムのソフトウェアプログラムを開発し、その検討を行った。

本ソフトウェアは、Fig.2に示したように、モデルデータとして表面形状を表わす三次元分布データ（視覚、触覚）、イメージデータ（視覚）、接触感覚データ（触覚）の3つのデータベースよりデータを取得し、仮想環境を構成する。この仮想環境ソフトウェアは、Windows NT上でC++言語を使用し作成した。視覚におけるモデル演算機能、レンダリング機能においてはOpenGLを、触覚におけるモデル演算機能、レンダリング機能、デバイスドライバとしては、GHOSTをそれぞれライブラリとして使用した。ウィンドウシステムの処理には、OpenGL補助ライブラリであるAUXを使用した。

Fig.6は、開発したソフトウェアによるデータセンシュアライゼーション変換プロセスの流れである。プログラムは、大きく分けて3つの段階を経てインタラクティブな仮想環境を表現する。まず、外部のシステムで作成されるか、自分で定義した三次元分布データを座標変換した後、ポリゴンに分割し計算機上に仮想的な物体形状または数値化地図を作成する。これにより物体表面を多数の小さな三角形ポリゴンで近似化して描く。次に、イメージデータを合成する。より写実感のある仮想環境を表現する場合、三次元分布データと対になってデータベース化されている物体表面の写真等、イメージデータを組み合わせる。最後に、この数値化地図にデータベース化された接触感覚の属性を付加する。レンダリングの際、立体視効果のために右眼用、左眼用の視点の異なる2組の画像に加工する。このようにして知覚感覚が強化された三次元分布データが生成される。

6. 適用例

6.1 使用データ

本研究で開発したソフトウェアの動作特性を検証するために、いくつかの仮想環境を作成した。

仮想環境を構築するにあたり、仮想物体の形状を表現するために三次元分布データが必要である。三次元分布データは、関数によって記述された連続型の関数型データと空間に離散的にデータが定義されている離散型データに大別される。関数型データとして、凹凸、鋸波状、三角関数による滑らかな凹凸、四角錐、台形の形状を表現した。離散型データとしては、国土地形を表現した。離散型データの場合は、視覚的な現実感を生み出すために人工衛星ランドサットからの画像をテクスチャマップピングにより地形モデルに貼り付けた。

6.2 実行例および実行結果

前節で示したプロセスにしたがって、プログラムを実行した。今回のプログラムを用いた実行結果をFig.7に示す。図は上から下に、関数型データである凹凸、鋸波状、三角関数による滑らかな凹凸、台形、そして離散型データである国土地形を表現したものである。国土地形は、富士山、甲府盆地、南アルプス山脈を北から眺めた景観に相当する。

Fig.8 に実際の操作例を示す．本システムを利用して三次元分布データを知覚するにあたり，接触感覚については関数型データ，離散型データともに仮想物体と何もない空間の間にはっきりとした差を体感できた．仮想物体の形状はがたつきやノイズなしに表現でき，何もない空間には摩擦，反動，不均衡な重さなどは感じられなかった．しかし，三角関数による凹凸のような曲面を表現する場合，滑らかさを表現するためにポリゴンメッシュを小さくしすぎると，カーソルが仮想物体を突き抜けてしまうという現象が見られた．この現象は，離散型データの国土地形の場合にも見られた．また，四角錐の頂点や4つの四角錐，台形モデルの底面の角が集まっている点のような複数のポリゴンが集中する点では，反力が急激に変化する場合があります，このような点における滑らかさ表現に課題が残った．

視覚については，立体視装置により，仮想物体があたかもその場に浮き上がって存在しているかのように感じられた．しかし，視点の移動やカーソルの移動を行う際，実時間でそれらを描画させることは，実験システムに用いたPCの性能では不十分であった．

7. おわりに

データセンシュアライゼーションのためのソフトウェアを基本構成に基づいて開発し，三次元分布データの可視化と可触化をおこなった．本システムは，接触感覚による相互作用により，視覚的な方法にとっては微細である特徴や，視覚的な場を乱すことなしに他の視覚データによってさえざられる特徴を知覚させることができる．また，立体視提示により，奥行き感のある画像の再現が可能になった．したがって，接触感覚による相互作用は操作者の感覚を強化し，視覚的な方法による相互作用の制約を克服し，データのより直感的な理解を可能にするといえる．つまり，3次元分布データの理解に，視覚提示技術と接触感覚による相互作用が結びついた新しい洞察の機会を与えている．

本システムは，例えば，材料の表面粗さの理解に応用可能である．対象物の表面形状をレーザ変位計で計測し，その高さデータを三次元分布データとし，イメージデータとして顕微鏡写真などを併用することにより，肉眼では見ることができない，または触ることが出来ないミクロな物体表面を立体的かつ可触的に提示することができる．これにより，今まで以上に直感的に表面粗さの理解が可能となる．

今回，三次元分布データに組み込んだ触覚は物体形状，硬さ，摩擦であった．力感覚提示装置 PHANTOM では他に，動きを与えることや，スケーリング，回転，移動などの操作，オブジェクトに連結されていない力を発生させるなどの力感覚，接触感覚が表現可能である．これらを3次元分布データに組み込むことで，流れ，圧力，密度，有限要素モデル等の触覚表現が可能である．

今後の課題としては，ハードウェアの面では，描画性能が不十分であったことから，グラフィクスアクセラレータカードの導入，または計算機能の分割が必要である．本システムでは，仮想環境の生成，接触判定，反力計算，触覚ディスプレイの制御を1台のパーソナルコンピュータで行っており，負荷が大きい．そのための対策として制御機能を分割して，ホストコンピュータと制御用コンピュータの2台の計算機による構成が考えられる．

また，ソフトウェアの面では，本ソフトウェアシステ

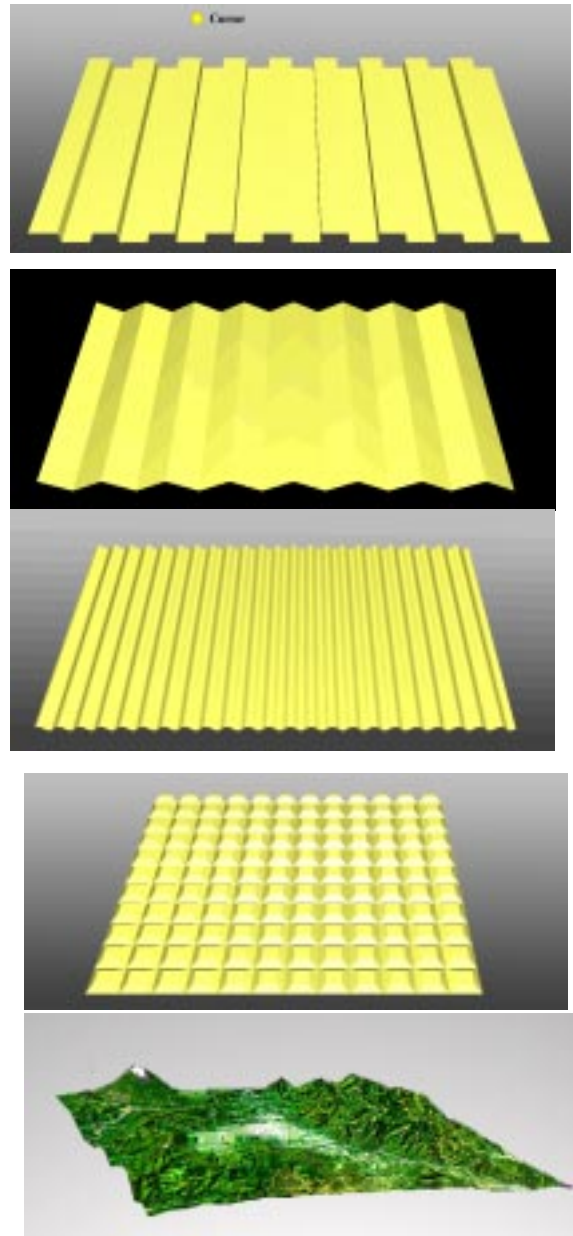


Fig.7 Application for Data Sensualization



Fig.8 Operation

ムのパフォーマンス評価を各種の側面から行うこと、プログラムを各機能ごとにモジュール化することが必要である。モジュール化によって、さまざまなアプリケーションへの応用が可能になるといえる。また、人間の五感の一つである聴覚をデータセンシュアライゼーションシステムに組み込むこともデータのより直感的な理解の上で重要である。

参考文献

- [1] 矢野博明：空間分布データの可触化，日本機械学会第75期通常総会講演会講演論文集()，pp.254-255，1998
- [2] 廣瀬通孝，岩田洋夫，池井寧，小木哲朗，広田光一，矢野博明，寛直之：触覚用共通ソフトウェア(HIP)の開発，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.3，No.3,pp.111-119，1998
- [3] Thomas H. Msssie: Initial Haptic Explorations with the

Phantom: Virtual Touch Through Point Interaction, Masters Thesis submitted to the Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, February, 1996.

- [4] Iwata,H., Artificial Reality with Force-Feedback: Development of Desktop Virtual Space with Compact Master Manipulator, Computer Graphics, Vol.24, No.4, pp.165-170, 1990.
- [5] 岩田洋夫，市ヶ谷敦郎：ハプティックスクリーン，日本バーチャルリアリティ学会第1回論文集，pp.7-10，1996
- [6] 池井寧，山田真理子，福田収一：形状計測データに基づく触覚テクスチャの表示，日本機械学会第75期通常総会講演会講演論文集()，pp.431-432，1998
- [7] Rosenberg,L., D.Stredney: A Haptic Interface for Virtual Simulation of Endoscopic Surgery, Health Care in the Information Age, IOS Press, pp.371-387, 1996.

キーワード.

三次元分布データ、可触化、人工現実感、立体視、接触感覚

Summary.

Haptic Interface for Enhanced Sensation of Spatial Distribution Data

Tetsumi Aono
Graduate School, Hosei University

Yutaka Tanaka
Department of Mechanical Engineering, Hosei University

Recently, it has been more important problem that human comprehensibly communicate to the science and technology data. With the advance on recent computer technology, it is possible that computer graphics displays spatial distribution data for physical phenomena in a real environment. On comprehension of the spatial distribution data, however, conventional visual displaying techniques have not provided realistic image and interaction sensation for representation of the data. The purpose of this study is to give new insights to the comprehension of the science and technology data, when we intuitively understand much information. Stereo vision and haptic sensation are linked with the conventional technique of displaying the spatial distribution data. The word "Haptic" means tactile and/or the sense of touch. This paper describes a surface model displaying system applied the virtual reality technology. The surface model is the spatial distribution data which defines surfaces shape of the object. It is experimentally verified that the data sensualization system enhances human sensation.

Keywords.

Spatial Distribution Data, Sensualization, Haptization, Virtual Reality, Stereo Vision