

# 4次元データの直感的な理解のためのインタラクティブシステム

村田 誠

橋本 周司

早稲田大学理工学部応用物理学科

{makoto,shuji}@shalab.phys.waseda.ac.jp

## 1. はじめに

高次元データは様々な分野で扱われている。もし、高次元データの特徴や傾向が視覚的に瞬時に理解できる方法があれば、マルチメディアデータや多次元情報の把握のための視覚化インタフェースへの応用が期待される。従来、4次元以上の高次元データは統計的手法によって低次元化する処理がされてきたが、我々は4次元データを視覚的に理解するための方法について検討している [1]。

人は2次元画像から3次元形状を復元することが出来る。このことから、4次元データを3次元画像に表現し、その3次元画像から4次元形状が把握できることが期待される。しかし、4次元形状に関する経験的知識が全く無いので、4次元データの理解のためには4次元空間と形状に関する知識を得るための訓練が必要である。

我々は4次元データの訓練のためにモーションキャプチャと大型スクリーンを用いたVRシステムを提案し、ユーザがあたかも4次元空間で4次元データとインタラクションが出来るようなシステムを目指した。本研究は誰にでも4次元データを直感的に理解させるためのトレーニングシステムの構築を目的としている。ここではそのための4次元データの提示方法とその入力インタフェースについて述べる。

## 2. システム概要

4次元データとのインタラクションを実現するために図1に示すようなシステムを構築した。4次元データの直感的な操作を可能にするために、入力インタフェースとしてモーションキャプチャ(Ascension Technology社製 MotionStar)を用いた。このモーションキャプチャは磁気式でワイヤレス方式のため、ユーザはセンサによって動きが制限されることなく自由に3次元空間内を動き回ることが出来る。センサの測定可能範囲はスクリーン前方の半径約2-2.5mの半球内である。ユーザは、頭部と両手に計3個のセンサを装着し、これらの3次元位置データは実時間で取得され、100Base-T Ethernetを通じてコンピュータ(SGI Onyx2)へ送られる。Onyx2では、ユーザの位置データから4次元データの3次元への投影

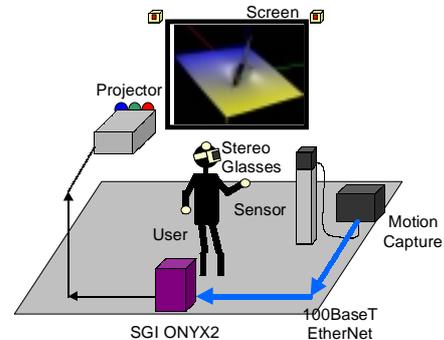


図1. システム概要

図、断面図が計算され、100 inchのスクリーンにステレオ描画される。ユーザは液晶シャッター眼鏡によって、その3次元形状を観察することが出来る。

## 3. 4次元データの提示方法

本システムは4次元データの3次元空間への投影図および4次元データを3次元超平面で切った断面図の2種類の提示方法を用い、ユーザはどちらかを選択することができる。本研究で提示を試みる4次元空間は幾何学的な4次元ユークリッド空間であり、3次元空間に時間軸を加えた4次元には限定されない。

### 3.1 投影

4次元データの投影図による提示方法は、3次元CGのレンダリング手法を4次元に拡張したものである。4次元の視点と視体積を定義すれば、4次元のオブジェクトを3次元のスクリーンに投影することが出来る。4次元の視点が変われば投影された3次元形状も変化する。この視点位置の変化に応じた3次元形状の変化が4次元データの理解の助けになることが期待される。処理の流れを図2に示す。

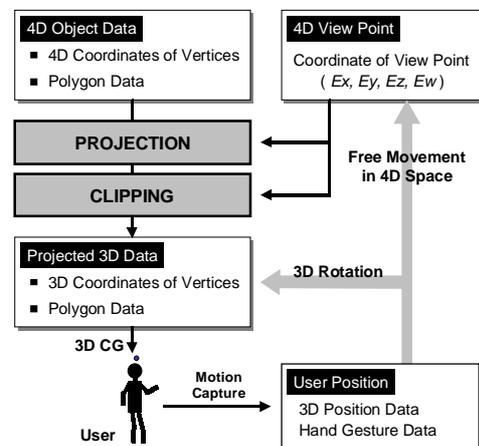


図2. 投影の処理の流れ

Interactive System for Intuitive Understanding of 4D Data  
Makoto MURATA, Shuji HASHIMOTO  
{makoto, shuji}@shalab.phys.waseda.ac.jp  
Humanoid Robotics Institute, Waseda Univ.  
17 Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0044, JAPAN  
Tel:+81-3-3203-4385, Fax: +81-3-3208-8714

### 3.2 スライス

4次元データの断面図による提示方法は、4次元オブジェクトを3次元空間によってスライスし、その断面形状の変化を観察する方法である。4次元オブジェクトと3次元超平面の断面は3次元の幾何学オブジェクトとなり、切断超平面の平行移動に応じて3次元形状が変化を見せる。この切断方向の変化と平行移動に応じたインタラクティブな3次元形状のアニメーションが、4次元データの理解の助けになることが期待される。処理の流れを図3に示す。

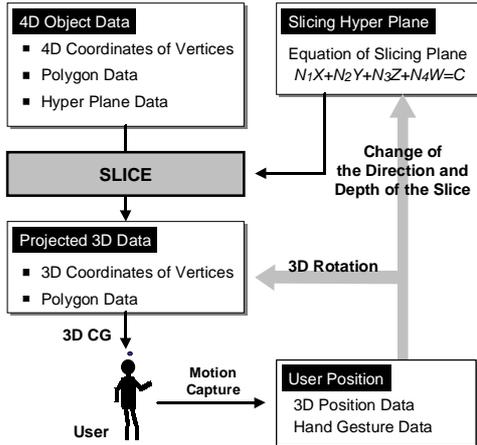


図3. スライスの処理の流れ

### 4. 入力インターフェース

入力インターフェースとしてユーザの頭部、両手の計3点にセンサを付けたモーションキャプチャを使用し、ユーザが3次元空間内を移動することにより連続的に4次元データを任意の方向から投影または切断できるようにした。まず、図4に示されるようにユーザが移動する3次元空間内の原点を半径1の4次元球面上の点(0,0,0,1)に対応付ける。つまり、ユーザが3次元空間の原点から(x,y,z)の方向へ距離dだけ進んだとき、4次元球面上の点(0,0,0,1)での(x,y,z,0)の方向へ4次元球面上に沿って距離dだけ進むように対応させる。例えば、3次元で距離2進むと4次元球面上で再び点(0,0,0,1)に戻ってくる。この対応付けによって頭部センサから取得されるユーザの3次元位置を半径1の4次元球面上の点に対応させることができる。4次元球面上の点を、投影図では4次元の視線方向ベクトル、断面図ではスライスの方つまり切断超平面の法線ベクトルに対応させる。

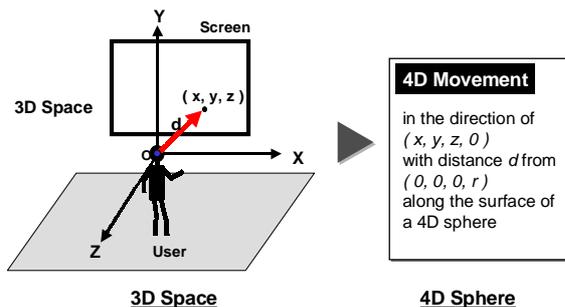


図4. 3次元空間と4次元球面の対応付け

また、両手に付けたセンサ間の距離に比例して、投影図の場合には原点と4次元の視点の間の距離、断面図の場合には原点と切断超平面の間の距離を定義する。3次元に提示された投影図、断面図の形状を把握するために、両手の先を結ぶ方向を3次元形状を観察する3次元の視点に対応付けた。

### 5. 4次元データの具体例

本システムで提示することが出来る4次元データの例を示す。図5は左から4次元立方体、複素関数  $f(z) = 1/z$ 、4次元迷路を投影図を示す。図6は4次元立方体のスライス。図7は投影図においてユーザの移動が4次元の視点に対応している様子、図8は断面図において両手間の距離がスライスの深さに対応している様子を示している。

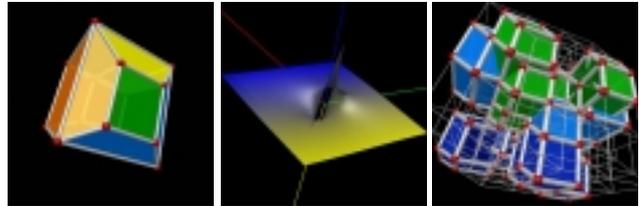


図5. 投影図 - 4次元立方体, 複素関数, 迷路



図6. 断面図 - 4次元立方体

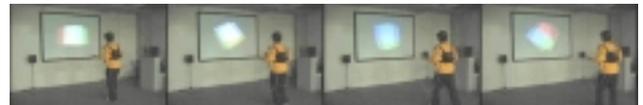


図7. 投影図: ユーザの移動 4次元の視点

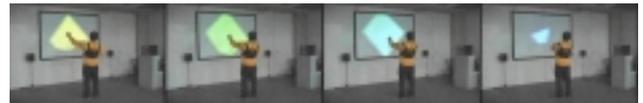


図8. 断面図: 両手間の距離 切断超平面の移動

### 6. まとめ

4次元データを直感的に理解するためのインタラクティブシステムを提案した。ユーザの3次元位置と4次元データを囲む4次元球面上の対応付け、3次元空間での移動に応じて、4次元データを任意の方向、位置からそれぞれ投影図、断面図として観察することができた。現在はここに述べた4次元データの提示・操作方法をさらに次元の高い統計データに応用して、データの大まかな傾向と細部の特徴を自由に観察できるデータビューワについての検討を行っている。

### 参考文献

- [1] 村田誠, 橋本周司 "4次元データの提示方法に関する研究" インタラクシオン '99, 情報処理学会, pp.135-136 (1999)