

研究背景

3次元空間の経験および情報がある。
⇒ 3次元立体の様々な2次元透視図を描くことができる。
⇒ 2次元透視図から3次元立体を想像できる。

3次元立体

視点①

視点②

視点③

2次元透視図①

2次元透視図②

2次元透視図③

4次元空間の経験および情報がない。
⇒ 4次元立体を直感的に理解することは難しい。

超立方体の3次元透視図

←4次元空間の1軸方向からの投影

超立方体は、立方体の中に立方体があるように3次元空間で表現される。

研究目的

人間が4次元空間を経験し理解するためのリアルタイムかつインタラクティブな環境を提供する。

4次元空間ディスプレイの開発・活用

① 4次元立体の表現
② 4次元空間の表示システムの構築

③ コンテンツの制作

④ 4次元空間の幾何

⑤ 4次元空間の理解

4次元のデータ構造（幾何情報・位相情報）
○ Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2004)
4次元立方体の可視化、4次元空間の移動可能性・操作性を重視した構成、人間の直感に合うインタフェース
○ Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2006, 2007)
○ 酒井幸仁 著（本邦）(2007)
4次元視点の制御
没入型のバーチャルリアリティシステムによるインタラクション
三輪貴信, 酒井幸仁, 橋本周司 (2013)
Takanobu Miwa, Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2015)
4次元空間での3次元運動
○ Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2007)
複素関数、3変数関数
○ Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2011)
4次元の幾何要素と幾何判定
○ Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2011)
○ Yukihito Sakai (2023)
3次元の幾何要素への拡張
○ Yukihito Sakai (2025)
人間の4次元空間移動および考察
Takanobu Miwa, Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto (2018)



2011

4次元空間を直感的に移動しながら、4次元データの3次元投影図を観察できれば、体験を重ねることで4次元空間の情報を獲得できる。

4次元空間ディスプレイ



2006

4次元空間の可視化：モデルとプロセス

4次元ユークリッド空間

視点 p_f から後方境界超平面までの距離： f
3次元スクリーン： $2k \times 2k \times 2k$
注視点： p_a
視点： p_f
視点 p_f から3次元スクリーンまでの距離： h
3-D
4-D
 x_w, y_w, z_w

$[x_w, y_w, z_w, w_w, 1]$
4次元ワールド座標系

$T_p(p_f, p_a)$
4次元視野変換

$[x_e, y_e, z_e, w_e, 1]$
4次元視点座標系

$T_p(k, h, f)$
4次元透視変換

$[X_s, Y_s, Z_s, W_s, V_s]$
3次元スクリーン座標系

4次元クリッピング処理

$[X_s, Y_s, Z_s, W_s, V_s] = [x_s, y_s, z_s, w_s, 1]$
3次元スクリーン座標系

ワールド座標系データ ⇒ 3次元透視図データ

視座点： p_f
注視点： p_a
3次元スクリーンの大きさ： k
視点 p_f から3次元スクリーンまでの距離： h
視点 p_f から後方境界超平面までの距離： f

様々な視点から任意方向をみて4次元データを観察できる。
視野を制御することで、中心投影、平行投影、スライス等、多様な提示が可能である。

4次元空間でのインタラクション：4次元球面と3次元空間の対応

4次元球面

4次元球面上に沿っての移動

4次元球面上での回転

4次元球面上での回転と移動 ⇒ 3次元球面上での移動と視野の上方向への移動

3次元空間

3次元空間の上方向への移動

3次元球面上に沿っての移動

ハンドル操作

右ボタン操作

3次元球面上に沿っての移動 ⇒ 4次元球面上での回転

3次元空間の上方向への移動 ⇒ 4次元球面上に沿っての移動

フライトシミュレータと同様のユーザインタフェースで4次元空間を移動することができる。
裸眼立体ディスプレイには4次元空間での位置と方向に応じた4次元データの3次元投影図が生成される。

4次元データの観察：4次元立体・3変数関数・複素関数の例

超立方体

$p_f(0,0,0,1.5), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f2.5$

正120胞体

$p_f(0,0,0,1.5), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f2.5$

3次元ガウシアン関数

$p_f(0,0,0,1), p_a(0,0,0,0), k1, h0.6, f0.8$

複数のピークをもつ3次元ガウシアン関数

$p_f(0,0,0,1), p_a(0,0,0,0), k4, h0.6, f0.8$

$f(Z) = 1/Z$

$p_f(0,0,0,4), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f200$

$f(Z) = e^Z$

$p_f(0,0,0,10), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f200$

$f(Z) = Z^3$

$p_f(0,0,0,30), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f200$

$p_f(1,1,1,1), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f2.5$

$p_f(0,0,0,1000), p_a(0,0,0,0), k0.5, h400, f2000$

$p_f(1,1,1,1), p_a(0,0,0,0), k0.5, h0.5, f2.5$

$p_f(0,0,0,1000), p_a(0,0,0,0), k0.5, h400, f2000$

$p_f(0,0,0,1.6), p_a(0,0,0,0), k1, h0.6, f0.8$

$p_f(0,0,0,1.6), p_a(0,0,0,0), k4, h0.6, f0.8$

まとめと今後の展望

直感的に4次元空間を移動して様々な4次元データを観察できるリアルタイムかつインタラクティブな環境を構築した。

4次元グラフィックスの一般化を行うとともに、多様なメディアによる4次元インタラクションの実現に取り組んでいく。

1/1