

主消点操作の4次元視点移動による4次元立体迷路の探索

三輪 貴信[†] 酒井 幸仁[‡] 橋本 周司[†]

[†]早稲田大学 [‡]福岡大学

1. はじめに

4次元を理解するためには、4次元空間を体験できる仕組みとそれをういた訓練が必要であると考えられる。我々は、人間の空間認知を4次元に広げることを目的として、3次元空間の主消点を操作して4次元空間の視点移動を簡単に制御できるインタラクティブシステムを開発した[1][2]。主消点の位置情報から4次元空間の視点位置や視線方向、4次元データの平行性・直交性を視覚的に理解する手掛かりを得られ、経験を積むことで4次元空間が理解できるようになる。このシステムは、従来の可視化手法[3]と異なり、4次元空間を自由に動き回って任意の位置と姿勢から4次元データを観察することが可能である。また、評価実験からは、先行研究[4]よりも4次元空間でのインタラクションに適していることがわかって

いる。これまで4次元空間を自由に移動して比較的理解の容易な4次元立体を観察する環境が実現した。さらに、4次元空間に進める方向や進めない方向等の制限があったとしても、その空間構造を把握した上で所望の視点移動を果たすことができるのか確かめることが次の課題である。本論文では、拘束のある4次元環境として複数の超立方体を組み合わせた迷路を用意し、4次元空間の視点位置や視線方向、4次元データの平行性・直交性の理解が4次元立体迷路の探索に役立つことを確認する。

2. 4次元空間の可視化による主消点

4次元データの3次元投影図は、4次元ワールド座標系 x_w, y_w, z_w, w_w で定義されたデータを3次元スクリーン座標系 x_s, y_s, z_s, w_s のデータに変換することによって得られる[4]。図1に示すように、視点 p_f から注視点 p_a の方向を視線とし、視点 p_f から距離 h の位置を中心とする3次元スクリーン $2k \times 2k \times 2k$ と距離 f に位置する後方境界超平面で規定される4視点ピラミッドを視野として、その内側にある4次元データが3次元スクリーン上に透視投影されて可視化される。この変換プロセスは、4次元視野変換、4次元透視変換、4次元クリッピング処理で構成される。5次元同次処理を用いているため、任意の4次元データを無限遠点まで含めて統一的に扱うことが可能である。特に、4次元ワールド座標系の各主座標軸方向の無限遠点を透視投影すると、3次元空間に主消点 vp_x, vp_y, vp_z, vp_w となって現れる(図2)。4次元空間で視線変更や視点移動を行えば、それに応じて3次元スクリーン上の主消点の数と位置に変化が生じる。これらの3次元投影図は、主消点の数に応じて1点透視図、2点透視図、3点透視図、4点透

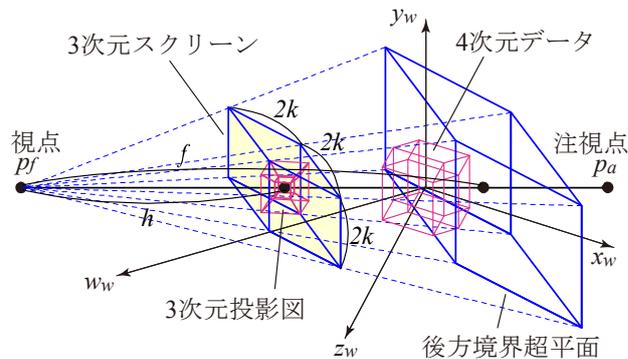
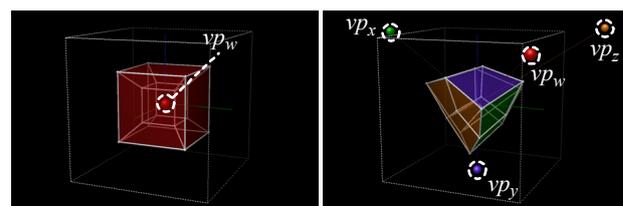


図1: 4次元空間の可視化モデル。



1点透視図 $p_f(0, 0, 0, 1.5)$
 $p_a(0, 0, 0, 0)$

4点透視図 $p_f(0.75, 1.1, 0.53, 0.53)$
 $p_a(0, 0, 0, 0)$

図2: 超立方体の3次元投影図と主消点の可視化。

視図に分類される。図2に示す超立方体の1点透視図と4点透視図からわかるように、4次元ワールド座標系の各主座標軸に平行な稜線は、3次元投影図中においては、それらの稜線を延長すると主消点に向かって交わる。これらの性質から主消点は、4次元空間の視点位置や視線方向、4次元データの平行性・直交性を視覚的に理解する手掛かりとして働くことがわかっている[1][2]。

3. 主消点操作によるインタラクティブな4次元視点移動

我々は、3次元空間に表示された主消点の位置関係から4次元空間での視線方向を決定するアルゴリズムを提案した[1]。また、この手法を視線方向への視点移動と組み合わせることで4次元空間を自由に探索できるインタラクティブシステムを開発した(図3)[2]。ユーザが装着するヘッドマウントディスプレイに4次元データの3次元投影図と主消点が立体映像として表示される。4次元空間の視線制御は、画面に表示された3次元カーソルを使って主消点を掴んで動かすことで行われる。この3次元カーソルはモーションセンサがトラッキングしたユーザの手の動きと連動している。3次元カーソルを主消点に重ねた

Four-dimensional Maze Exploration Using 4-D Fly-through Experience via Principal Vanishing Points Operation

[†]Takanobu Miwa, [‡]Yukihito Sakai, [†]Shuji Hashimoto
[†]Waseda University, [‡]Fukuoka University



図3: インタラクティブシステムの構成.

状態で、手にもつ小型無線マウスのボタンを押すと主消点を掴めて、そのまま手を動かすとその方向に主消点を動かせる。4次元空間の視線方向への視点移動は、小型無線マウスのサイドボタンを押すことで行われる。このようにユーザは主消点を直接手で掴むような感覚で4次元空間の視線と視点を操作することができる。また、モーションセンサと6軸センサはユーザの頭部の位置と姿勢もトラッキングしており、ユーザが3次元仮想空間を動き回って様々な方向から3次元投影図を観察することを可能にしている。

4. 4次元立体迷路の探索

前述したインタラクティブシステムを用いて、4次元立体迷路の探索実験を行った(図4)。4次元立体迷路は、複数の超立方体が隣り合うもの同士で1つの胞(立方体)を共有するようにつながることによって構成され、 x_w, y_w, z_w, w_w 軸と平行な方向に伸びる通路と直角の曲がり角を含んでいる。また、それぞれの超立方体は、スタート地点が緑、通路が青、行き止まりが橙、ゴール地点が赤になるように色分けされている。探索開始時に4次元空間の視点は、スタート地点の超立方体の中心におかれている。そこから、視点の視線方向への移動と、主消点操作による視線の変更によって、超立方体の内側を通り抜けるようにして迷路を探索する。図4(a)に迷路の基本的な構造である通路と行き止まりを示す。4次元空間の視線方向は、3次元スクリーンの中心に向かう方向であるから、通路は、大きな立方体とその内側にある小さな立方体が主消点に向かう稜線で接続されているように可視化される。よって、大きな立方体の内側に小さな立方体が表示されていないか、表示されていても稜線でつながっていない場合は行き止まりである。図4(b)に、通路の突き当たりにある三叉路を通り抜ける例を示す。このような場合、曲がった先の通路が今いる通路に重なるように可視化される。また、突き当たりで視線を変更している間も、主消点を手掛かりに4次元空間の平行性・直交性を把握することができ、迷路の構造を視覚的に理解することが可能である。このような基本的な構造の理解は、より複雑な4次元立体迷路を探索するときに役立つと考えられる。

5. まとめ

主消点操作による4次元空間の視点移動手法を用いた4次元立体迷路の探索について述べた。主消点を4次元空間の平行性・直交性を理解するための手掛かりとして用いることで、4次元立体迷路を構成する通路の奥行きや曲

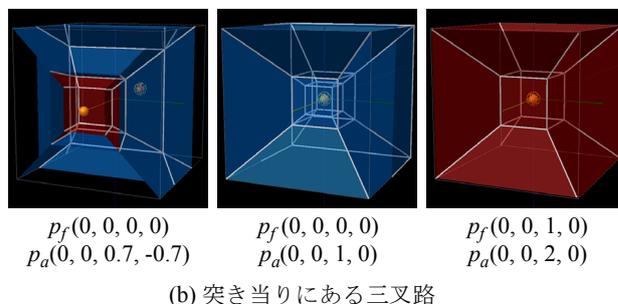
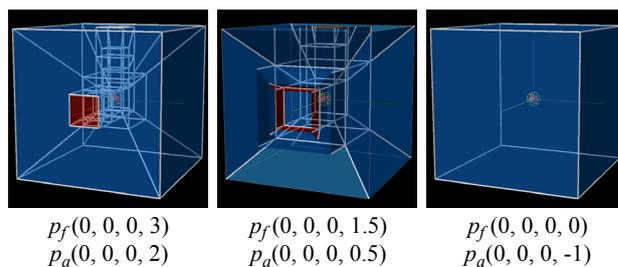
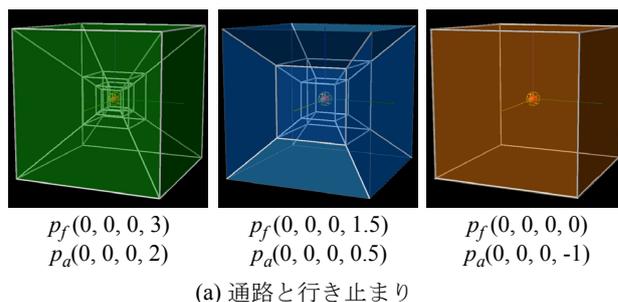


図4: 4次元立体迷路の探索.

がり角を視覚的に理解できることが確かめられた。今後は、この迷路を用いて4次元の空間認知に関する実験を行うことを考えている。

謝辞

本研究の一部は、グローバルCOEプログラム「グローバルロボットアカデミア」、文部科学省卓越した大学院拠点形成支援補助金の研究助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 三輪 貴信, 酒井 幸仁, 橋本 周司: 主消点操作による4次元視点とその評価, 芸術科学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp. 162-174 (2013年12月).
- [2] Takanobu Miwa, Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto: Four-dimensional Viewing Direction Control by Principal Vanishing Points Operation and Its Application to Four-dimensional Fly-through Experience, Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference, pp. 95-104 (November 2013).
- [3] Xiaoqi Yan, Chi-Wing Fu, Andrew J. Hanson: Multitouching the Fourth Dimension, IEEE Computer, Vol. 45, No. 9, pp. 80-88 (September 2012).
- [4] Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto: Interactive Four-dimensional Space Visualization Using Five-dimensional Homogeneous Processing for Intuitive Understanding, The Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol. 60, No. 10, pp. (108)1630-(125)1647 (October 2006).