

光線空間の直感的理解を目指した可視化に関する研究

三輪 貴信[†] 酒井 幸仁[‡] 橋本 周司[†]早稲田大学[†] 東洋大学[‡]

1. はじめに

光線空間法では、3次元空間を行き交う光線の輝度を4次元スカラー関数で表現する[1]。そのため従来のピクセル単位の画像処理では困難であった自由視点画像合成[2]やlight field camera[3]などを可能にする。こうした背景から光線空間を見通しよく扱うための手法が必要とされているが、4次元情報である光線空間を直感的に把握すること自体が難しい。本論文では、光線空間を3次元空間に投影して可視化する手法を提案する。提案手法で様々な方向から光線情報を観察することで、光線空間の直感的な理解を目指す。

2. 光線空間の可視化

光線空間のパラメータは、2つの平行する基準面を用いて表現される。つまり、図1のように、camera plane と呼ばれる平面が光線を観測する位置 (x, y) を、focal plane と呼ばれる平面が観測する光線の通過する位置 (u, v) を表すように基準平面を定める。これにより、camera plane における光線情報は、4つのパラメータ (u, v, x, y) を用いて、位置および方向毎の光線の輝度を示すスカラー関数 $L(u, v, x, y)$ として表される。光線情報 $L(u, v, x, y)$ は、2次元カメラアレイを用いることでサンプリングできる。

各光線は、4次元ユークリッド空間中の点に対応し、各光線の輝度（あるいはRGBの3要素を与えれば色）情報をその点に与えれば、光線空間は全体として4次元オブジェクトを構成する。ここでは、4次元視野変換と4次元透視変換を用いて、この4次元オブジェクトを表示することで光線空間の可視化を試みる[4]。4次元視野変換は、4次元ワールド座標系 u_w, v_w, x_w, y_w に配置された各光線を4次元視点座標系 u_e, v_e, x_e, y_e に変換するものであり、任意の視点からの観察を可能にする。4次元投影変換は、各光線を3次元空間 x_s, y_s, z_s に投影するものであり、投影方法は透視投影と平行投影を用意した。これにより、4次元光線空間内の任意の位置および姿勢から光線情報を観察する

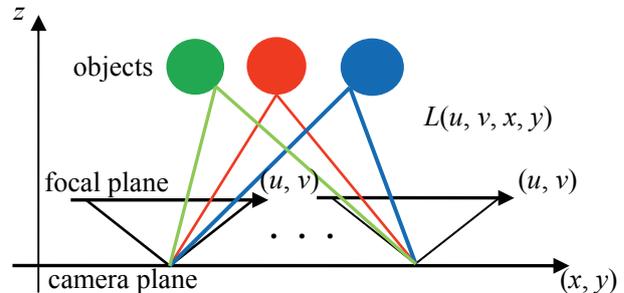


図1 光線空間のパラメータ

Figure 1 Parameterization of 4-D light field.

ことができる。

3. 実験

光線空間を様々な視点から観察することで提案手法の有効性を検証した。光線情報は、コンピュータグラフィックスで作成した3次元シーンを仮想カメラアレイでサンプリングしたものである(図2)。光線情報の解像度は、 (x, y) 方向に 20×20 、 (u, v) 方向に 20×20 である。各光線の4次元空間での座標は $-1 \leq u, v, x, y \leq 1$ となるよう正規化してある。

3.1. 光線空間の3次元投影図

図3(a)は、 y_w 軸上に視点を置き、透視投影によって得られた光線空間の投影図を俯瞰したものである。この投影では、大きさの異なる立方体が同心状に並び、各光線はその立方体の内側を埋めるように投影される。このとき最も外側に位置する立方体が $y = 1$ の光線群、最も内側に位置する立方体が $y = -1$ の光線群に相当する。3次元空間の z_s 軸上には、 x 軸に沿ってカメラアレイで撮影された画像が並ぶ。

図3(b)は、同じ光線空間の平行投影による投影図である。この場合は透視投影図と異なり光線の (u, v, x) の値が同じであれば y の値が異なっても3次元空間内の同じ位置に投影され、重なって表示される。

図3(c)は、図3(a)を x_s 軸方向から観察したものである。特定の (u, v) 方向からの光線だけを集めて得られた画像が x_s 軸に沿って整列する様子が確認できる。

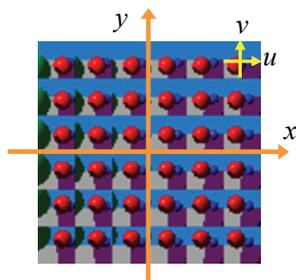


図2 光線のサンプリング
Figure 2 Sampling of light ray.

図 3(d)は、図 3(a)を y_s 軸方向から観察したものである。 v の値を固定して得られる EPI (Epipolar Plane Image) が y_s 軸に沿って整列する様子が確認できる。

3.2. 視点変更による観察

図 3(e)は、図 3(a)の状態から 4 次元空間中で視点を変更することで得られた投影図である。 3 次元シーン中の赤い球体 (図 2) からの光線が投影図を一周するように閉じた領域にあることが観察できる。これは 3 次元的な EPI と捉えることができ、そのスクリーンに対する傾きは元の 3 次元シーン中の奥行きと対応する。このことから視点を変えながら光線空間を観察することでシーンに含まれる 3 次元的構造も捉えることができると考えられる。

3.3. 投影図の切り口

図 3(f)は、図 3(b)の平行投影図を $z_s = x_s$ で表される平面で切断した結果である。断面は元のシーンを camera plane より後方から撮影した画像と等しい。このように投影図を適切にスライスすることで自由視点画像合成[2]のように任意のイメージを表示することができる。また、3 次元空間へ投影する前の段階で光線空間を任意の超平面や超曲面で切断すれば、より多様な画像合成ができると考えられる。

4. まとめ

本論文では、4 次元の光線空間情報を 3 次元空間に投影して可視化手法を提案した。提案手法は光線空間の 3 次元投影図を様々な視点から観察することで光線空間の理解を促すものである。また、撮影シーンに含まれる 3 次元的構造や自由視点画像の提示方法としても期待できる。

今後は、光線空間を観察することで得られる知見を系統立ててまとめるとともに、光線空間

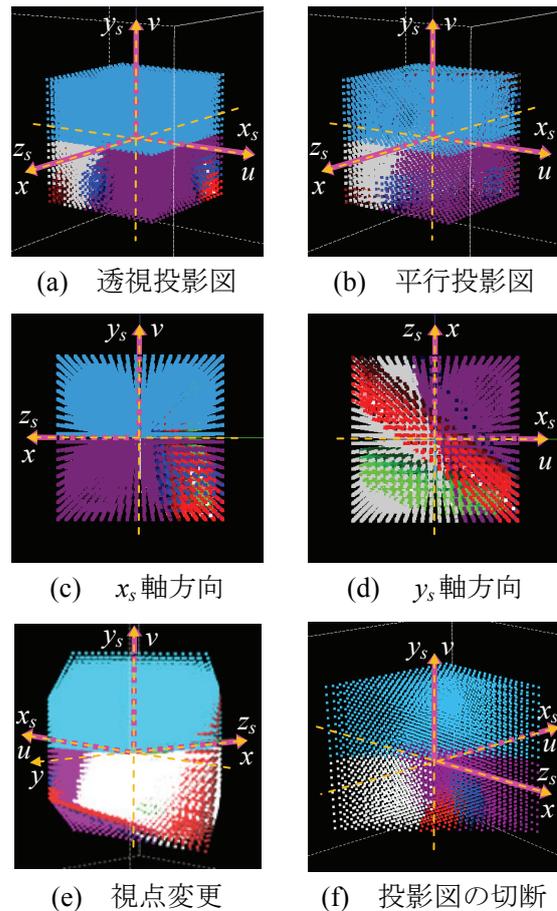


図3 光線空間の可視化
Figure3 Visualization of 4-D light field.

を自在に編集するためのアルゴリズムやインタフェースの検討を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、早稲田大学ヒューマノイド研究所、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」、科学技術振興機構 CREST 研究「人を引き込む身体的メディア場の生成・制御技術」の研究助成を受けて行われた。

参考文献

[1]M.Levoy, P.Hanrahan, "Light Field Rendering," Proc.SIGGRAPH 96, 31-42, 1996.
 [2]Y.Taguchi, K.Takahashi, T.Naemura, "Design and Implementation of a Real-Time Video-Based Rendering System Using a Network Camera Array," IEICE Trans. Information and Systems, vol.E92.D, no.7, 1442-1452, 2009.
 [3]R.Ng, M.Levoy, M.Brédif, G.Duval, M.Horowitz, P.Hanrahan, "Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera," Stanford Tech Rep.CTSR 2005-02, 2005.
 [4]酒井幸仁, 橋本周司, "4次元視野制御を導入した4次元空間の可視化," 形の科学会誌, Vol.21, No.3, 274-284, 2007.