

自由視点映像の生成におけるベクトル場概念 によるオクルージョン領域の補間

鍛冶俊平^{†1} 渡辺弥寿夫^{†1}

光線空間法は、多視点画像から3次元空間を飛び交う光線情報として獲得し、その情報から自由視点映像を生成する技術である。違和感がない自由視点映像を生成するには、膨大な量の光線情報を観測する必要があるが、観測できる光線情報には限界があるため、補間処理により観測できなかった光線情報を補う必要がある。本稿では、離散的な光線空間を連続的なものとして扱うためのベクトル場概念を光線空間に適用し、オクルージョン領域の補間をした精度の高い自由視点映像の生成法を提案する。

Interpolation of Occluded Area Using Vector Fields Theory in Generation of Free-Viewpoint Video Images

Shunpei Kaji^{†1} and Yasuo Watanabe^{†1}

The ray-space theory is a method of generating a view of a corresponding to free-viewpoint by computing a set of radiance data captured by multiple cameras. Although it requires a large amount of data to generate realistic free-viewpoint images, it is necessary to interpolate sensed data because of restricted observation of light flows, e.g. occlusion. In this paper, we propose an interpolation method in occluded areas by using the vector field theory instead of conventional discrete ray space.

1. はじめに

近年、3D 関連技術の発展が目覚ましい。3D コンテンツの一つとして、Light Field Rendering[1]や自由視点映像の生成技術[2]が挙げられる。

これは、撮影環境を3次元復元することなく、多視点画像の変形・合成により、仮想的な環境を構築し任意の視点での画像を提示する Image-Based Rendering(IBR)をより発展させた技術である。

この自由視点映像技術において重要な技術の一つとして、光線空間法[3][4]がある。光線空間法は、ある点を通る様々な方向の光線を集めることにより、その点を視点とする画像が得られる技術である。3次元空間のあらゆる点について、通過する光線情報を観測すれば、自由視点映像が得られる。

これを実現するには、3次元空間内にくまなくカメラを配置する必要があるが、現実的ではない。そこで、多数のカメラで観測した光線情報は、それぞれにおいて離散的な情報であるため、取得できなかった光線情報は、他のカメラで観測された光線情報から補間する必要がある。

補間する一つの方法として、取得したい光線情報の近傍のカメラで観測された光線情報で補間を行う手法が挙げられる。カメラの間隔が大きい場合にはボケ等の生じる問題があり、得られた自由視点映像において違和感を覚える結果になる。そこで、本論文では光線空間にベクトル場概念を適用し、光線空間を連続な場として扱い離散的なベクトルデータについて補間を行う。

光線情報である3次元空間内の放射輝度は、単位立体角当り、単位面積当りのエネルギー流量である。すなわち、ある地点からある方向へと向かう放射束である。離散的な流束保存性をもったベクトル場データの補間法と光線可視化[5]によると、この放射束はある点において、発光しない限り微小空間でのエネルギー流量は0であるため、離散的に流束保存性を持つ。このような離散的なベクトルデータから連続的なベクトル場を補間により生成した場合、そのベクトル場は流束保存性を満たし、厳密に連続的なベクトル場である自由視点映像が得られる。

2. 光線空間法[3][4]

ある点を通る様々な方向の光線を集めることにより、その点を視点とする画像が得られる。光線空間法とは、実空間中を伝搬する光線情報を全て記憶することにより、自由視点映像が得ることが可能となる手法である。ある仮想的な基準面を設け、その平面を通過する位置(x, y)と水平角と垂直角の光線方向(θ , ϕ)の4次元パラメー

^{†1} 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology

タで光線を表現する。図 1 は簡単のため $y=一定$, ϕ を無視した実空間と光線空間の関係である。視点 $P(X, Z)$ を通過する光線は基準面 $(x, 0)$ を通過する。この光線は、光線空間上では以下の式の直線上に点で表される。

$$x = X + \tan \theta Z \quad (1)$$

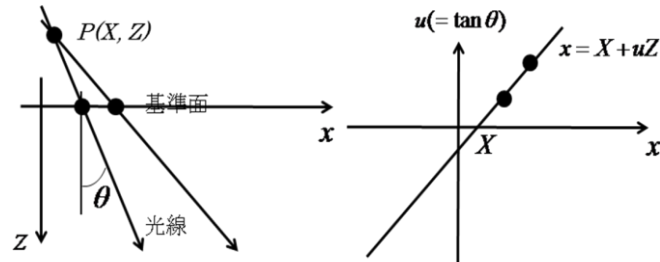


図 1 実空間と光線空間の関係

3. 連続的なベクトル場による補間処理の適用[6]

光線情報である放射輝度は 4 次元パラメータで表されるスカラーポテンシャル, 光線空間は保存場であるため, 以下の式が成り立つ。

$$\text{div}V = Q \quad (2)$$

$$\text{rot}V = 0 \quad (3)$$

V は 3 次元ベクトル, Q は輝度である。簡単のため $y=一定$ としていることにより, 一つ次元が落ち, 以下の式となる。

$$\Delta u (Vx_{i+\delta i, j} - Vx_{i-\delta i, j}) + \Delta x (Vu_{i, j+\delta j} - Vu_{i, j-\delta j}) = \Delta x \Delta u Q_{i, j} \quad (4)$$

式(4)を直接補間せず, 積分し補間を行う。 i, j は x, u 方向のデータ番号, $\Delta x, \Delta u$ はデータ間隔である。

$$\Phi_{i, j} = \sum_{j'=1}^j Vx_{i+\delta i, j'} \Delta u \quad (5)$$

$$R_{i, j} = \sum_{i'=1}^i \sum_{j'=1}^j Q_{i', j'} \Delta x \Delta u \quad (6)$$

Φ, R は, 離散的流束ベクトル場データである。上記の式をスプライン関数で補間する。スプライン関数は, 連続性と滑らかさが特徴である。

$$\Phi_x = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{i, j} B_{im}(x) C_{jm}(u) \quad (7)$$

B, C は $m-1$ 次のスプライン関数である。任意の点のベクトルデータは式(7)を微分した次式から得られる。

係数 $a_{i, j}$ は, それぞれ I 個, J 個のデータを式(7)に代入し, 線形連立方程式を解き求める。

$$Vx(x, u) = \frac{\partial \Phi_x}{\partial u} \quad (8)$$

Vu, Q も同様である。

4. 光線空間法におけるオクルージョンの影響

図 2 にオクルージョンの種類を示す。オクルージョンは, 背景が物体によって遮られた場合と物体の側面が物体自身によって遮られた場合の 2 種類に分類される。

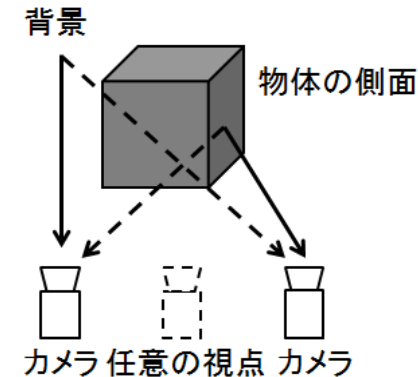


図 2 オクルージョンの種類

その二つの種類のオクルージョン領域の理想的な光線空間を図 3 に示す。

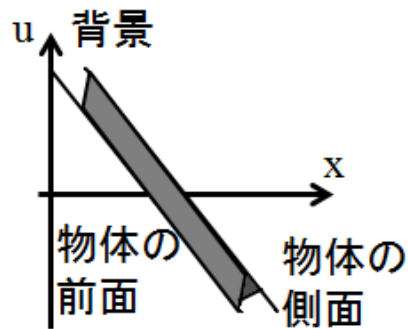


図 3 オクルージョン領域の理想的な光線空間

背景のオクルージョン領域と物体の側面のオクルージョン領域において、光線空間上では明らかに変化がある。背景のオクルージョン領域の傾きは変化はないが、物体の側面のオクルージョン領域の傾きと物体の前面の傾きには差異がある。(1)式によれば、背景のオクルージョン領域では、 Z が一定、すなわち背景の見え方がほぼ同一である。そして、物体の側面のオクルージョン領域では、 Z が物体の側面のそれぞれの点において差異がある、すなわち物体の側面の見え方が少しずつ変化する。このことは、幾何学的にも自明である。ここに着目し、オクルージョン領域に対する補間処理を行う。

光線空間上のカメラからの入力情報を、背景、物体の前面、物体の側面の3種に区別する必要がある。そして、各カメラ間の3種類の境から傾きを算出する。これを行うためには、エッジ抽出およびテクスチャ解析処理が必要となる。

光線空間にベクトル場概念を適用し、離散フーリエ変換による周波数解析によりエッジ抽出およびテクスチャ解析処理を行う。

あるカメラの入力を $f(x)$ 、周辺の一つのカメラの入力を $g(x)$ とする。

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(x) e^{-j2\pi nk/N} \Delta x \quad (9)$$

$$G(k) = \sum_{n=0}^{N-1} g(x) e^{-j2\pi nk/N} \Delta x \quad (10)$$

(9)、(10)式は、 $f(x)$ 、 $g(x)$ をそれぞれ離散フーリエ変換の式である。それぞれについて低周波成分を除去し逆変換を行い、エッジ抽出を行う。エッジ抽出された箇所を分割し、それぞれの領域とする。

次に、各カメラ間において、区別された領域に対してテクスチャ解析を行う。

$$R = \frac{\int_a^b F(k)G(k)dk}{\sqrt{\int_a^b F^2(k)dk} \sqrt{\int_a^b G^2(k)dk}} \quad (11)$$

(11)式の相互相関関数を用い、それぞれの領域($a-b$ 区間)のマッチング処理を行う。マッチングで一致した領域のエッジ部分から、傾きを算出する。傾きが小さいものから光線空間の補間処理を行い、オクルージョン領域に対する補間を行う。

5. 実験

実験で使用するカメラとレンズを以下に記し、基準面は、図 4 のように設定する。

FL2-08S2C-C カメラ

画像サイズ：1024×768[pixel]

ピクセルサイズ：4.65[μm]×4.65[μm]

撮像素子サイズ：width = 4.7988[mm]

height = 3.6084[mm]

VP-LE-C-6S 固定焦点レンズ

視野角：水平 42°

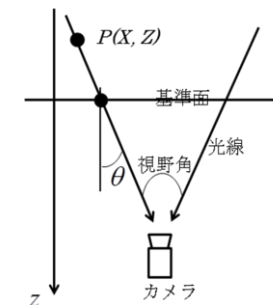


図 4 カメラと基準面の関係

まず、11 個のカメラを水平に並べて多視点画像を観測する。そして、観測された画像から視野角と画像サイズを用い $u (= \tan \theta)$ を算出し、光線空間を生成する。観測された多視点画像を図 5 に、生成した光線空間を図 6 に示す。

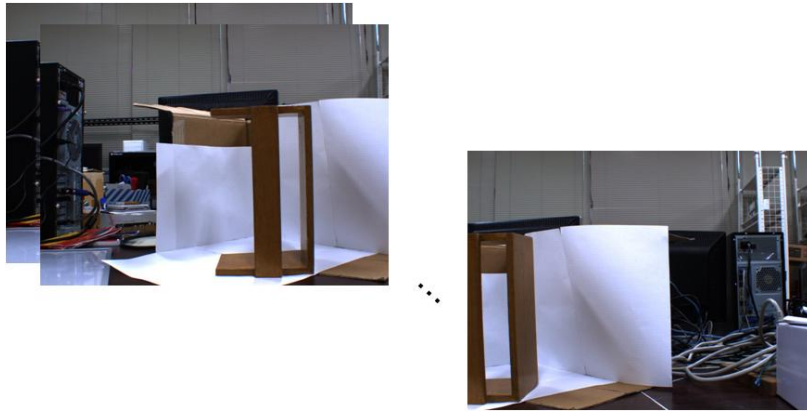


図 5 観測された多視点画像

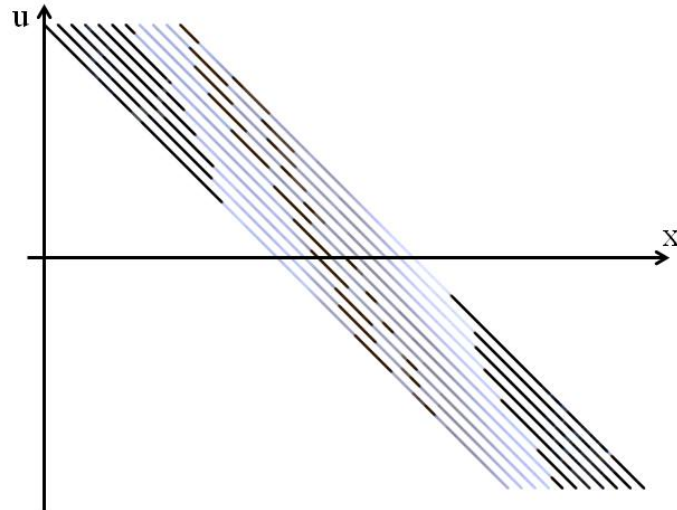


図 6 多視点画像から生成された光線空間

補間するスプライン関数は、与えられた画像の情報を損なわないようにするため、3次スプライン関数を用いる。傾きの推定を行い、補間する順序を考慮し、図 6 の光線空間を補間する。

ここで、オクルージョン領域に注目する。多視点画像からオクルージョンが発生している部分を抽出する。背景についてのオクルージョンが発生しているものを図 7 に、物体の側面についてのオクルージョンが発生しているものを図 8 に示す。

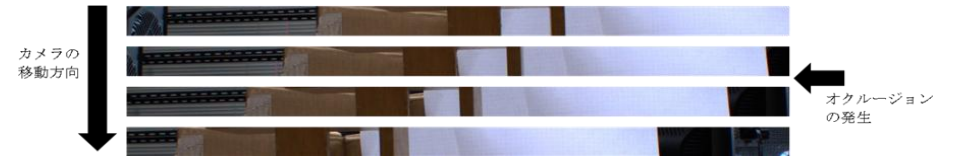


図 7 背景についてのオクルージョン

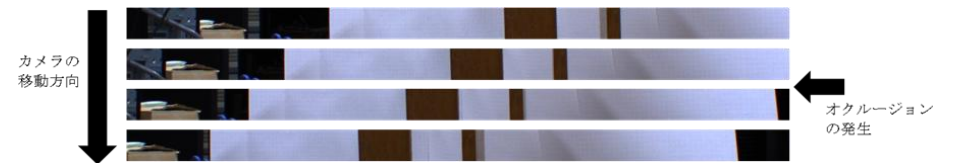


図 8 物体の側面についてのオクルージョン

図 7 と図 8 は、カメラの移動方向順に上からオクルージョンが発生している部分を並べたものである。図 8 の上から 2 つ目の画像と 3 つ目の画像の間において、オクルージョンが発生しており、3 つ目、4 つ目になるに従って見え方が少しずつ変化していることが分かる。図 7 は、2 つ目の画像と 3 つ目の画像の間において、オクルージョンが発生しているが、見え方にはあまり変化がない。図 7 と図 8 の光線空間をそれぞれ図 9 と図 10 に示す。

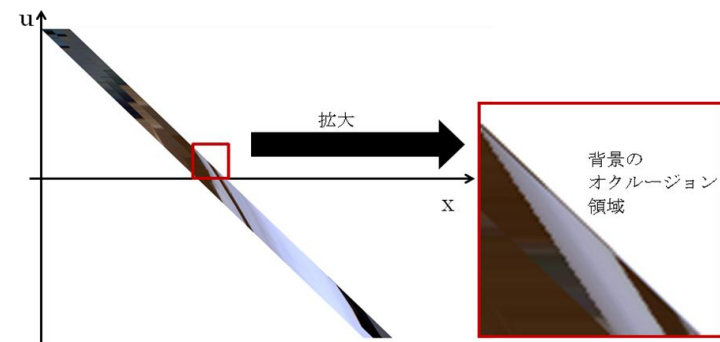


図 9 背景のオクルージョン領域における光線空間

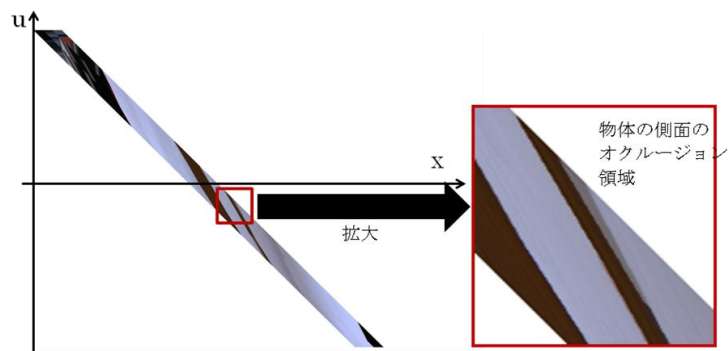


図 10 物体の側面のオクルージョン領域における光線空間

それぞれ図 3 のような理想的に補間がされている。特に、図 10 において物体の側面のオクルージョン領域がそれぞれの点で変化がある。よって、本手法によって、オクルージョン領域の補間がされていることが確認できた。

オクルージョンが発生している位置での視点を生成した結果を図 11 に示す。

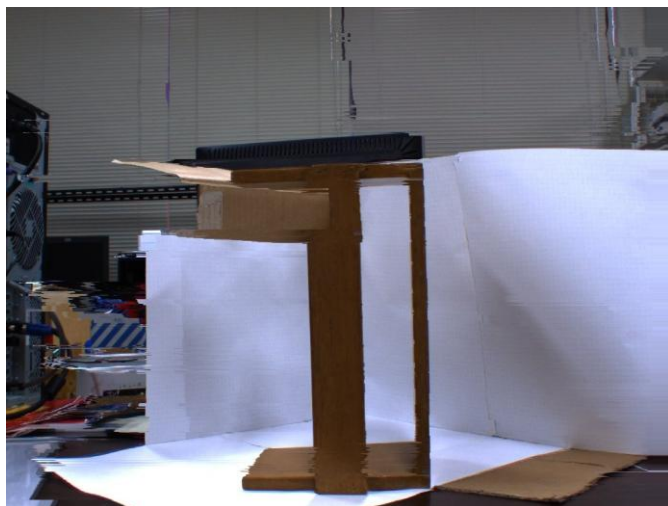


図 11 任意の視点での結果画像

6. まとめ

以上の結果から、本手法のベクトル場概念を光線空間に適用することにより、オクルージョン領域の補間などの問題を解決した光線空間の補間が可能となった。しかし、計算処理時間が膨大であることが問題の一つとしてあげられる。現在、 1024×768 [pixel]の 11 の視点での多視点画像を 2.27[GHz]4 コアのパソコンで処理すると、30 分以上の時間がかかる。これではリアルタイムでの処理は不可能である。今後の課題として、処理の高速化を図ることや、縦にもカメラを配置することにより縦の視点の移動も可能にすることが挙げられる。

謝辞 本研究についてご協力頂いた金沢工業大学の渡辺研究室の皆様には、謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) M. Levoy, P. Hanrahan : Light Field Rendering, Proceedings of SIGGRAPH'96, annual conference Series, pp.31-42(1996).
- 2) 谷本正幸, 藤井俊彰 : 自由視点映像技術, 映像情報メディア学会誌, 映像メディア 60(1), pp.29-34(2006).
- 3) 藤井俊彰, 金子正秀, 原島博 : 光線群による 3 次元空間情報の表現とその応用, テレビジョン学会誌, Vol.50, No.9, pp.1312-1318(1996).
- 4) T.Fujii, T.Kimoto, M.Tanimoto : Ray Space Coding for 3D Visual Communication, Picture Coding Symposium '96, pp.447-451(1996).
- 5) 清水徹, 鶴飼正行 : 離散的流束保存性をもったベクトル場データの補間法と力線可視化, 全国大会講演論文集, 第 47 回平成 5 年後期(2), pp.341-342(1993).
- 6) 鍛冶俊平, 渡辺弥寿夫 : ベクトル場概念による多視点画像からの自由視点映像の生成, 第 14 回画像の認識・理解シンポジウム, MIRU2011, IS4-17, pp.1397-1398(2011)