

## ルックアップテーブルを用いた光線空間補間

原 正憲 藤井 俊彰 谷本 正幸

名古屋大学大学院 工学研究科電子情報学専攻 谷本研究室  
〒464-8643 名古屋市千種区不老町

E-mail: hara@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp {fujii,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

**あらまし** 3次元空間情報を記述する手法として、空間を伝搬する光線の情報を用いて3次元空間情報を記述する光線空間法というものが研究されている。光線の情報は多視点カメラによって得ることができるが、カメラ配置が離散的になるため光線空間データは離散的に取得される。そのため取得された離散的な光線空間を連続データとするために、補間を行う必要がある。本稿では、光線空間の補間手法として適応フィルタを用いた手法、ルックアップテーブルを用いた手法、を用いた手法の欠点を補うために参照部分の差分画像を求めてその差分画像を補間し足し合わせることで画質の向上を図った提案手法、以上の3つの手法の比較を行う。

**キーワード** 光線空間法、補間、適応フィルタ、ルックアップテーブル

## Ray Space Interpolation by Look-up Table

Masanori HARA Toshiaki FUJII and Masayuki TANIMOTO

Department of Information Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University  
Frou-cho 1-2-3 Chikusa-ku Nagoya 464-8643 Japan

E-mail: hara@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp {fujii,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** In this paper we propose ray space interpolation by Look-up Table. In previous research, the adaptive filter method and the Look-up Table method is proposed. In previous research, the adaptive filter method and the Look-up Table method is proposed. When parallax is large, Look-up Table method shows the quality of image which may be compared with other methods. However, a block noise will come to be conspicuous. Then, we succeeded in achieving better results combining these two methods.

**Keyword** Ray-Space, Interpolation, Adaptive Filter, Look-up Table

### 1, まえがき

コンピュータやネットワークの発展により、3次元空間情報の利用が現実的なものとなってきた。そのため、3次元空間情報を効率よく取り扱う手法、さらには効率的な蓄積・伝送手法の確立が重要な課題となっている。現在、コンピュータグラフィクス(CG)等で用いられている3次元空間情報の記述法は、モデルベースのものが主流である。これは3次元物体の形状をポリゴンで記述し、物体モデルに基づいて3次元空間情報を記述する手法である。しかし3次元CGモデルの作成は非常に手間のかかるものであるため、身の周りのものすべてをモデル化し、実在する環境のようなリアリティのあるモデルを構築するのは困難である。また、この手法で記述された3次元空間情報から生成

した画像には人工的な不自然さが残るといった問題がある。3次元空間情報を記述する手法として、光線空間法というものが研究されている[1]。光線空間法では、空間を伝搬する光線の情報を用いてあらゆる方向から撮影した多くの画像を用いて、3次元空間情報を記述する。光線空間法により記述された情報の中から必要な情報を取り出してくることで、ステレオ画像や多視点画像など、さまざまな形式の画像を得ることができる。また、視点を自由に移動できるような自由視点画像を生成したり、立体視ディスプレイのための表示データに用いたりといった、さまざまな応用方法がある。

光線の情報は多視点カメラによって得ることができるが、カメラ配置が離散的になるため光線空間データは離散的に取得される。そのため取得された離散的

光線空間を連続データとするために、補間を行う必要がある。

現在いろいろな補間の手法が考えられているが間隔が大きくなってくると補間の性能が下がってきてしまう。精度のよい補間をしようとすると、カメラ配置をかなり密にしなければならなくなり、カメラ自身の大きさが問題になる。これでは3次元空間情報取得を容易に行うことができない。現在補間の手法として適応フィルタを用いたもの[2]やルックアップテーブルを用いたものが考えられている。本稿ではそれらの特性を生かした新しい手法を提案する。

## 2, 光線空間法

光線空間法とは、三次元空間情報を空間中を伝播する光線の情報を用いて記述・処理する手法である。例として、図1に示すような三次元空間を光線空間により表現しよう。まず、この三次元空間内に基準面を設定する。図1ではx-y平面がこれに相当する。

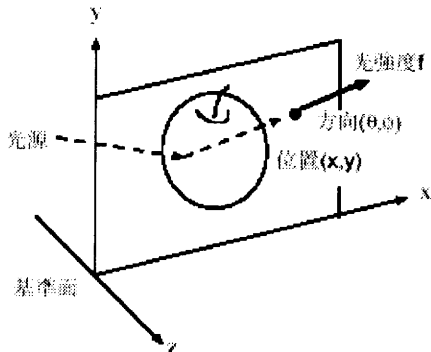


図1：光線空間法

この基準面を通過する光線は、その通過位置 $(x, y)$ と通過方向 $(\theta, \phi)$ の4つのパラメータにより一意に表すことができる。すなわち、この空間中の光線は4次元空間 $(x, y, \theta, \phi)$ の内の点に対応させることができる。次に、この空間内の各点にそれぞれの光線の輝度(色) $f$ を対応させる。これにより、この三次元空間内の光線情報を $f(x, y, \theta, \phi)$ と表すことができる。三次元空間の情報をこのような関数 $f(p)$  ( $p$ は光線パラメータ)により表現する手法を三次元空間情報の光線群表現と呼び、光線パラメータにより張られる空間を光線パラメータ空間、または単に光線空間と呼ぶ。

今回は簡単のため縦方向の視差 $\phi$ を無視し、三次元の光線空間 $f(x, y, u)$  ( $u = \tan \theta$ )を考える。実空間中の一点 $(X, Y, Z)$ を通る光線群が光線空間 $(x, y, u)$ で描く軌跡は幾何学的な関係より、

$$X = x + uZ, u = \tan \theta, y = Y$$

と与えられる。これから、実空間中の一点を通る光線群は、光線空間 $x-y-u$ 内の平面上にあることが分かる。これはすなわち、ピンホールカメラモデルを仮定した場合の画像情報が、光線空間の2次元平面による断面として与えられることを意味する(図2)。

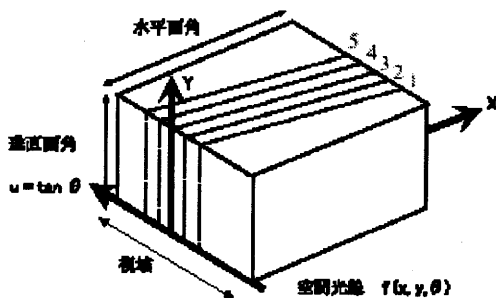


図2：x-y-u 光線空間モデル

多視点画像は、物体が静止している限り等速運動しているカメラから物体を撮影したものと同等に考えられる。等速運動をしているカメラで撮影した場合、シーンの中のある一点はフレーム間で等間隔に配置される。画像の座標系を $x-y$ 、撮影時間を $t$ として、任意の $y=y_0$ の走査線に注目し $x-t$ 平面を構成すると、物体のある一点は直線で表される。そしてこの傾きからカメラと物体の距離を求めることができる。これをEPIと呼び、今回はこのEPIについて新たに空白の行間を挿入して、その挿入した空白の行間を補間することを考える。

## 3, 適応フィルタ法

EPIは様々な傾きを持った直線の集まりとして構成される。この直線は多視点画像中の対応点の軌跡を表しているため、直線上の画素の輝度値はあまり変化しない。そこで、この対応点軌跡に沿った方向に線形補間を行う。こうすることで垂直方向の線形補間では補間することのできない高周波成分も補間することができる。対応点軌跡に沿った方向に線形補間を行うために、補間フィルタとしてさまざまな方向性を持ったフィルタを使う。対応点軌跡はさまざまな傾きを持ったものがあるため、フィルタも様々な方向性を持ったものを用意しておき、その中から最適なものを選択して用いる。具体的には、補間したい箇所の周囲の画素を調べて対応点軌跡を検出し、その傾きにあわせたフィルタを選択する。

補間手順のブロック図を図3に示す。まず、補間に使用するフィルタを複数個用意する。入力画像は作成したEPIを必要なだけアップサンプリングしたもの

である。ここで入力画像の補間を行うある1画素に注目し、この画素の周囲の画素を解析する。この解析結果より最適なフィルタを選択し、この画素はフィルタによって補間される。この処理は補間される全ての画素について行われ、出力画像として補間画像を得る。

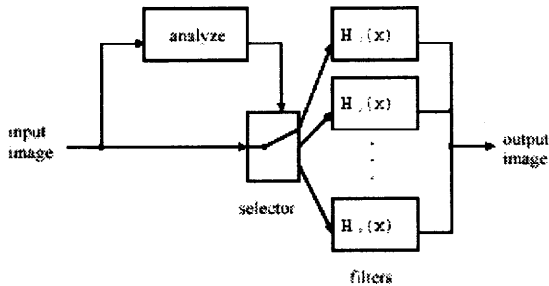


図3：適応フィルタ法のブロック図

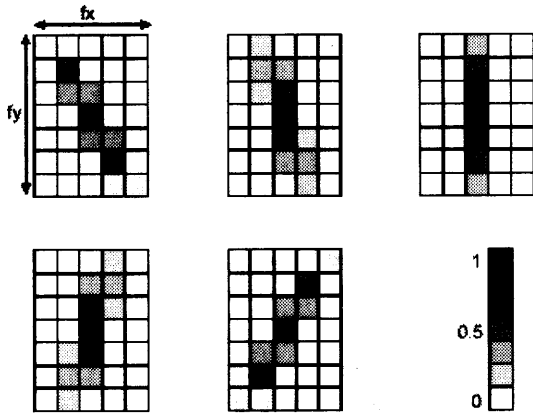


図4：フィルタセットの例

適応フィルタによる補間法では、最適なフィルタを選択するために EPI 上の対応点軌跡の傾きを検出する必要がある。そこで、対応点軌跡上では画素の輝度値があまり変化しないことを利用して、補間したい画素を通るであろう直線(対応点軌跡)の検出を行う。この際、フィルタ選択は画素ベースでなくブロックベースで行う。対応点軌跡にブロックマッチングを用いる。そのときの様子を図5に示す。求めたい交点を中心として左右に数ブロック画素分 A, B を考え、A, B を最小二乗法により比較をし、フィルタを選択する。

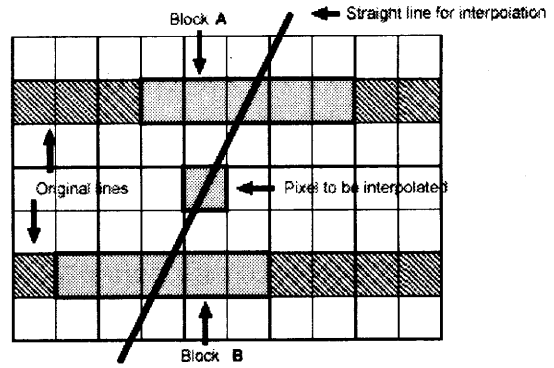


図5：フィルタ選択法

オクルージョンが起これると、EPI 上では対応点軌跡の直線が途切れる。そのため内挿的な手法では、ぼけたような補間結果となる。そこで、その場合、補間したい画素を通る対応点軌跡を、補間したい画素の上下2つのオリジナルラインからではなく、さらに上または下のほうから探し、その対応点軌跡を延長してくるようにして補間を行うという外挿的な手法を用いる。

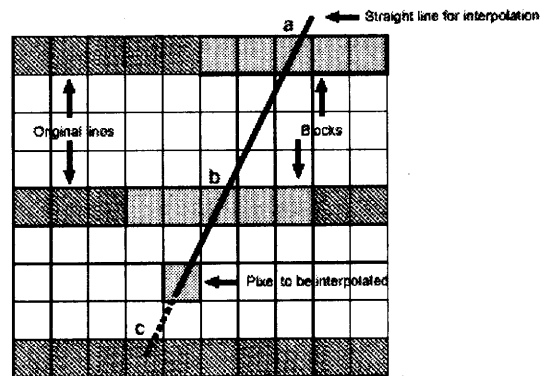


図6：オクルージョンが発生時の補間

オクルージョン発生箇所の補間の様子を図6に示す。図6はアップサンプリング後のEPIの拡大図である。まず補間したい画素へつながる対応点軌跡を、補間したい画素の上の2行または、下の2行のオリジナルライン間でブロックマッチングを行うことで検出する。ブロックマッチングの誤差が最小になるときの直線が検出される。図6の例では、上の2行のオリジナルラインでブロックマッチングを行っている。検出された対応点軌跡とオリジナルラインとの交点の画素の画素値を図6のようにa, b とすると、補間画素の画素値は次のように決める。a と b の値の変化から、対応点軌跡が途切れずに続く場合と仮定した場合の下のオリジナルラインでの値c を  $c = b + (b-a)$  という式によ

り求める。

#### 4, ルックアップテーブル (LUT) 法

ルックアップテーブル法では、高解像度の EPI と低解像度の EPI との対応関係を表(ルックアップテーブル)に保存しておき、それを参照することで補間を行う。この手法では実際に補間を行う前にあらかじめルックアップテーブルを作成しておく必要がある。ルックアップテーブルには高解像度 EPI と低解像度 EPI との対応関係が保存されるが、高解像度 EPI とは補間後の EPI であり、低解像度 EPI とは補間前の EPI である。テーブルの作成にはベクトル量子化[4]の手法を用いる。

ルックアップテーブルの作成の際に高解像度 EPI を記録していく必要があるが、この際に高解像度 EPI を学習させ、代表させる必要がある。さまざまな高解像度 EPI ブロックの集合をいくつかのブロックで代表させることで、ルックアップテーブルに保存するブロックの数を少なくする。これには LBG アルゴリズムを用いた。

補間時には入力として与えられる多視点画像から作った低解像度の EPI ブロックをキーとして、もっともふさわしい高解像度 EPI ブロックをテーブルから探索し、出力することで補間が行われる。高解像度 EPI ブロックの探索は、テーブルに保存されている高解像度ブロックと、入力の低解像度 EPI ブロックとの一致度を計算し、最も一致度の高いものが出力される。したがって実際は、高解像度 EPI ブロックに対応する低解像度 EPI ブロックをテーブルに保存しておく必要はなく、高解像度 EPI ブロックのみ保存しておけばよい。

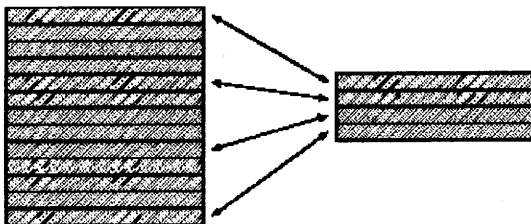


図7：ブロックの対応

ブロックの対応は図7のように低解像度 EPI ブロックから高解像度 EPI ブロックへの対応付けが問題になってくる。今回はテーブル内の高解像度 EPI ブロックをダウンサンプリングしたものと、入力の低解像度 EPI ブロックとでの2乗誤差の総和を計算し、2乗誤差のもっとも小さい高解像度ブロックを出力するとい

う方法を用いた。この方法はテーブル探索時に補間するブロックの内部のローカルな情報だけを使うという特徴がある。

#### 5, 提案法

いままでの研究により適応フィルタ法は補間の間隔が小さい時はよい結果を出す、間隔が大きくなっていくとどんどん結果が悪くなってしまふということがわかっており、ルックアップテーブルを用いた補間は、間隔を大きくしてもあまり結果が悪くならない反面、適応フィルタ法に比べると間隔が小さいときの結果がわるいということがわかっている[3]。

そこで、今回は、互いの方法のよい点を生かすように次のような方法(図8)を提案した。

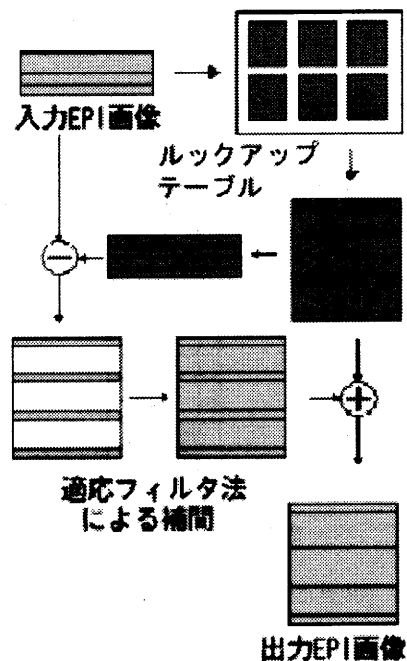


図8：提案手法の流れ

入力 EPI 画像を元にルックアップテーブルから最小2乗誤差の最も小さい高解像度 EPI ブロックを選択する。次に選択された高解像度 EPI ブロックをダウンサンプリングして入力 EPI と同じ大きさにして入力 EPI との差分画像を作成する。作成された差分画像をアップサンプルし、高解像度 EPI と同じサイズにする。適応フィルタ法[2]によりこの差分画像の補間を行う。作成された補間画像とルックアップテーブルから選択された画像を足しあわせたものを出力 EPI 画像とする。

## 6, 実験結果

今回はそれぞれの手法を用いて EPI 画像の補間を行った。低解像度 EPI 画像のサイズは  $320 \times 34$ ,  $320 \times 19$ ,  $320 \times 10$  の 3 通り用意した。それぞれを,  $320 \times 199$ ,  $320 \times 181$ ,  $320 \times 181$  の大きさに補間をした。

次にその結果を図に示す。



図 8 : 適応フィルタ法による補間 ( $320 \times 34$ )



図 9 : LUT 法による補間 ( $320 \times 34$ )



図 10 : 提案法による補間 ( $320 \times 34$ )

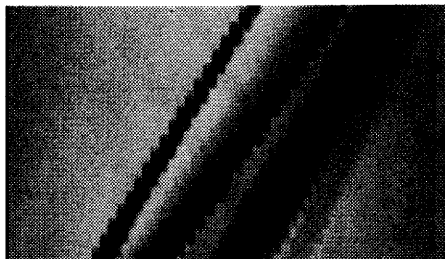


図 11 : 適応フィルタ法による補間 ( $320 \times 19$ )



図 12 : LUT 法による補間 ( $320 \times 19$ )



図 13 : 提案法による補間 ( $320 \times 19$ )

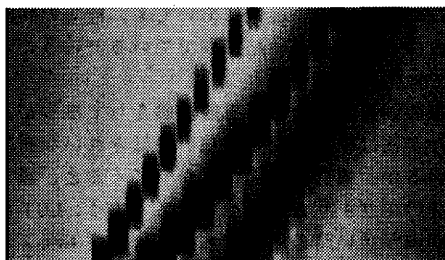


図 14 : 適応フィルタ法による補間 ( $320 \times 10$ )



図 15 : LUT 法による補間(320×10)



図 15 : 提案法による補間(320×10)

表 1 : 各手法の PSNR

PSNR(dB)	適応	LUT	提案
320×34	32.79	28.28	32.93
320×19	28.10	25.46	28.46
320×10	23.60	24.31	25.24

それぞれの PSNR を表 1 に示す。

表 1 より補間の間隔が狭い時、適応フィルタ法は LUT 法に比べてよい結果が出ているが、間隔が広がってくると逆に LUT 法の結果の方がよくなるが示されている。提案法はそれらの 2 つの方法と比較すると補間の間隔が狭い場合においても、補間の間隔が広い場合においてもよい結果がでているということが示されている。

実際の画像の見た目で主観評価をしてみると、適応フィルタ法は補間の間隔が狭い時はきれいな補間ができていて、補間の間隔が広がってくると、傾きがある部分のギザギザが目立ってきてしまう。LUT 法は補間の間隔が狭い時も広い時も各高解像度 EPI ブロックの境目が目立ってしまっている。その 2 つと比較すると提案法は LUT 法の時に出ている各高解像度 EPI ブロックの境目が目立っておらず、適応フィルタ法の時に出ているギザギザの部分が減っていることがわかる。しかし、減っているとはいえ、目立たない程度に起こっているのではなく、一見してノイズのようなものができてしまっていることがわかってしまうのでさらな

る改善が必要である。

## 7, むすび

本稿では、光線空間補間として適応フィルタ法、ルックアップテーブル法、そしてルックアップテーブルを使用し、参照低解像度 EPI ブロックと高解像度 EPI ブロックをダウンサンプリングしたものの差分画像を求め、その差分画像に空白行を挿入しその空白行に適応フィルタ法の補間をかけ、その画像と高解像度 EPI ブロックを足し合わせることで補間を行うという手法を提案した。この手法を用いることで、単純に適応フィルタ法やルックアップテーブル法を用いるよりも画質の向上が見られた。これにより、ルックアップテーブルを利用して、補間部分の基礎となる部分を作成し、その後、その基礎部分を元に補間作業を行うということで補間後の画質の向上が見込めるということがわかった。

しかしながら、現段階で使用しているルックアップテーブルは、もともと高解像度光線空間から作成された EPI の中から作成されており汎用性があるものではなかった。今後はルックアップテーブル内の高解像度 EPI ブロックの規格化や、ブロックに冗長性を与え、さまざまな傾きに対応させるなどということを考えている。

今後の研究の方針としては、

- ・ 補間によるギザギザ部分の低減
- ・ ルックアップテーブルの作成の仕方およびルックアップテーブル内から高解像度 EPI ブロックの選択法の工夫
- ・ 適応フィルタ法に変わる補間方法の検討などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] T.Fujii, T.Kimoto, M.Tanimoto: "Ray Space Coding for 3D Visual Communication", Picture Coding Symposium '96, Vol.2, pp.447-451 (1996)
- [2] 中西, 藤井, 木本, 谷本 "EPI 上の対応点軌跡を用いた適応フィルタによる光線空間データ補間", 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.8, pp.1321-1327, (2002)
- [3] 中西, 藤井, 谷本 "3次元空間情報取得のための光線空間補間の研究", 修士論文, 名古屋大学大学院工学研究科(2003)
- [4] Allen Gersho, Robert M. Gray (古井, 田崎, 小寺, 渡辺共訳): "ベクトル量子化と情報圧縮", コロナ社, (1998)