

輝度・傾き変換によるルックアップテーブル 光線空間補間法の高性能化

Improvement of Look-up Table Ray Space Interpolation by Transforming Luminance and Slope

原正憲† Masanori Hara 藤井俊彰† Toshiaki Fujii 谷本正幸† Masayuki Tanimoto

1. まえがき

現在、我々の研究室では、3次元空間情報を記述する手法の一つである光線空間法[1]を使い、あらゆる視点から自由に鑑賞することができる自由視点テレビ"Free Viewpoint Television" (FTV) の実現を目指してさまざまな研究を行っている。

自由な視点を作り出すためには無限の視点を得る必要がある。しかし実際のカメラでは離散的な位置でしか撮影できないため、補間を行い無限の視点を作り出す必要がある。

現在ルックアップテーブルを用いた補間が提案されているが、この方法は、間隔が広がっても画質の劣化が少ない反面、補間後画像の品質がテーブルの品質に依存してしまうため、補間の品質をあげようとするとき大きなテーブルを用意しないといけない。そこで、少ないテーブル数でも擬似的にテーブルを増やす方法を提案した。

2. 光線空間法

光線空間法とは、3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、Fig.1に示すような3次元空間内に基準面を設定する。Fig.1ではx-y平面がこれに相当する。

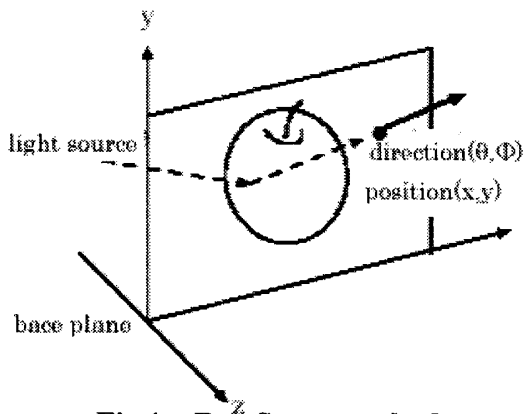


Fig.1 : Ray Space method

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(θ, Φ)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, θ, Φ)の内の点に対応させることができる。

今回は簡単のため縦方向の視差 ϕ を無視し、3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 (Fig.2)。

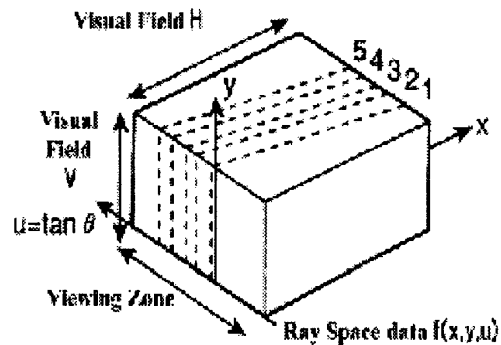


Fig.2 : x-y-u Ray Space

x-y-u 光線空間を考えると、任意の $y=y_0$ の走査線に注目し x-u 平面で切り出すと、物体のある一点が直線で表される画像が得られる。これを Epipolar Plain Image (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. ルックアップテーブル法

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。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。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。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。

† 名古屋大学工学研究科

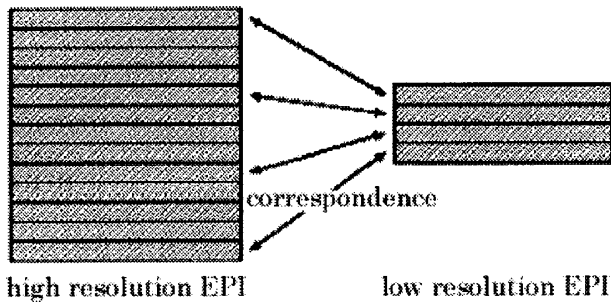


Fig.3 : Correspondence for EPIs

補間をする際に、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（高解像度 EPI 内の等間隔の行 Fig.4 参照）と、入力の高解像度 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。

4. 提案法

ルックアップテーブル法では、テーブル内に存在する高解像度 EPI を画像に当てはめることによって補間を行う。しかし、テーブル内の高解像度 EPI をそのまま使い、補間を行おうとすると、テーブル内の高解像度 EPI の数は限られているために、汎用的な補間を行うことが困難になる。

そこで、テーブル内にある高解像度 EPI に各種変換をし、テーブル内に存在する EPI の数を増やすことを考える。

まずは輝度に注目する。輝度の平均値と標準偏差を揃えた高解像度 EPI を保存するテーブルを用意し、そこから輝度変換を用いることで、補間を行う。手順は、まずテーブルを作る際に、その高解像度 EPI の平均値と標準偏差を測定する。そして次の変換公式[2]を使用して高解像度 EPI の平均値と標準偏差を統一する。

$$y = \gamma_{xy} \frac{s_x}{s_y} (x - \bar{x}) + \bar{y}$$

平均値と標準偏差を統一した後に LBG アルゴリズムを用いて、テーブルをトレーニングし、テーブルを作成する。そして、作成されたテーブルを用いて補間を行う。補間を行う際も同様の輝度変換を行う。ただし、補間をする際は、低解像度 EPI のサイズで平均値と標準偏差を算出しなければならない。そのためにテーブル内に保存されている高解像度 EPI をダウンサンプリングし、平均値と標準偏差を算出する。まず、補間前低解像度 EPI の平均値と標準偏差を求め、輝度変換をする。高解像度 EPI 全体の平均値と標準偏差と、ダウンサンプリング後の平均値と標準偏差は別の値を取るため、テーブル内の高解像度 EPI もダウンサンプリングをした後の平均値と標準偏差を用いる必要がある。変換後の EPI 同士を比較し、もっとも近いものを選択し、その後逆に輝度変換をすることで補間を行う。

また、輝度変換を行うだけでなく、EPI は直線の集合であり、傾きが距離を表すことに注目し、傾きを変換する方法も検討する。傾きの値を求め、その値にしたがって変換

を施すためには正確な傾きを求める必要がある。しかし、正確な傾きを求めるのは困難なため、次のような方法を取ることにした。

目的となる高解像度 EPI のサイズよりも冗長に X サイズを取り、テーブルを作成する。

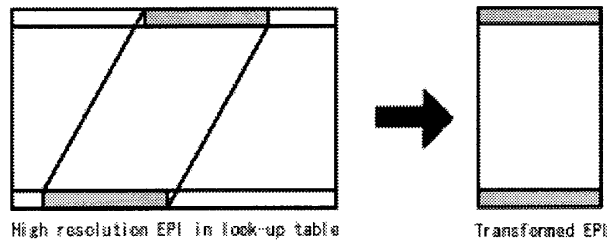


Fig.4 : Transformed high resolution EPI

Fig.4 のように x 方向に冗長に取った高解像度 EPI を元に目的となる大きさの x サイズごとに切り出して、低解像度 EPI の対応部分と比較し、もっとも近いものを選択する。その作業を最上段と最下段の 2 つのラインに対して行い、その部分をせん断変換し補間用の高解像度 EPI を作成する。

以上の 2 つの方法を同時に使うことでテーブル数を擬似的に増やすことができた。

5. 実験

今回は、ルックアップテーブル法をそのまま用いた方法と、提案法を利用した方法と 2 通りで補間を行った。用意するテーブルはルックアップテーブル法では、32×19 の高解像度 EPI を 7200 個用意した、提案法では 80×19 の高解像度 EPI を 2880 個用意した。条件は違うが、テーブルのファイルサイズは変わらない。なお補間をした画像は、テーブルを作成するために使用した画像と同じものと別のものを用意した。

結果を次の表に示す。

Table 1 : Result of each method

Method \ Result	Same picture	Otherr picture
Look-up Table	31.87dB	22.40dB
Propose	33.21dB	31.56dB

表を見てわかるとおり、違う画像を用いて補間をした場合でも提案法を用いればあまり性能が下がらないことがわかった。

6. むすび

今回は、ルックアップテーブル法を用いて光線空間を補間する際に輝度変換と傾きの調整を行うことで、テーブルにより汎用性を持たせることに成功した。

今後はより多くの画像からトレーニングをし、より汎用性のあるテーブルを作ることを考える必要がある。

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]高木幹雄, 下田陽久 "画像解析ハンドブック", pp. 475-481