

ベクトル量子化による光線空間符号化

川浦 正規 藤井 俊彰 木本 伊彦 谷本 正幸

名古屋大学工学部工学研究科

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

E-mail : kawaura@tanimoto.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本稿では IBR の一種である光線空間を VQ で効率的に符号化を行うことを目的とする。実際に符号化を行う対象は 4 つのパラメータを持つ光線空間をもとに 2 つのパラメータを固定した 2 次元画像の EPI である。EPI は一般の画像に比べてベクトル間に強い相関があると考えられる。そこでいくつかのベクトルサイズに分割し EPI のベクトル分布を調査する。そのベクトル分布特性から EPI の自然画像に対する VQ の優位性を示す。さらに EPI に対して通常の正方分割に代わり斜形分割を提案する。斜形分割を用いることで EPI 中のベクトルの偏りがさらに大きくできると考える。実験結果から提案法による EPI への VQ 符号化効率の向上を実証する。

キーワード ベクトル量子化, 画像符号化, 光線空間

Ray-Space Coding by Vector Quantization

Masanori KAWAURA, Toshiaki FUJII, Tadahiko KIMOTO, and Masayuki TANIMOTO

Graduate School of Engineering Nagoya University

Furo-cho Chikusa-ku Nagoya-City 4648603 Japan

E-mail : kawaura@tanimoto.nagoya-u.ac.jp

Abstract In this paper vector quantization (VQ) is applied to epipolar plane images (EPIs) for compression of ray space data. EPIs representing two parameters of the four-dimensional ray space consist of straight line segments. This geometrical texture causes larger correlation among the vectors in VQ. In the experiment a sample EPI is divided into square blocks each of which corresponds to a vector, and distribution of the vectors in the vector space is investigated. The result demonstrated that the vectors of an EPI are localized more distinctively than those of a natural scene image. This paper proposes a method for exploiting the property of vector localization on EPIs. In the method an EPI is divided into blocks along sloping line segments. The simulation shows that these oblique blocks increase correlation among the vectors, and consequently improve coding efficiency of VQ. These results imply an advantage of VQ for the coding of EPIs.

Key words Vector Quantization, Image Coding, Ray-Space

1. はじめに

主な三次元記述方式にポリゴンを基とした MBR (Model Based Rendering) がある。これは3次元情報をポリゴンモデルとして記述するため必要な情報量が少なく蓄積伝送に適するものである。しかしながら、MBR では実写画像に迫るような高いリアリティを追求するほど物体のモデル化が困難になること、また特に人物の顔などの合成画像に人工的な不自然さが残るという課題がある。

これらを解決するものとして画像を基にした IBR (Image Based Rendering) がある。この手法では3次元情報を保持するのではなく任意視点画像によって必要な画像を形成するものである。IBR は MBR に比べ簡単に高いリアリティが得られる反面、何百枚という大量の画像を基とするため情報量が非常に多くなり、扱うには効率的な圧縮が必要となる。

3次元空間の記述方式として、空間を伝搬する光線データを用いる手法[1][2]がある。これは、IBR に属するもので、データ量と任意視点画像を合成する際のリアルタイム性が重要となるが、この両方を解決する圧縮方法として、ベクトル量子化 (VQ) が挙げられる。しかしながら、現在での研究においては、多眼画像に既存の圧縮方法である VQ を単純に適用しただけ[3]で、光線空間における VQ の特徴や自然画像との違い、またそれらの特徴を生かした光線空間内における有効な VQ の方法が確立されていない。

そこで本研究の目的は、光線空間データに対して VQ を行い VQ の光線空間上の特徴や優位性を調べ、それを基に効率的な圧縮法を提案する。

2. Image Based Rendering (IBR)

2.1. 光線空間法

光線空間法とは、空間中を伝搬する光線の情報を用いて3次元空間情報を記述・処理する手法である。図1に示すような3次元空間を光線空間により表現する場合を考える。まず、この3次元空間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。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現することができる。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3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。3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、3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。

簡単のため、縦方向の視差 ϕ を無視し3次元空間 $f(x, y, u)$ ($u = \tan \theta$) を考える。図2、図3は光線空間データ取得の様子を説明するものである。多視点画像の撮影により得られたデータを用いて図3のような光線空間モデルができる。多視点画像撮影するということは、光線空間 $f(x, y, u)$ のデータのうち、平面に沿ったデータをサンプリングして取得することに相当する。また、取得された光線空間データを元に任意視点の画像を生成するためには、欲しい視点に相当する

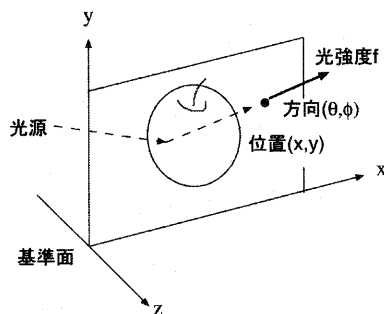


図1 3次元情報の光線群表現

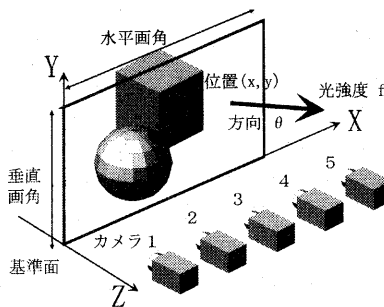


図2 多視点画像による光線空間データのサンプリング

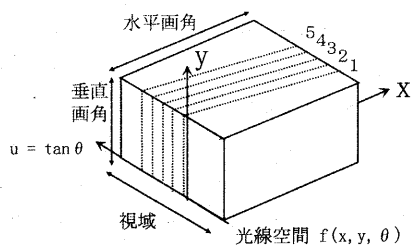


図3 作成された光線空間

断面に沿って光線空間データを取り出して表示すればよい。

2.2. EPI (Epipolar Plane Image)

多視点画像は等速運動をしているカメラから物体を撮影したものと同様に考えられる。等速運動をしているカメラで撮影した場合、シーン中のある一点はフレーム間で等間隔に配置される。ここで図4のように画像の座標系を $x-y$ 、撮影時刻を 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、カメラと物体との距離を求めることができる。このように撮影された EPI は直線の集まりから成るような特殊な画像であり、また光線空間の水平断面とも考えられるものである。

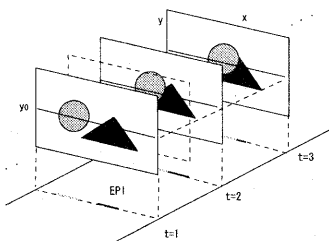


図4 等速運動カメラからの多眼画像撮影

3. VQの適応

3.1. 自然画像と EPI の相違

光線空間に対して VQ で画像符号化を行う場合、光線空間の垂直断面として与えられる自然画像成分に対し

て符号化するよりも、水平断面として与えられる EPI に対して行った方が効率が良いものと考えられる。これは VQ が代表ベクトルによる量子化を行うものであるので、対象の入力ベクトルパターンにより偏りがあるほど出力が上手く表現できるためである。

そこで、まず自然画像と EPI ではどのようにベクトルの分布に違いが見られるのか調べることにする。また実際に VQ を行ったときにその違いから優位性が現われるのかも合わせて調査する。

3.2. 実験

まずベクトル分布の比較として、自然画像 “lena” と EPI “flower” に対しいくつかの次元数でベクトルに分割する。そしてベクトル内の各要素のヒストグラムを作成し輝度分布を比較する。次に VQ に対する特性比較として両者の画像に対し同様の次元数、コードブックサイズで VQ を行い、その結果を比較する。このときベクトル次元数は $2x2-4x4$ 、コードブックサイズは 7-10bit とした。

実験に用いる EPI “flower” は図5の通りにして取得した。カメラ物体間の距離は 370mm、カメラ間隔は 2mm の等間隔で -240mm から 240mm の 240 ステップである。以上のように撮影して得られた画像群に対し、最終的にある高さ y で切り出すことで EPI “flower” を得る。

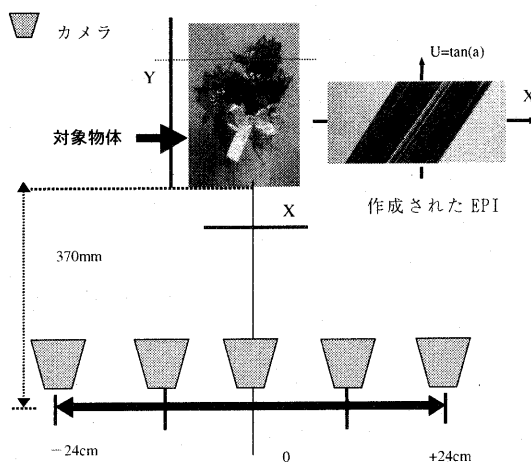


図5 対象物体からの EPI 作成

3.3. 実験結果

ベクトル分布の一例として 2×2 の 4 次元分割を行った場合のヒストグラムを図 8 に、また VQ を行ったときの自然画像と EPI での符号化特性を図 7 にそれぞれ示す。

まずベクトル分布については、自然画像のヒストグラムではほぼ全体に輝度分布が広がっているのに対し、EPI ではいくつかの領域(図 6 ではふたつ)に分布が偏りその領域以外ではほぼゼロとなる部分が多いということが判明した。また VQ に対する特性ではベクトル分布の違いからも推測できるように同様の次元で等しいエントロピーで比較したときに EPI の方が自然画像よりも常に約 1～2 dB、大きいところでは 8 dB も上回っているのが分かる。

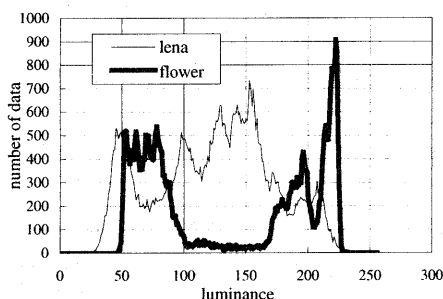


図 6 ベクトル分布の一例

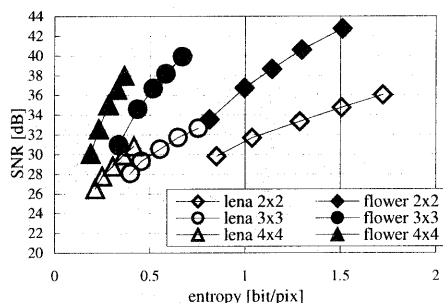


図 7 自然画像とEPIの符号化特性比較

4. VQ の効率化

4.1. 提案法

EPI は先に述べたように直線の集まりから成る。各直線の傾きはその直線で示された物体上の点の奥行きを表すものである。そこで EPI に対しては、通常の VQ で行われる図 8 (a) のような正方ブロックに分割するのではなく、(b) のようにブロックの分割形状を直線群の傾きに合わせ斜めにせん断した平行四辺形状のブロック分割を行ったうえで VQ を行うという手法を提案する。このときの分割形状を正方ブロックに対し斜形ブロックと呼ぶ。ただし斜形ブロックのせん断角度は中央位置のカメラから対象物体中心までの距離から算出した一定値とする。

これは 3. で得られた、EPI はベクトル分布に偏りが大きいという結果から EPI におけるベクトル分布をさらに偏らせることを目的とするものである。よってこの手法を用いることで通常よりも効率的に EPI を VQ で符号化できることが期待できる。

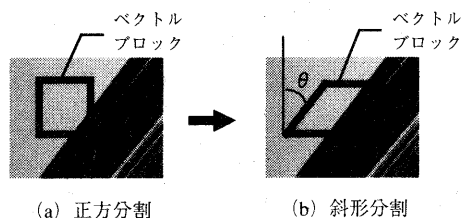


図 8 ベクトルブロックの分割形状

4.2. 実験

まず図 7 で得られた EPI 画像に対し通常の正方ブロック分割による VQ の符号化特性と斜形ブロック分割による符号化特性とを比較する。ブロックは縦横同サイズとし分割ブロックサイズを 2×2 から 16×16 まで、またコードブックサイズを 8bit から 10bit まで変化させ調べる。

次に通常では正方ブロックは縦横サイズが等しいものが最適とされるが、EPI に用いる斜形ブロックの場合は画像の特徴上、むしろ縦に長い分割をした方が効率的であると思われる。ここでは横サイズを 2, 4 ピクセルと小さく取ったとき縦サイズを 2 のべき乗で画像の縦サイズの大きさまで増加させていった場合の特性を

調べ、縦横同サイズでの正方ブロックの特性と比較する。

また、今回の実験では大きなベクトルサイズを想定しているため、入力画像からのみの学習ベクトルが不足する。そのため学習ベクトルは複数の画像から作成するものとする。

4.3. 実験結果

正方ブロックと斜形ブロックとの符号化特性の比較結果が図9である。各分割サイズで斜形ブロックの場合の方が正方ブロックの場合より良い結果であることが分かる。加えて図10にベクトルサイズを16x16次元、コードブックサイズが8bitのときの実際の出力の比較例を示す。これを見ると符号化特性のみではなくブロックひずみの軽減に効果があることも分かる。

図11(a), (b), (c)はコードブックサイズをそれぞれ7, 8, 9bitとして、縦サイズを増加させていった場合の特性結果である。どの場合においても斜形ブロック

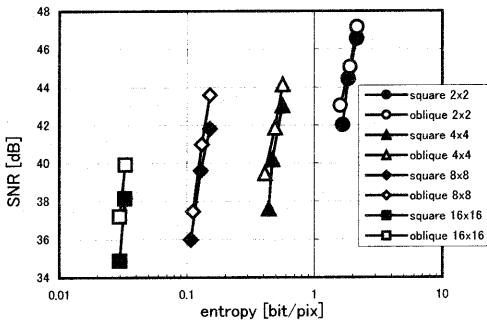
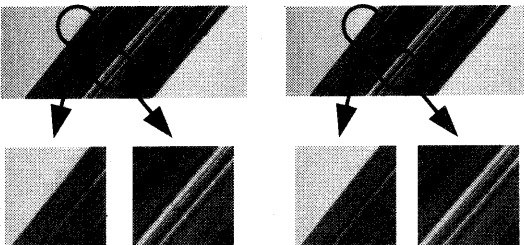


図9 正方分割と斜形分割の符号化特性比較

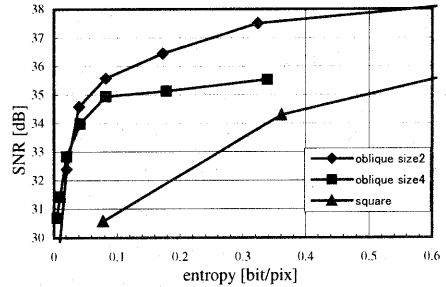


(a) 正方分割

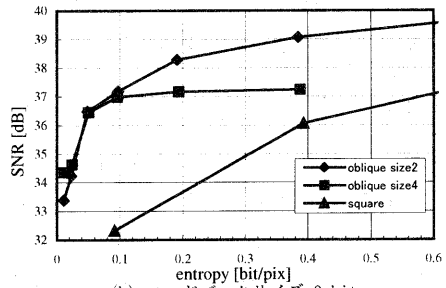
(b) 斜形分割

図10 実際の出力画像の比較例

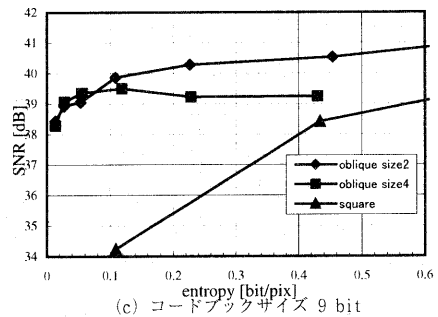
では正方ブロックに比べて、エントロピーが小さなきほどより高い画質が得られている。つまり、斜形ブロックでは分割サイズを大きく取る場合、縦サイズを大きくすることで正方ブロックよりも符号化効率が高くなるということが明らかとなった。



(a) コードブックサイズ 7 bit



(b) コードブックサイズ 8 bit



(c) コードブックサイズ 9 bit

図11 縦長形状のときのVQ符号化特性

5. 考察

では以上の結果から考察を行う。まず自然画像とEPIとではベクトルの分布において後者の方が前者よりも

比較的狭い範囲に偏っている。この事実は、単純にベクトル量子化を行う場合に EPI の方が良い結果が得られることにつながる。従って光線空間に対して VQ で符号化する場合、自然画像面よりも EPI 面に対して行う方が優位となることが判明した。

また EPI に対しては EPI が直線群から成り、直線方向にほぼ等しい輝度が並ぶという特徴を生かすことでより効率的な VQ を行うことが予想される。その特徴を生かした一例が提案法の斜形ベクトル分割に当たり、この手法を用いることで通常画像に対する VQ で行われる正方ベクトル分割より高い効率を得られることになった。また、この効果は縦サイズを大きく、すなわちベクトルサイズを大きくして行ったとき、より高い効果が得られた。ベクトル量子化は一般にベクトルサイズを大きくしていくことで量子化性能がレートひずみ限界に近づいて行く特徴があるため、このことを考慮すると提案法が非常に有効であることが理解できる。

6. まとめ

光線空間に VQ を行う場合、自然画像面よりも EPI 面に対して行う方が良い結果が得られる、ということをもこれらのベクトル分布と合わせて調べた。EPI に対して、斜形ブロックで分割し VQ を行う符号化法を提案した。これにより通常の VQ よりも高い符号化効率を得られた。さらに斜形分割では大きなベクトルサイズも考える場合に、縦サイズを大きく取るようにすることでさらに高い符号化効率を得られることが求められた。

しかし、現段階では数種類の EPI について調べたのみであり、EPI 全般に対して同等の結果が得られるとは考えにくい。そのため、今後様々な EPI に対しての実験を行っていく必要がある。また、今回の提案法を EPI 画像単体についてではなく光線空間データ全体に対して拡張し、その特性を調べることも重要な課題の一つである。さらに、今回の手法では EPI 面での特徴を利用しただけであり、自然画像面での画像の特徴は考慮していない。できれば EPI 面に加え、自然画像面での特徴も同時に利用できるような方法を提案する必要がある。

参考文献

- [1] T. Fujii, T. Kimoto, M. Tanimoto, "Ray Space Coding for 3D Visual Communication", Picture Coding Symposium'96, pp.447-451 (Mar. 1996).
- [2] M. Magnor and B. Girod, "Data Compression for Light-Field Rendering", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol.10, no.3, pp.338-343 (Apr.2000).
- [3] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light Field Rendering", ACM SIGGRAPH'96, pp. 31-42 (Aug.1996).
- [4] Allen Gersho and Robert M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression", Kluwer Academic Publishers, 1992.