学生会員 神谷 真一郎[†], 正会員 浜 辺 隆 二[†]

A Method of Vector Quantizer Design for Large Images

Shinichiro Kamiya[†] and Ryuji Hamabe[†]

あらまし 本報告は大画像をいくつかの小領域のブロックに分割し、ブロック毎にその性質に応じて可変量子化レートでコードブックを設計する手法を提案する。量子化レートの決定には画像の局所的性質を表すレンジ統計量を用いた。本手法をハイビジョン標準画像より作成した大画像で実験を行い、画像全体を一定の量子化レートでコードブック設計を行う方式よりも同程度のSN比の再生画像を得るためのコードブック設計の計算量が減少した。また、視覚評価も良好な結果が得られた。

1. ま え が き

ハイビジョン等、最近の画像メディアは、大型化、高精細化しつつあり、そのような大画像をデジタル化するときの情報量は膨大になる。従来の静止画の代表的な高性能符号化方式として予測符号化、離散コサイン変換符号化およびベクトル量子化等があるが、ここではベクトル量子化手法¹⁾を用いる。このベクトル量子化を応用した方式として画像の局所的性質に着目して、量子化誤差の二乗和を用いたハイビジョン静止画の符号化²⁾や、輝度値のレンジ統計量を用いた印刷用カラー画像の領域適応型ベクトル量子化³⁾等が報告されている。

本報告では、大画像の静止画を対象としてこれを小画像の領域（以下ブロックという）に分割し、分割したブロックの性質を基準にした可変量子化レートのコードブックを用いる符号化法を提案し、この場合におけるコードブックの一設計法について報告する。本方式は、画像の平坦なブロックは低い量子化レート、複雑なブロックは高い量子化レートでコードブックを設計するので、従来の LBG アルゴリズムを用いて大画像を一括して設計した高い量子化レートのコードブック

設計よりも少ない計算量で行うことができる。また、コードブックの設計には高速設計アルゴリズム⁴⁾を用いるので計算量がより減少する。シミュレーション結果として、ハイビジョン静止画像の輝度値のみを利用して行ったコードブック設計の計算量と再生画像のSN比とその視覚評価について述べる。

2. 分割可変量子化

本手法は大画像をブロック形状の小領域に分割し、ブロック内の輝度値に基づいた量子化レート決定関数により可変量子化レートでベクトル量子化のコードブック設計と量子化を行う。以下にコードブック設計の手順を述べる。

図 1 にコードブック設計法の概念図を示す。図の $X \times Y$ 画素の大画像を横方向 x 画素、縦方向 y 画素からなる m 個のブロック t ($t = 0, 1, \dots, m-1$) に分割する。次に、各ブロック内から学習系列として $K = a \times b$ 画素の K 次元ベクトルを得る。ブロックとベクトルを以上のように構成するので $X/x, Y/y, x/a, y/b$ が整数になるように前処理をする必要がある。次に、ブロックの量子化レートを決定するために輝度に関する統計的性質を表すレンジ統計量を算出する。そして、それを

キーワード：ブロック分割、大画像、可変レート、ベクトル量子化

1995 年 7 月 26 日、テレビジョン学会年次大会にて発表

1995 年 11 月 22 日受付、1996 年 2 月 5 日再受付

[†] 福岡工業大学 (〒811-02 福岡市東区和白東 3-30-1, TEL 092-606-3131)

[†] Fukuoka Institute of Technology (3-30-1, Wazirohigasi, Higasi-ku, Fukuoka 811-02, Japan)

図1 コードブック設計の概念図
VQ design process of this method.

基準にした量子化レート決定関数 L を用いてブロック t の量子化レート L_t を決定し、ブロック毎に高速設計アルゴリズム⁴⁾を用いて量子化レート L のコードブック C_t を設計する。この操作を m 個のブロックについて行い大画像のコードブック $C_t (t = 0, 1, \dots, m-1)$ を得る。このコードブックの設計法をここでは分割設計⁶⁾と呼ぶことにする。また、量子化はコードブック設計と同様のアルゴリズムを用いる。

ブロックの量子化レートを決定する決定関数とレンジ統計量を以下のように定義する。ブロック t の中に n 個のベクトルが存在するとき、 i 番目のベクトルの k 番目の画素の輝度値を $g_{i,k}$ とする。 k を固定したときの輝度値 $g_{i,k}$ 中の最大輝度値を $\max\{g_{i,k}\}$ 、最小輝度値を $\min\{g_{i,k}\}$ としたときの差を R_{tk} とする。

$$R_{tk} = \max\{g_{i,k}\} - \min\{g_{i,k}\} \quad (1)$$

レンジ統計量 R_t とはブロック t における R_{tk} の総和である。

$$R_t = \sum_{k=1}^K R_{tk} \quad (t = 0, 1, \dots, m-1) \quad (2)$$

R_t の値が大きな値をとるときは複雑なベクトルが存在することを、小さな値のときはブロック内のベクトルの値に大きなばらつきがないことを示している。この性質を利用し、量子化レート決定関数を以下のように定義する。

$$L_t = D \log_2 R_t \quad (t = 0, 1, \dots, m-1) \quad (3)$$

ここで、 D は量子化レートを調整することのできる1以下の係数で、 D を大きくすると全体的に高い量子化レートに、小さくすると低い量子化レートになる。この量子化レート決定関数で得られたブロック毎の量子化レートを可変量子化レートと呼ぶことにする。

3. シミュレーション

シミュレーションで用いた大画像データはNHKハイ

表1 大画像と小画像のエントロピー
Entropy of large and small images.

大画像	(bit/pel)	小画像	(bit/pel)
Chromakey	6.309487	Girl	6.414508
Eiffel	7.499789	Moon	6.709312
Tulip	7.537941	Aerial	7.318107

ビジョン標準画像で種類はChromakey, Eiffel Tower, Tulip Gardenである。ハイビジョン画像はYUV信号で構成したもので、各信号とも1920×1035画素、量子化レベル10ビットである。設計の計算量の減少を目的としているので前処理としてY（輝度）信号のみのモノクロ画像とし、画素値を2ビット右シフトして量子化レベルを8ビットの256階調とした。また、大画像とブロックの大きさをベクトルの大きさの整数倍にするために大画像を1280×1024画素の範囲にし、1ブロックの大きさを128×128画素、1ベクトルを4×4画素の16次元ベクトルとした。比較のために小画像としてSIDBA標準画像のMoon, Girl, Aerialを用いた。以下では、大画像と小画像のベクトル量子化における計算量を調べ、本手法とブロック毎に分割しないで大画像全体を一定の量子化レートで設計する一般的な方法とを比較する。

3.1 分割設計と一括設計

一般に小画像のベクトル量子化では画像を4×4画素などの領域に分割し、その1領域を1ベクトルとして画像毎に1つのコードブックを用いて量子化、および逆量子化を行う。そのとき用いるコードブックは、その小画像全体から抽出したベクトルを学習系列としてLBGアルゴリズムを用いて設計する。このコードブック設計法をここでは一括設計と呼ぶことにする。これに対して、本手法は画像を小領域に分割してその領域から学習系列を抽出し、領域毎にコードブックを設計するので分割設計と呼ぶことにする。

3.2 大画像における計算量の増加

小画像の解像度を256×256画素、大画像を1280×1024画素とすると、画素数は20倍となり、より多くの情報量を持っている。3種類の小画像と大画像のエントロピー (bit/pel) を表1に示す。

これらの大画像と小画像に対して一括設計したコードブックを用いて各画像の量子化と再生を行った場合の量子化レートとSN比の関係を図2に示す。ここでいう量子化レートはコードブックのインデックスのビット数である。両画像とも1ベクトルは4×4画素の16次元である。また、SN比は以下の式とする。

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{d} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

図2 一括設計における量子化レートとSN比
SNR vs. Rate by no-partition quantization.

図3 設計時の乗算回数と再生画像のSN比
SNR vs. multiplication numbers in VQ design.

$\bar{d}$ は1画素当りの平均歪みである。

この図2から、平坦である大画像(Chromakey)と小画像(Girl)の差はほとんどないが、より複雑な大画像(Eiffel)と小画像(Moon)およびさらに複雑な大画像(Tulip)と小画像(Aerial)においては、ともに同程度のSN比(縦軸)を基準にしてみると量子化レート(横軸)が高くなっている。つまり、複雑な大画像では、小画像と同程度の再生画像を得るためには、小画像よりも高い量子化レートにする必要があり、コードブックの設計と量子化において計算量が増加することがいえる。このことから、大画像をブロック分割しブロック毎に適切な量子化レートで量子化を行えば、コードブック設計の計算量が減少できることが考えられる。

3.3 シミュレーション結果

シミュレーションは、最大くり返し回数を10回に、終了判定閾値を0.0001に固定して、量子化レートによる計算量の変化について検討した。図3に3画像を用いたときの分割設計と一括設計の比較結果を示す。図3は乗算回数を横軸にして、各々のコードブックを用いて量子化、再生したときのSN比を縦軸に示したものである。本手法のベクトルの距離尺度は、2乗誤差を用いるので1回の距離計算に必要な乗算回数はベクトルの次元数と同じ K 回である。したがって、計算量はコードブック設計の量子化操作で行われた距離計算の乗算回数の総和である。実線が分割設計、破線が一括設計である。この図は、計算量を比較するために分割設計は量子化レート決定関数の D パラメータを0.05~0.7、一括設計は量子化レートを2~13の範囲で変化させ、両設計法の乗算回数を基準にして示したものである。図3の画像Chromakeyにおいて、例

図4 原画像(Chromakey)
Original image. (Chromakey)

えばSN比が36dBのときの乗算回数は一括設計で約 2.5×10^9 回、分割設計で約 0.7×10^9 回と約1/4に減少している。乗算回数を基準にしてみると、例えば、乗算回数が 5×10^9 回のときのSN比は分割設計の方が4dB程度良いことがわかる。これは、平坦なブロックの場合は低い量子化レートに設定されて計算量が減少するからである。Chromakeyよりも複雑な画像Eiffel, Tulipでは、より2つの方式で差が大きくなっている。また、量子化するときの乗算回数と再生画像のSN比の関係は、両方式とも設計のときと同様の傾向の結果が得られた。

図4を入力画像として分割設計と一括設計で設計した各々のコードブックによる再生画像の例(chromakey)を図5と図6に示す。再生画像はブロック歪みが解るように図4の黒枠の部分を拡大表示してある。これらの再生画像はSN比がほぼ同じ30.68dB(分割設計)

図5 分割設計における再生画像
(30.68 dB, 1.1×10^8 回)

Reproduction image by partitioned design.
(30.68 dB, 1.1×10^8 times)

と 30.76 dB (一括設計) で、乗算回数は 1.1×10^8 回 (分割設計) と 1.7×10^8 回 (一括設計) の例である。図 5 はブロック間の境界に若干の歪みが生じている場所があるが、これは、原画像では同じ輝度値である境界線付近の画素が別のブロックとして分割された後、別々のコードブックで量子化されたときのブロック歪みと考えられる。しかし、両画像の頬と首の部分と比較してみると、明らかに図 5 の方が視覚的に良好である。これは、本方式はブロック毎に最適設計したコードブックを用いているので、同程度の SN 比の再生画像が得られる一括設計のコードブックよりも局所的に最適化され、細部の輪郭においてベクトル間のブロック歪みが低減するからである。他の画像でも、分割設計の方が視覚的に良好な結果が得られた。

4. む す び

大画像をブロック形状の領域に分割し、各ブロックのレンジ統計量に基づく量子化レート決定関数を用いた可変量子化レートのコードブックを高速設計アルゴリズムで設計する手法を提案した。大画像と小画像を一括設計した場合は、大画像においては小画像と同じ SN 比の再生画像を得るために必要な量子化レートが高くなることを確認した。このことから、本手法をハイビジョン画像から再構成したモノクロの大画像に適用したところ、複雑なブロックは高い量子化レートで、平坦なそれは低い量子化レートでコードブックを設計すれば、一括設計と同程度の SN 比の再生画像を得る場合のコードブック設計の計算量は、分割設計の方が

図6 一括設計における再生画像
(30.76 dB, 1.7×10^8 回)

Reproduction image by no-partitioned design.
(30.76 dB, 1.7×10^8 times)

少なくなる。3 種類の再生画像を視覚評価したところ分割設計にブロックの境界に若干の歪みが発生していたが、一括設計よりも視覚的に良好であった。今後は、ベクトル量子化法だけでなく大画像の性質に着目した種々の圧縮法について検討する予定である。

【参 考 文 献】

- 1) Y. Linde, A. Buzo and R.M. Gray: "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans. Commun., **28**, 1, pp.84-95 (Jan. 1980)
- 2) 浜田, 池永, 河合, 山崎, 吉野: "ハイビジョンディジタル静止画放送における符号化方式", テレビ誌, **43**, 10, pp.1119-1128 (1989)
- 3) 会津, 高木: "領域適応型ベクトル量子化を用いた印刷用画像データの圧縮", テレビ誌, **43**, 10, pp.1087-1092 (1989)
- 4) 福永, 山田: "ベクトル量子化器設計における高速アルゴリズム", 信学技報, IT90-2, pp.5-10 (1990)
- 5) 三角, 元石: "動的探索法を用いた高速ベクトル量子化アルゴリズム", 信学技報, SP89-59, pp.33-40 (1989)
- 6) 神谷, 浜辺, 山田: "大画像におけるベクトル量子化器設計の一手法", 1995 年テレビ年次大, pp.95-96 (1995)

かみ や しんいちろう
神谷 真一郎 1994 年, 福岡工業大学情報工学科卒業。現在, 同大学院修士課程に在学中。大画像における高効率符号化に関する研究に従事。学生会員。

はま べ りゅうじ
浜辺 隆二 1970 年, 防衛大学校理工学研究科修了。同年, 防衛大学校助手。1972 年, 福岡工業大学講師, 助教授を経て, 現在, 同教授。ホームオートメーション, 音声・画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。