

DCTとVQを用いた画像圧縮手法の検討

An image compression method based on the DCT and VQ

○田中宏昌*, 古閑敏夫*, 本谷秀堅*

○Hiromasa Tanaka*, Toshio Koga*, Hidekata Hontani*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード： 離散コサイン変換 (discrete cosine transform), ベクトル量子化 (vector quantization),
画像圧縮 (image compression)

連絡先： 〒992-0038 米沢市城南5丁目 山形大学大学院 理工学研究科 電子情報工学専攻
田中宏昌, E-mail: g02554@dipfr.dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

画像圧縮手法の国際標準であるJPEGでは、画像を一度離散コサイン変換(DCT)する。DCTは、空間領域から周波数領域への変換の一つである。一般的に画像では目立ちにくい高周波成分の信号を省略する上で有用である⁴⁾。また、DCTによる変換係数の分布は統計的にガウス分布で近似できるとされており、その統計モデルに従ってベクトル量子化器を設計する、DCTとベクトル量子化(VQ)を組み合わせた汎用的な高能率符号化手法(DCT-VQ)も提案されている¹⁾。

今回我々は従来のDCT-VQ(以下従来方式と呼ぶ)を拡張させた新しい符号化システムを提案する。本手法は画像の符号化の際に参照するコードブックの作成に関するものであり、DCTを行わずに空間領域における演算のみにより通常の符号化と同等の処理を実現する。

また、2章で述べるような従来方式の問題点の解決法や、コードブックのサイズをある程度小さく

くしても、画質をそれほど損なわないようなコードブック作成方式についても報告する。

2. 従来方式(DCT-VQ)

Fig.1にDCT-VQ(以下従来方式と呼ぶ)の符号化手順を示す。

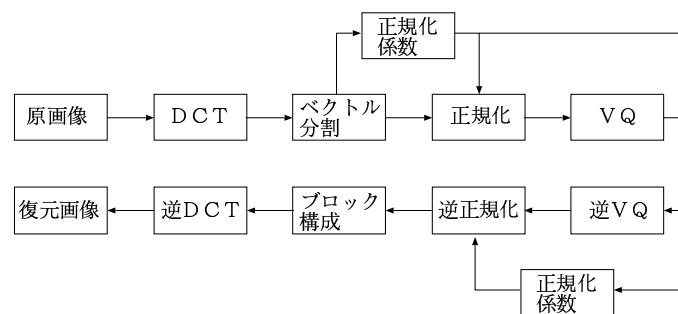


Fig. 1 従来方式の符号化手順

以下に各処理についての説明をする。

2.1 離散コサイン変換(DCT)

画像を8画素×8画素のブロックへと分割する。各ブロック $f(x, y)$, $x, y = 0, 1, \dots, 7$ のDCTと逆DCTは次の式で定義される。

$$F(u, v) = \frac{c(u)c(v)}{4} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right) \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 c(u)c(v)F(u, v) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right) \quad (2)$$

$$\text{ただし, } c(u), c(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u, v = 0 \\ 1 & u, v \neq 0 \end{cases}$$

変換後の各DCT係数は、係数間に相関はほとんどなく、各係数を独立に扱えるため目立ちにくい高周波成分を省略できるなど符号化効率がよい。また直流成分以外の係数はガウス分布で近似できることから、画像共通の確率モデルを元にコードブックを作成することができ、汎用性の高いVQが実現可能である。

2.2 ベクトル分割

変換係数に対してVQを適用するため、変換領域に対してベクトルを定義する。8×8のブロックに1つのベクトルを定義するとベクトルの次元が大きすぎるため各係数間に相関がないことからFig.2のようにバンド分割を行うことが出来る。

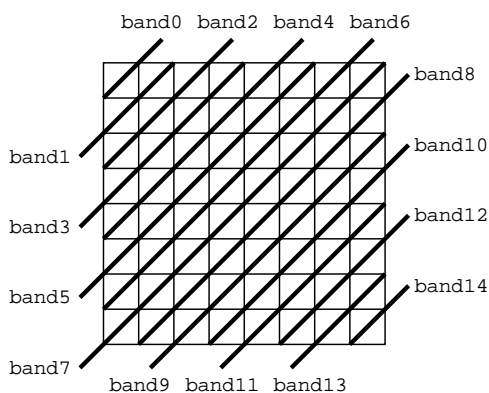


Fig. 2 DCT係数のバンド分割

このようなバンド分割を行った場合、各バンド内の変換係数の分散値はほぼ等しいことが知られている。

2.3 正規化

符号化時には、バンド1からバンド14までの各ベクトルを画像全体から求めたベクトル内成分の分散の平均値に基づき正規化を行う。 k_i 次元ベクトルの成分の分散値を $\sigma_{i1}^2, \sigma_{i2}^2, \dots, \sigma_{ik_i}^2$ としたとき、各バンドの正規化係数は次式で与えられる。

$$NF_i = \sqrt{(\sigma_{i1}^2 \dots \sigma_{ik_i}^2)^{\frac{1}{k_i}}} \quad (3)$$

正規化により、正規化後のベクトルの成分は平均0、分散1のガウス分布と仮定できる。

2.4 ベクトル量子化(VQ)

あらかじめ平均0、分散1のガウス分布に対して各バンドごとのコードブックを作成しておく。コードブックの作成にはクラスタリング²⁾を用いる。Fig.3は2次元ガウス分布に対するクラスタリングの結果である。

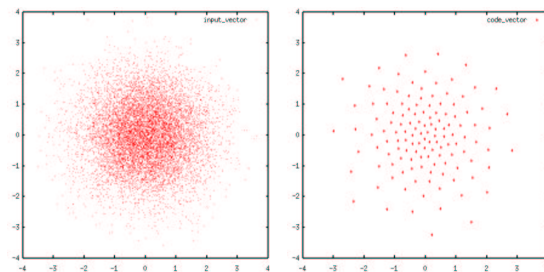


Fig. 3 左:分散1のガウス分布(サンプル数10000点). 右:従来方式で用いているコードベクトル(128点).

以上のようなコードブックを参照し、各バンドに対して正規化されたベクトルに最も距離が近いベクトルを選ぶ。選ばれたコードベクトルのインデックスと正規化に用いた正規化係数を復号側に送る。復号側では以上の逆の手順を行う。

2.5 従来方式の問題点

従来方式で用いているコードブックには大きな欠点がある。それは従来のVQではコードブックを参照する際にベクトル間の距離を基準にコードベクトルを選ぶことである。Fig.4に簡単な例を示す。

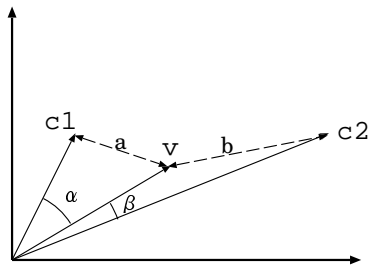


Fig. 4 従来方式の欠点

$c1$, $c2$ をそれぞれコードベクトルとし、入力ベクトルを v とする。ここで従来方式のように距離を基準にすると v は $c1$ に近くなるが、角度を基準にすると $c2$ の方が近くなる。画像ではベクトルの方向はパターンを表し、ベクトルの大きさは明るさを表している。従来方式では画像のパターンを無視して明るさが近いベクトルを選ぶため、エッジなどの重要なパターンが失われてしまう場合がある。

3. 提案方式の原理

3.1 ベクトルの方向と大きさの分離

2章で述べたように、従来方式ではベクトル間の距離が最小となるベクトルを選ぶため、“ベクトル間の距離が最小”=“ベクトル間の角度が最小”の関係が必ずしも成り立たないため問題が生じる場合がある。これは、コードベクトルがそれぞれ異なった大きさを持っているのが原因である。そこでベクトルの大きさと方向を分けることでこの問題を解決する。方向と大きさを分けるというのは、ベクトルの方向についてはVQを用いて符号化し、大きさは通常の量子化を行い、それぞれ

を別に符号化することである。

方向はコードブック作成の際に全てのコードベクトルの大きさを1に正規化しておくことにより、Fig.5のように“ベクトル間の距離が最小”=“ベクトル間の角度が最小”の関係が常に成り立つため、純粹に方向の似たベクトルを選ぶことができる。

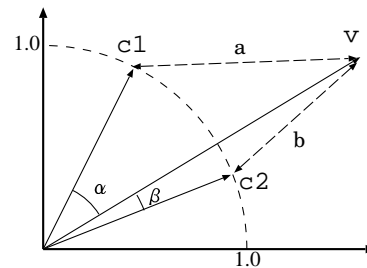


Fig. 5 提案方式によるベクトルの選択

コードベクトルは次の式によって選ばれる。

$$k = \max_i v \cdot c_i \quad (i = 0, 1, \dots, N) \quad (4)$$

ここで v は入力ベクトル、 c_i をコードベクトル、 N をコードブックのサイズとし、入力ベクトルとコードベクトルの内積値が最大となるインデックス i を選ぶものとする。

大きさは入力ベクトルの大きさの代わりに式4で求めた最大内積値を用いる。これはベクトルの選択とその係数の算出が同時にできること、そして量子化誤差を最小にすることができるからである。この理由について以下に示す。

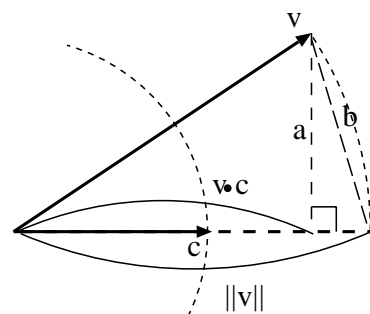


Fig. 6 量子化誤差の最小化

入力ベクトルを v 、コードベクトルを c とする。ベクトルの大きさを内積値とした場合、出力ベクトルの大きさは $v \cdot c$ となる。一方ベクトルの大きさ

をそのまま用いた場合、出力ベクトルの大きさは $\|v\|$ となる。入力ベクトルと出力ベクトルの量子化誤差は最小二乗誤差、つまりベクトル間の距離で表されるのでFig.6からも b より a の方が短く、内積値を用いた方が量子化誤差は小さくなる。

大きさと方向を分けることの利点は、従来のコードブックでは似た方向のベクトルが多数存在しているが、大きさが異なることからそれぞれのベクトルを違うベクトルとして見なすためコードブックのサイズがどうしても大きくなってしまう。しかし今回提案するコードブックではベクトルの方向と大きさを分けているため、従来のコードブックに比べてそのサイズを小さくすることができ、またあらゆるベクトルに対しても対応ができることから汎用性に優れているといえる。ベクトルの大きさについても、DCT係数と同様に統計的な偏りを利用した効率のよい符号化ができる。

3.2 コードブックの作成

従来方式では、直流成分以外のDCT係数がガウス分布(Fig.3の左)に従うことから、ガウス分布に対してコードブックを設計している(Fig.3の右)¹⁾。

提案方式でもガウス分布をモデルとし、コードブックを作成するが、あらかじめFig.7の左のようにベクトルの大きさを1に正規化しておく。そして、クラスタリング²⁾を行うことで、Fig.7の右のような半径1の円周上に一様に分布するようなコードベクトルを作成する事ができる。

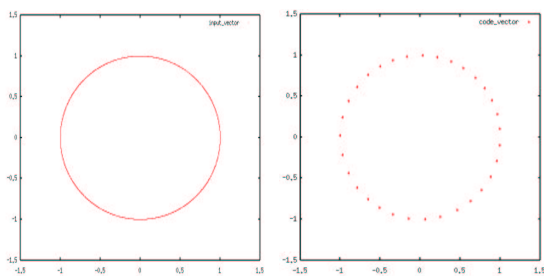


Fig. 7 左：分散1のガウス分布を正規化(サンプル数10000点)。右：提案方式で用いているコードベクトル(32点)。

ベクトルの構成については従来方式と同様とする(Fig.2)。

Fig.8はコードブック作成手順である。この操作を各バンドごとに行い、各次元ごとのコードブックを作成する。またあらかじめ逆DCTを行っておくことで符号化の際に画像をDCTする必要がなく、画像から直接各バンドのコードベクトルが得られ、符号化処理を簡略化することができる。これは空間領域と周波数領域でベクトルの大きさと内積値が一定となる直交変換の性質を利用したものであり、当然どちらの領域で処理を行っても結果は同じものとなる。

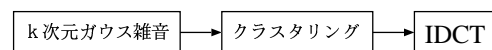


Fig. 8 コードブック作成手順

3.3 符号化手順

Fig.9に提案方式による符号化手順を示す。

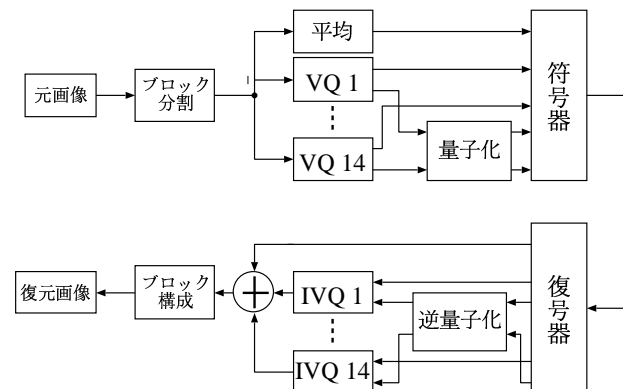


Fig. 9 符号化と復号化の手順

符号側

- (1) 画像を 8×8 のブロックに分割する。
- (2) バンド 0 (直流成分)はブロック内の画素値の平均を 8ビットで一様に量子化する。
- (3) その他の各バンドごとに式4を用いてコードベクトルを選ぶ。
- (4) (3)で得られる最大内積値を量子化する。

(5) (2)から(4)のデータを符号器で符号化する。

復号側

(1) 符号化されたビット列を復号器で各バンドごとのインデックスと量子化された内積値に戻す。

(2) 量子化された内積値を逆量子化しバンドごとのインデックスに対応したコードベクトルに掛ける。

(3) (2)から得られるベクトルを全バンドで足し合わせることで画像を復元することができる。

以上の提案方式はDCTを行っていないことから、全ての課程において空間領域での処理となる。これはコードブックが空間領域でのベクトルで構成されているためである。

4. 実験結果

実験は次の2枚の標準画像に対して行った。



Fig. 10 実験に用いるテスト画像 左: GIRL 右: LENA

バンドは1から13までを使用し、内積値の量子化についてはステップ数を16, 32, 64, 128とした。またコードブックのサイズとステップ数は各バンドで同じものとする。

Fig.11は従来方式と提案方式でそれぞれのコードブックサイズでの画質を比較したものである。実線で示したものが従来方式であり、提案方式ではそれぞれのコードブックサイズで内積値の量子

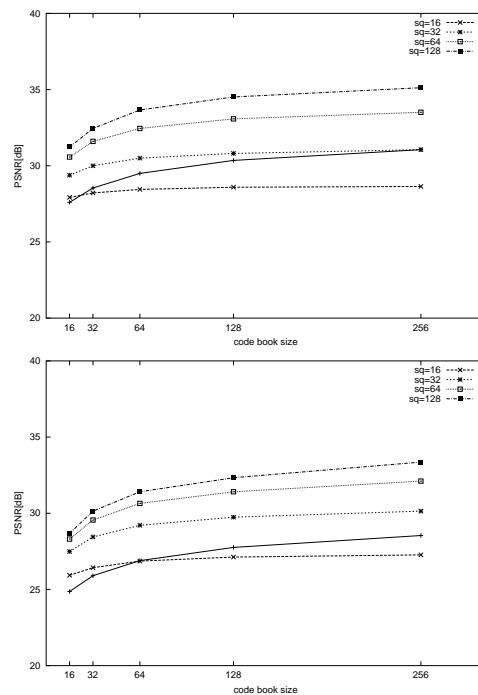


Fig. 11 コードブックサイズごとの従来方式と提案方式の比較 上: GIRL 下: LENA 実線は従来方式を表し、波線は提案方式を内積値の各量子化ステップ数ごとに表している。提案方式のステップ数が32以上ではコードブックサイズが十分小さくても従来方式に比べ画質に与える影響が小さいことがわかる。

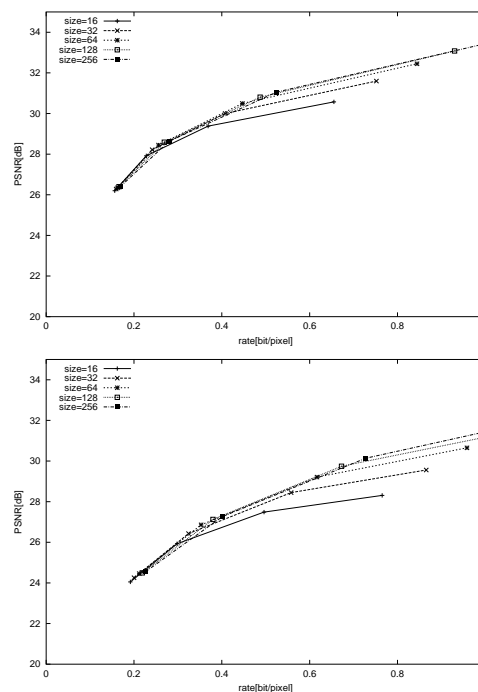


Fig. 12 提案方式による符号化結果 上: GIRL 下: LENA 提案方式を各コードブックサイズにおいて画質と情報料を比較した結果、0.5[bit/pixel]以下では画質の差は小さい。

化ステップ数を変えている。図からもわかるようにコードブックのサイズが十分小さくても従来方式に比べ、画質に与える影響が少ない。

Fig.12は提案方式による符号化結果である。低ビット領域ではコードブックのサイズによる画質の差が小さいことがわかる。ここでビットレートはエントロピーから算出しているため、実際のビットレートとは異なることに注意していただきたい。



Fig. 13 従来方式と提案方式による復元画像 上から従来方式(256), 提案方式(64), (32), (16) 括弧内はコードブックのサイズを表す。また量子化ステップ数はそれぞれ32としている。

Fig.14はFig.13のGIRLの復元画像の一部を拡大したものである。従来方式ではコードブックのサイズが大きいのに関わらず、提案方式に比べエッジ

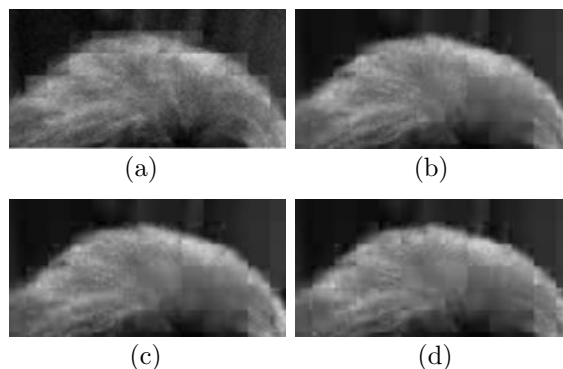


Fig. 14 GIRLの拡大画像 (a)従来方式：コードブックサイズ256, (b), (c), (d)提案方式：コードブックサイズ64, 32, 16

ジの情報が失われていることがわかる。これは提案方式ではベクトルの方向、つまり画像のパターンに注目してコードベクトルを選ぶため、エッジなどの重要な情報が失われにくいと考えられる。

5. おわりに

今回我々はDCTを用いない符号化システムを提案した。これにより符号化及び復元化における処理を簡略する事ができた。またベクトルの大きさと方向を分けて符号化することで従来方式に比べ、小さいコードブックサイズでも画質に与える影響が少ないことが確認できた。

しかし今回は符号化テーブルを作成していないため、今後テーブルを作成する必要がある。またランレングスを用いることにより効率的な符号化も期待できる。

参考文献

- 1) 相澤 清晴, 原島 博, 宮川 洋: 離散コサイン変換ベクトル量子化 (DCT-VQ), テレビジョン学会誌, Vol.39, No.10 (1985)
- 2) YOSEPH LINDE, ANDRES BUZO, ROBERT M. GRAY: An Algorithm for Vector Quantizer Design, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol.COM-28, No.1, JANUARY(1980)
- 3) Allen Gersho, Robert M.Gray, 古井 貞熙, 田崎 三郎, 小寺 博, 渡辺 裕 共訳: ベクトル量子化と情報圧縮, コロナ社(1998)
- 4) 酒井 善則, 吉田俊之: 映像情報符号化, オーム社(2001)