

J-77 DCT 係数確率密度分布を用いた符号化 PSNR 推定手法の検討

A study on estimation of coding PSNR using the probability distribution of quantized DCT coefficients

市ヶ谷敦郎† 黒住正顕† 杉本智彦† 中須英輔†
Atsuro Ichigaya Masaaki Kurozumi Tomohiko Sugimoto Eisuke Nakasu

1. はじめに

映像伝送システムのデジタル化により MPEG-2 符号化方式が広く用いられている。MPEG-2 方式により符号化された映像は入力映像の性質により常に品質が変動し、符号化劣化は空間及び時間において局所的に発生する傾向がある。このようなデジタル映像システムの画質を自動的にモニターする手法の開発が望まれている。

符号化映像の品質を評価する方法として、エンコーダへの入力信号を基準としたデコード信号の信号雑音量を示す PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)がある。しかし、PSNR は入力信号を必要とするため、画質モニタに利用できる状況は限られる。また、リアルタイムに PSNR を測定するには、エンコーダ及びデコーダを経て遅延の生じたデコード信号と入力信号のフレーム位相を厳密に合わせる処理を必要とする。

本稿では、入力画像を必要とせず、MPEG-2 ビットストリームより DCT(Discrete Cosine Transform)係数情報を抽出し、その振幅値の確率密度分布を解析して、イントラピクチャにおける PSNR を推定する方法について検討し、有効性を確認したので報告する。

2. DCT 係数確率密度分布を用いた PSNR の推定

2.1 DCT 係数と量子化処理

映像の符号化劣化を定量的に評価する指標として PSNR が広く用いられている。PSNR は、入力画像とデコード画像の画素を比較し、符号化誤差量を両者の平均二乗誤差(MSE:Mean Square Error)の電力比で表したもので、(1)式で表される。

$$PSNR = -10 \log(MSE / 255^2) \quad (1)$$

MPEG-2 方式における符号化劣化は非可逆な処理である量子化によって生じる。量子化は映像信号を離散コサイン変換(DCT)した係数値に対して行われる。PSNR は画素差分による時間領域の誤差電力であるが、Parseval の定理より DCT 領域における量子化誤差電力と等価である。すなわち(2)式に示すように DCT 領域における平均二乗誤差から PSNR を測定することができる。なお、DCT 領域における平均二乗誤差を MSE_{DCT} と表記することとする。

$$PSNR = -10 \log(MSE_{DCT} / 255^2) \quad (2)$$

2.2 入力信号の分布推定

次に DCT 領域における入力信号の推定方法について述べる。一般的に映像信号の DCT 係数分布は Laplace 分布を示すことが知られている[1][2]。入力信号が Laplace 分布であると仮定した場合、DCT 係数確率密度関数は(3)式で与

えられる。

$$p(X) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|X|}{\sigma}\right) \quad (3)$$

つまり、確率密度関数は分布の標準偏差 σ の一変数のみによって決定されることがわかる。

また、ビットストリームより抽出した DCT 係数は量子化により、量子化区間の全ての値が量子化代表値に丸められる。そのため、抽出される DCT 係数は図 1 のように櫛形状の分布を示す。MPEG-2 におけるイントラマクロブロックの逆量子化処理は(4)式に示すとおりで、量子化代表値 F'' の間隔 q は(5)式によって表される。

$$F''[v][u] = QF[v][u] \\ \times \frac{Qmatrix[v][u] \times quantiser_scale}{16} \quad (4)$$

$$q = \frac{Qmatrix[v][u] \times quantiser_scale}{16} \quad (5)$$

q は $Qmatrix[v][u]$ と $quantiser_scale$ (以下 q_scale) の関数であるが $Qmatrix$ はフレームにおいて一意に決まるので、フレーム内のマクロブロック毎に変わり得る $quantiser_scale$ のみの関数と考えることができる。MPEG-2 において DCT 係数は 64 成分、 q_scale は 32 通りの値をとりうるが、ここでは説明の為に例として(0, 1)成分を取り上げ、 q_scale が特定の値のみをとる場合について述べる。入力信号の DCT 係数は係数値の属する量子化区間(量子化幅 q)の代表値に丸められる。量子化された DCT 係数分布は櫛形状を示し、もとの分布形状をとどめない。しかし、入力信号の分布の広がりに対し q が充分細かければ分散はほぼ保存されると考えられる。入力信号の確率密度分布は、(3)式により標準偏差 σ の関数で示されるので、ストリームより抽出した

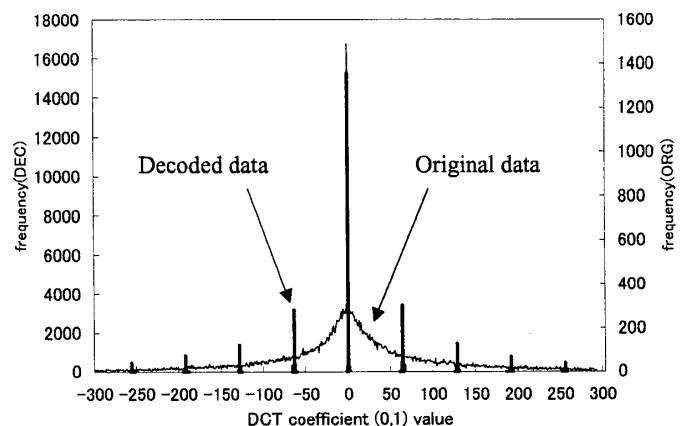


図 1. DCT 係数分布 (入力信号)

† NHK 放送技術研究所

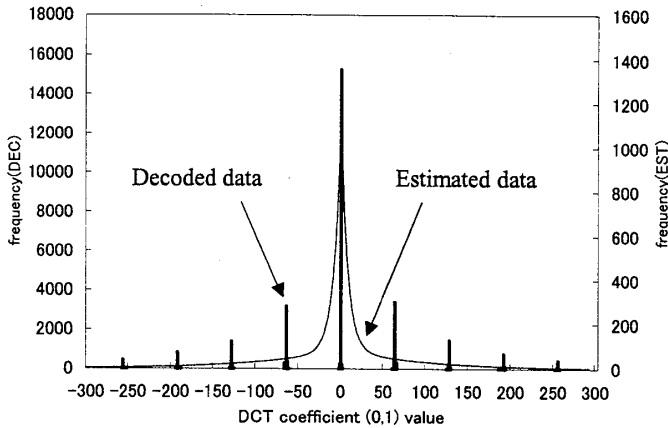


図2. DCT 係数分布(推定)

DCT 係数分布から求められる標準偏差 σ によって入力信号の分布を推定できる。さらに、(6)式によって量子化誤差を求める。ここで、量子化区間を $[a_k, \beta_k)$ と表記する。

$$MSE_{DCT(u,v)} = \frac{1}{N} \sum_k \int_{a_k}^{\beta_k} p_{(u,v)}(X)(X - kq)^2 dX \quad (6)$$

入力信号の DCT 係数分布とビットストリームより抽出した DCT 係数分布の標準偏差の関係を図 3 に示す。入力信号の DCT 係数分布と抽出した DCT 係数の分布それぞれの標準偏差はほぼ線形の関係にあることがわかる。ただし、入力信号の分散が小さい場合、量子化間隔 q が入力信号の分布に対して大きな値となり、分布推定精度が落ちることが予想される。

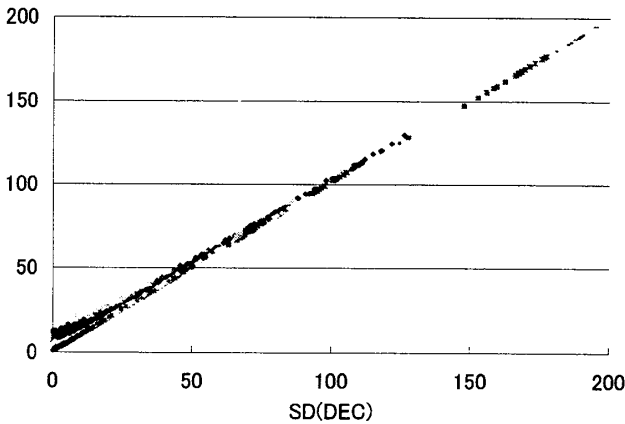


図3. 量子化による標準偏差の変化

3. PSNR 推定方法と評価実験結果

3.1 推定方法

1. ビットストリームより DCT 係数および量子化幅 $q(= Qmatrix[v][u] \times q_scale/16)$ を抽出し、フレーム内の DCT 係数を周波数成分、 q_scale ごとに集計し、それぞれ確率密度分布を作成する
2. 得られた DCT 係数確率密度分布より分散 σ^2 を求める
3. σ^2 より入力信号の (u, v) 成分の DCT 係数確率密度分布 $p_{(u,v)}(X)$ を Laplace 分布で仮定し、推定する
4. MSE_{DCT} より PSNR を推定する

$$MSE_{DCT(u,v)} = \frac{1}{N} \sum_k \sum_{(2k-1)q/2}^{(2k+1)q/2} p_{(u,v)}(X)(X - kq)^2$$

$$PSNR = -10 \log \left(\frac{1}{64} \sum_v \sum_u MSE_{DCT(u,v)} / 255^2 \right)$$

3.2 評価実験結果

MPEG-2 TM5 によって符号化した I ピクチャを用いて PSNR の推定を行った。符号化条件は 18Mbps, N=15, M=3, default matrix, $q_scale_type=1$ (非線形) である。画像は ITE ハイビジョン標準動画より 10 種類のハイビジョン映像を用いた。

MPEG-2 規格において量子化代表値に対してどのような量子化区間を用いるかの規定はない。MPEG-2 TM5 においては量子化代表値 kq に量子化される振幅の範囲は $[kq - 0.25q, kq + 0.75q]$ であるが、今回の検討では $[kq - 0.5q, kq + 0.5q]$ として推定を行った。推定結果を図 4 に示す。

回帰直線からの平均誤差 0.65dB, 決定係数 0.99 となり良好な結果が得られた。符号化で用いた量子化区間と一致しない場合においても推定が行えることが確認できた。

ただし、PSNR が低くなるにしたがって推定 PSNR 値が実際の値に対して大きく推定される傾向がみられた。これは図 3 に示した分布の広がりや量子化の粗さの関係によって分布の標準偏差の保存性が保たれなくなることと起因すると考えられる。

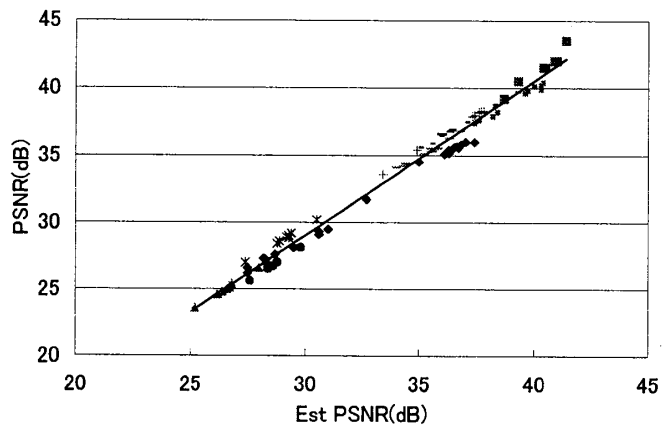


図4. PSNR 推定結果

4. まとめ

MPEG-2 符号化信号より PSNR を推定する方法について検討した。本方式により原画を用いずに PSNR の推定が精度良く行えることを確認した。

本検討では入力信号の DCT 係数分布を Laplace 分布で仮定し、I ピクチャにおける PSNR を推定した。今後、P, B ピクチャにおける PSNR の推定法の開発、また、絵柄に依らないより汎用性の高い PSNR 推定法の開発を行う予定である。

参考文献

- [1] 宮原 誠, “系統的 画像符号化”, アイピーシー, (1990.7.31)
- [2] 黒木 祥光, 上繁 義史, 太田 諦二, “DCT 係数の分布に関する検討”, PCSJ2001, P-5.11, pp93-94(2001)