

## データハイディングの圧縮耐性に関する考察と実験

4Q-6

上條浩一

日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

## 1 はじめに

動画、静止画や音声などデジタルコンテンツに対して微小な変化を加え、ID、署名等の付加情報を不可視、不可聴な状態で埋め込み、検出、又は抽出する手法にデータハイディング技術があるが、付加情報が加えられたデジタルコンテンツはその後のD/A、A/D変換、format変換、圧縮等のpost processingによって埋め込み情報が損失することが考えられる。

これらの損失がある場合でも、期待する抽出が出来るようにする為には、埋め込みの量を増やす、抽出の閾値を下げる、等の方法が考えられるが、前者は、画質、音質を劣化させる原因になり、後者は、埋め込みの行われていないコンテンツから誤ってビット情報を抽出してしまうfalse positive ratioが決められているようなシステムには適応出来ない。よって、これらのpost processingに対する耐性を埋め込みのアルゴリズムの段階で考慮に入れておくことが望ましい。

本稿では、統計的性質を用いたデータハイディング手法を例に取り、デジタル画像に対して埋め込みを行った際の圧縮に対する耐性と、耐性を良くする為に考慮すべき点について議論する。

## 2 統計的手法

現在DHSGで標準化を進めているDVDコンテンツへのデータハイディングのように、false positive ratio(この場合、10秒間で $10^{-12}$ 以下)が予め決められている状態で付加情報を埋め込むシステムは今後増えることが予想される。このようなシステムにおけるデータハイディングの手法として、統計的手法[1]があるが、この手法を以下のようにデジタル画像に適応する。

デジタル画像の特徴量 $X_i$ をある関数 $M$ によって変化させ、 $N$ 個の確率変数 $d_i$ を作る。このとき、付加情報の埋め込みが行われていない場合、 $N$ を充分大きくとれば、 $d_i$ の平均値の期待値が0になるように設計す

ると、 $d = \langle d_i \rangle$ の確率密度関数は、以下ののような正規分布 $p(d)$ を取る事が期待できる。

$$p(d) = \sqrt{\frac{N}{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{Nd^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma^2$ は、 $d_i$ の分散で、

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{N-1} d_i^2 / N \quad (2)$$

で計算される。これらを満たすように $M$ を設計出来れば、false positive ratio  $p_p$ が与えられたとき、正の数 $T$ を

$$p_p = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_T^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (3)$$

を満たす数としたとき、埋め込みが行われた場合、 $|d| > T\sigma/\sqrt{N}$ となるようにシステムを設計すれば良い。

## 3 埋め込み、抽出操作

次に、上で述べた条件を満たす、簡単な埋め込み、抽出システムの具体例をあげる。

まず、対象とするデジタルコンテンツをblockに分割し、DCT等の周波数変換を行い、そのblockの中から同一周波数成分の係数 $X_i$ を $N$ 個を選択し、以下の操作によって、埋め込みを行う。

$$X'_i = X_i + \epsilon_i \quad (4)$$

ここで、 $X'_i$ は埋め込み後の $X_i$ の係数で、 $\epsilon_i$ は下式を満たす。

$$\sum_{i=0}^{N-1} \epsilon_i = 0 \quad (5)$$

$d_i$ は関数 $M$ に $X_i$ を入力することにより、以下のよう求められる。

$$d_i = M(X_i) = \frac{\epsilon_i}{|\epsilon_i|} X_i \quad (6)$$

抽出値 $D$ は、以下のようにして求められる。

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} d_i / \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} d_i^2} \quad (7)$$

式(5)より、埋め込みがされていない場合、 $D \rightarrow 0$ となる事が解る。

## 4 量子化による抽出値の変化

$N$  が充分大きく、 $X_i$  の分布が以下の分布密度関数  $f(t)$  に従う場合を考える。

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (8)$$

$$f(t) = f(-t) \quad (9)$$

簡単の為、 $\epsilon_i$  は、 $X_i$  の値に関係無く、 $\delta (> 0)$  又は  $-\delta$  を等確率で取るとすると、量子化前の抽出値  $D$  は、以下のようになる。

$$D = \frac{\sqrt{N}}{2\sqrt{V}} \int_{-\infty}^{\infty} t(f(t-\delta) - f(t+\delta)) dt = \frac{\sqrt{N}\delta}{\sqrt{V}} \quad (10)$$

ここで、 $V$  は、下式で計算される。

$$V = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} (t^2 f(t-\delta) + t^2 f(t+\delta)) dt \quad (11)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} t^2 f(t) dt + \delta^2 \quad (12)$$

次に、注目している周波数成分の係数が量子化ステップ  $Q$  で量子化された場合の抽出値  $D_Q$  を計算する。 $nQ - Q/2 \leq X_i < nQ + Q/2$  を満たす  $X_i$  が  $nQ$  に丸め込まれることを考えると、 $D_Q$  は以下のようになる。

$$D_Q = \frac{\sqrt{N}Q}{2\sqrt{V_Q}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} n \int_{nQ-\frac{Q}{2}}^{nQ+\frac{Q}{2}} (f(t-\delta) - f(t+\delta)) dt \quad (13)$$

ここで、 $V_Q$  は、下式で計算される。

$$V_Q = \frac{Q^2}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} n^2 \int_{-\infty}^{\infty} (f(t-\delta) + f(t+\delta)) dt \quad (14)$$

次に、実際のデジタル画像の  $f(t)$  の形を考える。一般的に、ZigZag scan で 20 番目以下の低周波成分では、係数の分布、つまり  $f(t)$  は  $t=0$  をピークとした、山の形をした分布になる。そこで、 $f(t)$  を以下の関数で近似した場合について考える。

$$f(t) = \frac{a-|t|}{a^2} \quad (a > 0, |t| \leq a) \quad (15)$$

$$= 0 \quad (|t| > a) \quad (16)$$

この場合、この  $f(t)$  を上の式 (10) から (14) に代入すると、量子化前の抽出値  $D$ 、量子化後の抽出値  $D_Q$  共に、次式で近似できる。

$$D_Q \simeq D = \sqrt{N}\delta / \sqrt{\frac{a^2}{6}} \quad (17)$$

## 5 実験および考察

式 (17) の近似が可能なのは、埋め込みに利用した係数  $X_i$  が量子化後も 0 に丸めこめられないものが充分ある場合、つまり  $a > Q$  が成立する場合で、半分以上の係数が量子化によって 0 にされてしまう場合などでは、量子化後での減衰率  $D_Q/D$  は、0.8 以下になる。2 つの JPEG file(車の写真、アニメ) を使って  $Q$  値を 5 から 15 迄変えて実験したところ、高周波成分 (ZigZag scan で 20 番以降) で減衰率が 0.8 を超えても、画質にあまり影響が無いが、実際に埋め込みに使われる低周波 (ZigZag scan で 16 番より前) の場合、画像の block noise が激しくなり、画像としては使えなくなり、画像として見るに耐える範囲であれば、量子化による減衰は殆ど無く、 $D_Q/D$  が 1.0 以上のものと、1.0 以下のものがほぼ同数あった。

## 6 まとめ

本稿では、ある統計的手法によってデジタル画像に付加情報を埋め込み、抽出するときの、量子化による影響を実際の画像の分布を想定して予測した。その結果、低周波や、画質がいたまない程度の  $Q$  値であれば、減衰は殆ど無いことが予測され、JPEG 画像を使った実測の結果とほぼ合致した。本方法で解った圧縮による劣化を防ぐ埋め込み方法としては、低周波成分に入れる、圧縮によって、0 に丸め込まれない係数に優先して入れる、等の方法がある。

## 参考文献

- [1] 小林誠士, 上條浩一, 清水周一: "近傍ピクセルの性質を用いたデータハイディング- 近傍ピクセルの統計的性質 -", 情報処理学会第 56 回全国大会, 1998
- [2] 小林誠士, 小出昭夫, 清水周一: "データハイディングにおける圧縮耐性の基礎理論", 情報処理学会第 55 回全国大会, 1997
- [3] ISO/IEC 10918-1, "Information technology - Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images"
- [4] ISO/IEC 13818-2, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information part-2: video"