サブバンド符号化における振幅分布形状に
適応する量子化器

高 橋 努[†], 村 越 象[†],
正会員 吉 田 賢^{††}, 駒 村 光 弥[†]

Adaptive Quantizer to Shape of Amplitude Distribution
in Subband Coding

Tsutomu Takahashi[†], Sho Murakoshi[†], Masaru Yoshida^{††} and Mitsuya Komamura[†]

あらまし サブバンド符号化において各サブバンド信号の振幅分布は一般化ガウス分布でよく近似できること、および画像やサブバンドによって分布形状が大きく変動することを示す。信号振幅分布の変動に適応する量子化器を提案し、シミュレーションにより有効性を示す。

1. ま え が き

近年、画像符号化において DCT に代わる符号化方式としてサブバンド符号化の研究が盛んになってきている。サブバンド符号化の性能に影響する要因としては分割・合成フィルタの種類と量子化器が挙げられる。前者に関しては、直交ミラーフィルタ (QMF)¹⁾²⁾、ウェーブレット変換³⁾⁴⁾、SSKF (Symmetric Short Kernel Filter)⁵⁾等について多くの研究が行われている。後者の量子化器の性能はいかに信号振幅分布に適した量子化器を設計するかに依存する。したがって、効率の良い量子化を行うためには信号振幅分布を知る必要がある。

一般には信号振幅分布の確率密度関数としてガウス分布かラプラス分布を仮定して量子化器が設計される。サブバンド信号に関しては一般化ガウス分布で近似できるという報告⁴⁾⁶⁾がある。しかし、実際の信号振幅分布が仮定した分布と異なる場合や変動する場合には最適な量子化器とはならない。最適な量子化を行うた

めには、分布の変動にも適応する量子化器を用いる必要がある。

本稿ではサブバンド信号振幅分布について調べ、一般化ガウス分布により近似できること、また画像やサブバンドによって大きく変動することを示す。さらに、信号振幅分布の変動に適応する量子化器を提案し、シミュレーションによってその有効性を示す。

2. サブバンド信号の振幅分布

ITU-R Rec.601 の 4:2:2 信号にフィールド単位で 3 階層の 2 次元ウェーブレット変換を行い、図 1 に示す 10 個のサブバンドに分割する。フィルタは Daubechies⁷⁾ の 6 タップの FIR フィルタを用いた。MPEG 評価用画像 4 種類 (mobile & calender, cheer girl, flower garden, football) を含む 9 種類の画像各 1 フレーム (2 フィールド) の輝度信号について、DPCM で符号化される最低域のサブバンド 0 を除いた 9 個のサブバンドを用いて、合計 162 個のサブバンドの振幅分布を調べた。信号振幅をサブバンド毎に標準偏差 σ で正

キーワード：サブバンド符号化、ウェーブレット変換、適応量子化、一般化ガウス分布

1995 年 7 月 26 日、テレビジョン学会年次大会に発表

1996 年 1 月 31 日受付、1996 年 2 月 19 日再受付

† パイオニア株式会社 総合研究所 (鶴ヶ島市富士見 6-1-1, TEL 0492-87-3900)

†† パイオニア株式会社 システム開発研究所 (東京都大田区大森西 4-15-5, TEL 03-3763-2111)

† Corporate Research and Development Lab., Pioneer Electronic Corporation (6-1-1, Fujimi, Turugashima-shi, Saitama 350-02, Japan)

†† Industrial AV Systems R & D Lab., Pioneer Electronic Corporation (4-15-5, Oomori-Nishi, Oota-ku, Tokyo 143, Japan)

図1 サブバンド分割
Subband decomposition.

規格化し、 -6.0 から 6.0 まで 0.1 ステップでヒストグラム $H(x_i)$ を求めた。標準偏差 σ の一般化ガウス分布 $p_\beta(x)$ は β をパラメータとして次のように与えられる。

$$p_\beta(x) = \frac{\beta\gamma}{2\Gamma(1/\beta)} \exp(-|\gamma x|^\beta) \quad (1)$$

ここで

$$\gamma = \sigma^{-1} \left[\frac{\Gamma(3/\beta)}{\Gamma(1/\beta)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$\Gamma(x)$ はガンマ関数である。 $\beta = 1.0$ のときはラプラス分布、 $\beta = 2.0$ のときはガウス分布になる。 $p_\beta(x)$ を $x_i \pm 0.05$ の区間で積分したものを

$$P_\beta(x_i) = \int_{x_i-0.05}^{x_i+0.05} p_\beta(x) dx \quad (3)$$

for $x_i = -6.0, -5.9, \dots, 5.9, 6.0$

と表す。ヒストグラム $H(x_i)$ を最も良く近似する一般化ガウス分布の β を求めるために、 χ^2 適合度検定における

$$\chi^2 = \sum_{\substack{x_i=-6.0 \\ 0.1\text{step}}}^{6.0} \frac{[H(x_i) - nP_\beta(x_i)]^2}{nP_\beta(x_i)} \quad (4)$$

を最小とする β を求めた。ここで、 n は各サブバンドのサンプル数である。ただし、分布の両側では $nP_\beta(x_i) \geq 5$ の条件を満足するように複数の区間を結合した。

図2に β の頻度分布を示す。 β は 0.2 から 1.9 の広い範囲にわたって分布しており、画像やサブバンドによって大きく変動する。図3に一般化ガウス分布による近似の程度を示す。点はサブバンド信号の振幅分布、実線はそれを近似する一般化ガウス分布である。

図2 β の頻度分布
Distribution of β .

(a) 最良近似 ($\beta = 1.84$)

(b) 最悪近似 ($\beta = 0.34$)

図3 サブバンド信号振幅分布の一般化ガウス分布による近似

Amplitude distributions of subband signals and their approximations by Generalized Gaussian Distribution.

(a) Best approximation, (b) Worst approximation.

図3(a)は最も近似が良い場合、図3(b)は最も悪い場合である。この図から振幅分布は一般化ガウス分布でよく近似できることがわかる。

図4 適応量子化器
Adaptive quantizer.

3. 適応量子化器

3.1 適応量子化器の構成

図4に適応量子化器の構成を示す。量子化器1からMは平均0、標準偏差1で β の異なる一般化ガウス分布に対して設計されたMax⁸⁾の非一様量子化器である。サブバンド毎に標準偏差 σ が計算されて、量子化器選択制御、ビット割り当て制御、量子化ステップ幅制御に用いられる。後述する量子化器選択制御により複数の量子化器のひとつが選択され量子化が行われる。選択された量子化器のインデックス、ビット割り当て情報、標準偏差（スケールファクタ）はサイド情報として送られる。

3.2 量子化器設計に用いる β の選定

信号の振幅分布の変動に適応するためには多くの量子化器を用いばよいが、一方、ハード規模の点からは量子化器の数はなるべく少ない方が望ましい。少数の量子化器で振幅分布の変動に適応するために、量子化器の設計に用いる β の選定について考察する。

信号振幅分布の β を β_S 、量子化器設計に用いる分布の β を β_Q とすると、 $\beta_Q = \beta_S$ のときに最大のSNRが得られ、 β_Q が β_S と異なるとSNRが低下する。そこで、 β のミスマッチによるSNRの低下量を求めた。

β_Q の分布 $p_{\beta_Q}(x)$ に対して設計した量子化境界を $x_i^{(\beta_Q)}$ 、量子化代表値を $y_i^{(\beta_Q)}$ とし、量子化される信号の振幅分布を $p_{\beta_S}(x)$ とすると、量子化ノイズのパワー D とSNRは

$$D = \sum_{i=1}^N \int_{x_i^{(\beta_Q)}}^{x_{i+1}^{(\beta_Q)}} \left(x - y_i^{(\beta_Q)} \right)^2 p_{\beta_S}(x) dx \quad (5)$$

$$\text{SNR} = -10 \log D \quad (6)$$

(a) $N = 7$

(b) $N = 63$

図5 β のミスマッチによるSNRの低下
Decrease in SNR by mismatch of β .

(a) $N = 7$, (b) $N = 63$.

で与えられる。ここで N は量子化ステップ数である。図5は β_Q が0.5, 0.8, 1.0, 1.5の4種類の量子化器で β_S の分布を量子化したときのSNRの低下量を示す。図5(a)が $N = 7$, (b)が $N = 63$ の場合である。 β_S が β_Q より大きい場合はSNRの低下は少ないが、 β_S が β_Q より小さくなるとSNRは急激に低下する。したがって、 β_Q は小さめに選定するのがよい。図2に示されるように、サブバンド信号の β はほとんどが0.4から1.0の範囲にあるので、この範囲でのSNRの低下を1.0 dB以内に抑えるためには、 $\beta_Q = 0.5$ と $\beta_Q = 0.8$ の2つの量子化器を適応的に切り換えればよい。

3.3 量子化器切換制御

標準偏差で正規化した信号振幅分布は、平均0、標準偏差1の一般化ガウス分布で近似できる。したがって、振幅が0近傍に存在する割合から β が推定できると考えられる。図6は横軸に各サブバンド信号の β ,

図6 β と $H(0)$ の関係
 $H(0)$ as a function of β .

縦軸に振幅が $0 \pm 0.05\sigma$ に存在する割合 $H(0)$ (%) をプロットしたものである。図中の実線は一般化ガウス分布に対する 0 ± 0.05 内の存在割合 $P_\beta(0)$ を β の関数として示したものである。各点は曲線に適合していることから、0 近傍の割合 $H(0)$ から β が推定可能であり、 $H(0)$ を量子化器切換制御に利用できる。

量子化器の切換の閾値 T は、図5において $\beta_Q = 0.5$ と $\beta_Q = 0.8$ の曲線が交差する点 $\beta = 0.67$ に相当する $T = P_{\beta=0.67}(0) = 11\%$ に設定する。 $H(0)$ が 11% 以上の場合は $\beta_Q = 0.5$ の量子化器を、11% 未満の場合は $\beta_Q = 0.8$ の量子化器を選択する。

4. 量子化器の評価

ウェーブレット変換によるサブバンド符号化に、分布形状に適應する量子化器を用いて、その効果を評価した。各サブバンド信号は標準偏差に応じて適應的に決められるビット数で量子化される。量子化器出力は 0 ランとレベルの組み合わせにより 2 次元ハフマン符号化される。量子化器は以下の 3 種類である。

量子化器 A (QA) : ラプラス分布 ($\beta_Q = 1.0$) 固定
量子化器 B (QB) : $\beta_Q = 0.4$, $\beta_Q = 0.7$ 適應切換 ($T = 14\%$)

量子化器 C (QC) : $\beta_Q = 0.5$, $\beta_Q = 0.8$ 適應切換 ($T = 11\%$)

符号化結果は SNR

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{255}{\sigma_n} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

とビットレート (Mb/s) で評価する。ここで σ_n は量子化ノイズの標準偏差である。

図7 は各種画像 1 フレーム分を符号化した結果を示

図7 量子化器の性能比較 (◇: 量子化器 A, +: 量子化器 B, □: 量子化器 C)
Performance of quantizers (◇: QA, +: QB, □: QC).

す。横軸はビットレート、縦軸は SNR である。したがって、左上にあるほど望ましい。◇ は量子化器 A, + は量子化器 B, □ は量子化器 C を表す。P1 から P9 は画像の番号である。P2 と P5 を除き、適應量子化器を用いることにより、ラプラス分布の固定量子化器を用いた場合に比べて SNR が向上しビットレートが減少しており、有効性が示される。量子化器 B と C の比較では若干量子化器 C の方が良い。

5. む す び

一般化ガウス分布の β をパラメータとして、異なる分布に対して設計した複数の量子化器を適應的に切り換える適應量子化について検討した。

まず画像のサブバンド信号の振幅分布を測定して、絵柄やサブバンドによって分布形状が大きく変動することから、分布形状に適應する量子化の必要性を示した。また、分布は一般化ガウス分布によって精度よく近似できることを明らかにした。

ついで、量子化器設計に用いた分布 (β_Q) と信号分布 (β_S) のミスマッチによる SNR の低下を計算し、 $\beta_S < \beta_Q$ の範囲で SNR が急激に低下することを示した。ほとんどのサブバンド信号の分布は $0.4 < \beta < 1.0$ の範囲に入るので、この範囲で β のミスマッチによる SNR 低下を 1.0dB 以内に抑えるためには、量子化器は 2 つあれば充分である。また、量子化器切換制御は信号振幅分布の 0 近傍の割合によって行うことができる。

最後にウェーブレット変換によるサブバンド符号化に提案する適應量子化器を用いた結果、SNR の向上とビットレートの低減がはかられ、有効性が示された。

〔参 考 文 献〕

- 1) J.D. Johnston: "A Filter Family Designed for Use in Quadrature Mirror Filter Banks", IEEE Proc. Int. Conf. ASSP, pp.291-294 (Apr. 1980)
- 2) J.W. Woods, S.D. O'Neil: "Subband Coding of Images", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process., **34**, 5, pp.1278-1288 (Oct. 1986)
- 3) S.G. Mallat: "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., **11**, 7, pp.674-693 (July 1989)
- 4) M. Antonini, M. Barland, P. Mathieu, I. Daubechies: "Image Coding Using Wavelet Transform", IEEE Trans. Image Process., **1**, 2, pp.205-220 (Apr. 1992)
- 5) D.L. Gall: "Sub-band Coding of Digital Images Using Symmetric Short Kernel Filters and Arithmetic Coding Techniques", IEEE Proc. Int. Conf. ASSP, pp.761-764 (Apr. 1988)
- 6) 樋口, 源川, 小松, 斎藤: "超高精細画像のサブバンド符号化に関する一検討 (その 1) - 高域サブバンド信号の量子化の改善 -", 平 4 信学春全大, D-315
- 7) I. Daubechies: "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelet", Commun. Pure Applied Math., **41**, pp.909-996 (Nov. 1988)
- 8) J. Max: "Quantizing for Minimum Distortion", IRE Trans. Inf. Theory, **6**, pp.7-12 (Mar. 1960)

たかはし つとむ
高橋 努 1988 年, 東京理科大学工学部電気工学科卒業。同年, パイオニア (株) に入社。同社所沢技術研究所にて CD-ROM のデコード IC の開発, α ビジョンエンコーダの開発に従事。現在, 同社総合研究所において画像符号化の研究に従事。

よしだ まさひろ
吉田 賢 1973 年, 東京大学工学部電気工学科卒業。翌年, パイオニア (株) に入社。主にデジタルオーディオ, デジタルビデオ, 画像符号化の研究開発に従事。正会員。

むらこし しゅうご
村越 象 1993 年, 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年, パイオニア (株) に入社。同社総合研究所において画像符号化の研究に従事, 現在に至る。

こまむら みつや
駒村 光弥 1967 年, 東北大学工学部電気工学科卒業。1973 年, 同大学院博士課程修了。同年, パイオニア (株) に入社。心理音響, オーディオ符号化, 画像符号化の研究に従事。工学博士。