

J-061

再探索予測信号を用いた量子化雑音低減方法の検討

A Study on the Quantization Noise Reduction Method Using Re-searched Prediction Signal

清水 淳[†] 谷田 隆一[†] 上倉 一人[†] 八島 由幸[†] 米原 紀子[‡]
 Atsushi Shimizu Ryuichi Tanida Kazuto Kamikura Yoshiyuki Yashima Noriko Yonehara

1. まえがき

ITU-T H.264[1]をはじめとする映像符号化方式の多くは、量子化を行う非可逆符号化方式である。このため、符号化による画質劣化(符号化雑音)が発生し、その符号化雑音は、低レートでより顕著となる。また、ブロック単位での符号化処理により、ブロック状の歪(ブロック歪)が発生する。

従来、これらの映像符号化方式の復号画像について、後処理による画質向上方法が提案されている。例えば、POCS理論に基づく反復処理方法[2]やブロック歪除去フィルタ[1]などである。これらの従来方法では、ブロック境界の連続性を拘束条件として、ブロック境界のエッジ強度や、低域通過フィルタ後のDCT係数の変動方向などを利用して復号信号を補正している。しかし、この拘束条件は、必ずしも正確とはいえないため、量子化誤差を低減できない場合がある。

本論文では、復号画像に対して再度予測信号を求め、その結果から、量子化誤差を低減する方法を提案する。

2. 再探索予測信号による量子化誤差低減

図1に提案方法のブロック図を示す。提案方法は、復号画像を対象として、予測モードの再探索を行い、再探索結果と符号化時の予測信号を用いて、補正信号を生成する。その補正信号を復号信号に加えることで量子化誤差を低減する。以下に詳細を示す。

2.1 予測モードの探索条件

多くの映像符号化方式で採用されている予測符号化方式では、複数の予測信号の中から各予測モードのオーバーヘッド符号量を考慮し、符号化コストが最小となる予測信号を選択する。ここでは、L2ノルムによるコスト計算を採用する。

$$\text{cost}_i = |\mathbf{S} - \mathbf{P}_i|^2 + g_i \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{S} は原信号、 \mathbf{P}_i は予測信号、 g_i は予測モード i のオーバーヘッドコストを表す。提案方法では、復号側の再探索も符号化時と同一の条件で行う。

2.2 再探索結果と量子化誤差

今、ブロックサイズが $N \times N$ の画像信号を $N \times N$ 次元のベクトルと考える。原信号ベクトルを \mathbf{S} 、予測信号ベクトルを \mathbf{P}_a 、符号化済み予測残差信号ベクトルを \mathbf{D}'_a 、量子化誤差ベクトルを \mathbf{E} とすると、復号信号ベクトル \mathbf{S}' は次式で表される。

$$\mathbf{S}' = \mathbf{D}'_a + \mathbf{P}_a \quad (2)$$

$$= \mathbf{S} + \mathbf{E} \quad (3)$$

[†]日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所, NTT Cyber Space laboratories, NTT Corporation

[‡]NTTソフトウェア株式会社, NTT Software Corporation

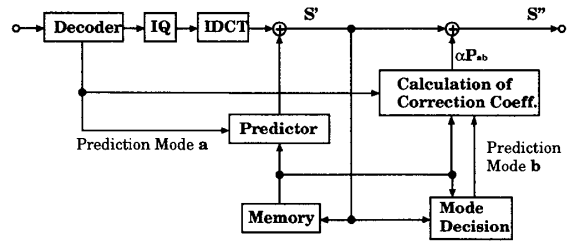


図1: 提案方法のブロック図

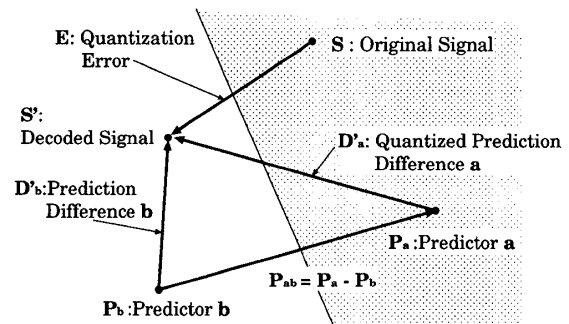


図2: 予測信号と量子化誤差の関係

このように、復号信号ベクトル \mathbf{S}' は、原信号ベクトル \mathbf{S} と量子化誤差ベクトル \mathbf{E} の和で表現できる。図2に各信号の関係を示す。符号化時の予測モードの探索結果と、復号画像による再探索結果が異なる場合、その原因は、量子化誤差によるものと考えられる。つまり、予測モード a が選択される領域に含まれていた原信号 \mathbf{S} が、量子化誤差ベクトル \mathbf{E} により予測モード b の領域に移動したといえる。従って、両予測モードの予測信号の差分ベクトル \mathbf{P}_{ab} と量子化誤差ベクトル \mathbf{E} の内積 $\mathbf{P}_{ab} \cdot \mathbf{E}$ は、非零となる。

2.3 量子化誤差低減方法

量子化誤差ベクトル \mathbf{E} と予測信号差分ベクトル \mathbf{P}_{ab} の内積が非零となることを利用して、量子化誤差を低減する。符号化時の予測モード a および再探索時の予測モード b のオーバーヘッドコストをそれぞれ g_a と g_b 、予測信号差分ベクトルを \mathbf{P}_{ab} とする。今、復号信号ベクトル \mathbf{S}' に $\alpha_0 \mathbf{P}_{ab}$ を加えることで両予測モードの境界線上に移動すると仮定する(図3)。このとき、境界線上でのコストは、両予測モードで等しくなるため、

$$|\mathbf{D}'_a''|^2 + g_a - \{|\mathbf{D}'_b''|^2 + g_b\} = 0 \quad (4)$$

となる。ここで、 $\mathbf{D}'_b'' = \mathbf{S}'' - \mathbf{P}_b$ 、 $\mathbf{D}'_a'' = \mathbf{S}'' - \mathbf{P}_a$ であるから、

$$-2\mathbf{D}'_a \cdot \mathbf{P}_{ab} - (2\alpha_0 + 1)|\mathbf{P}_{ab}|^2 - g_b + g_a = 0 \quad (5)$$

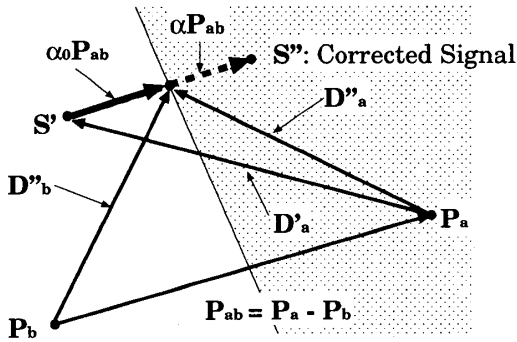


図 3: 量子化誤差の低減

となる。従って、 α_0 は、次式から求める事ができる。

$$\alpha_0 = \frac{g_b - g_a - |P_{ab}|^2 - 2 D'_a \cdot P_{ab}}{2|P_{ab}|^2} \quad (6)$$

復号信号 S' に $\alpha_0 P_{ab}$ を加えることで、境界線上まで復号信号を移動させる事ができる。

一般に、原信号は予測モード間の境界線上よりも予測信号に近い場所に位置している事が多いため、補正係数は、 $\alpha = \beta \cdot \alpha_0$ とする。ここで、 $\beta (\geq 1)$ は、補正量を調整するために予め定めた定数であり、 $\beta = 2$ とした場合、復号信号ベクトル S' と予測モード a および b の境界までの距離の 2 倍の補正量となる。

3. 実験と考察

今回の実験では、ITU-T H.264[1] のフレーム内符号化方式を対象とした。H.264 のフレーム内符号化方式は、予測信号の生成方法を複数の予測モードから選択可能である。

実験に用いた方式は、反復処理方式、ブロック除去フィルタ、提案方法の 3 種類である。反復処理方式は、文献 [2] をベースに、H.264 で使用されている DCT/IDCT に置き換えている。ブロック除去フィルタは、H.264 に採用されたものを利用している。また、提案方法の補正係数は、実験から $1.5\alpha_0$ とした。各方式の性能比較は、再探索により予測モードが変化した領域（以下、着目領域）のみを対象としている。今回の実験では、720x480 画素サイズのシーケンスを用いた。

図 4 に、ビットレートと着目領域数の関係を示す。縦軸の着目領域数は、予測モードが変化したブロックの比率を表す。着目領域は、ビットレートが低下するに従い、増加している。これは、量子化誤差が増加することで、量子化誤差ベクトルが長くなり、予測モードの変更確率が高くなるためである。このことから、提案方法は、着目領域数が増加する低ビットレートで、特に効果があると思われる。

次に、図 5 に、着目領域における各方式の性能比較の結果を示す。使用した映像は、先の 7 シーケンスの 1 つである。縦軸は、復号画像を基準に補正画像の PSNR の増減を表す。各方式ともビットレートが低い領域では、量子化誤差の低減効果がある事が分かる。次に、各方式の結果を比較する。反復処理方式は、ビットレートが高

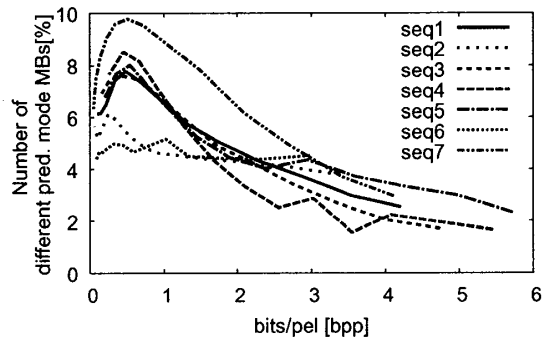


図 4: 着目領域の発生率

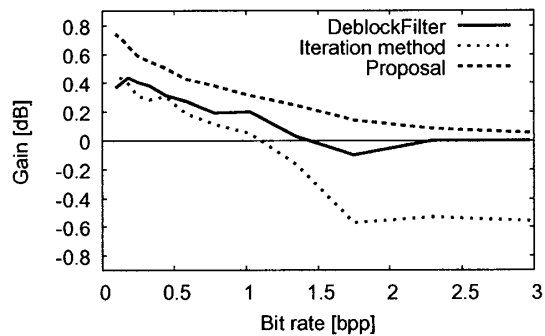


図 5: 量子化誤差低減効果

くなるに従い、復号画像よりも PSNR が低下する。これは、低域通過フィルタによる DCT 係数変動に基づいて DCT 係数を修正するためである。高ビットレートでは、原信号の高周波成分の再現性が高くなるが、反復処理方式では、これを雑音として DCT 係数を必要以上に修正するためである。ブロック除去フィルタは、高ビットレートで僅かに PSNR が低下する場所があるが、低ビットレートでは、量子化雑音低減効果が確認できる。提案方法は、低ビットレートでの効果が他方式に比べて高いだけでなく、高ビットレートにおいても、僅かではあるが量子化誤差の低減効果が確認できる。つまり、提案方法は、ビットレートに関係なく量子化誤差の低減効果があることを示している。

4. むすび

本論文では、予測モードの再探索結果を利用した量子化誤差低減方法を提案した。提案方法は、着目領域における量子化誤差の低減効果が、他の方式と比較して高いことを示した。

ただし、着目領域は、画面全体の数%程度に過ぎないため、今後は、他の方式との併用について検討を行う。

参考文献

- [1] ITU-T Rec. H.264, "Advanced video coding for generic audiovisual services," 2003.
- [2] 成田清人, 朱嘩, 木本伊彦, 谷本正幸, "DCT 符号化画像における量子化雑音の反復軽減方法," 信学論 A, Vol.79-A, No.1, pp.69-76, Jan. 1996.