Look-up Tableと局所ディザパターンを用いた 適応的ループフィルタ

Novel Adaptive Loop Filter Model Using a Look-up Table with Local Dithered Binary Pattern

学生会員 村上 智一^{†,††},

高橋 桂太^{†††}, 正会員 苗村 健[†]

Tomokazu Murakami^{†,††}, Keita Takahashi^{†††} and Takeshi Naemura[†]

Abstract In this paper, a novel adaptive loop filter model for video coding that predicts pixel values from local dithered binary patterns and a look-up table (LUT) is proposed. It can refine a decoded image adaptively to its local texture by using a LUT that is used in inverse halftoning techniques. The LUT is generated so that the sum of the improvements in the decoded image is maximized. Experimental results, in which the total bitrates including the LUT and PSNR were compared with the conventional method demonstrated the efficiency of the proposed method.

キーワード：適応的ループフィルタ、画像符号化、画質改善、H.264/AVC、ディザパターン

1. ま え が き

動画画像符号化モデルにおけるループフィルタは、デコーダおよびエンコーダのローカルデコーダ内部に挿入されたフィルタであり、参照画像の画質改善を行うことによって、画面間予測の効率を向上させる手法として重要な技術である。H.264/AVCでは、ブロック境界の疑似エッジを平滑化するデブロッキングフィルタが採用されている。現在ITU-T VCEGおよびISO/IEC MPEGでは、共同検討チームJCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding)においてH.264/AVCの2倍の圧縮率を目標とした次世代画像符号化方式HEVC(High Efficiency Video Coding)の標準化を行っており、HEVCにおいてもウィーナフィルタをベースとしたループフィルタの採用が検討されている。

図1 提案方式における局所ディザパターン
Local dithered binary pattern of proposed model.

こうした中で本稿では、画像の特徴に対して適応的に画質改善を行うことができる新しいループフィルタとして、Look-up Table(LUT)と局所ディザパターンを用いた方式を提案する。本方式は逆ハーフトーン技術にて用いられるディザパターンによるテクスチャ分類の手法¹⁾を応用し、局所的なテクスチャに適応した画像復元を実現する。このフィルタをH.264/AVCにてIntra符号化した画像に適用し、LUTの符号量を含め、ビットレートとPSNRを既存方式と比較する基礎実験を行うことによって、画質改善効果があることを示す。

2. LUTと局所ディザパターンを用いた適応的ループフィルタモデル

ループフィルタの目的は、符号化誤差を修正することに

2010年12月, WPCIP 2010にて発表

2011年5月30日受付, 2011年7月25日再受付, 2011年8月8日採録

[†] 東京大学 大学院 情報理工学系研究科

(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6781)

^{††} 日立製作所 中央研究所

(〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1-280, TEL 042-323-1111)

^{†††} 電気通信大学 大学院 情報理工学系研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, TEL 042-443-5215)

[†] Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan)

^{††} Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

(1-280 Higashi-koigakubo, Kokubunji, Tokyo, 185-8601 Japan)

^{†††} Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

(1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan)

よって参照画像の画質改善を行うことであるが、画素毎の誤差の傾向が分かればこれを利用した補正が可能となる。ここで復号画像をディザ処理によって2値化した時の各画素の周辺パターンが、その画素の符号化誤差と情報的な相関があることに着目する。図1に復号画像の画素とディザパターンの関係を示す。原画像を O 、復号画像を D 、 D をディザ処理によって2値化した画像を B とし、位置 (x, y) にある D 内の画素を $D(x, y)$ 、 O 内の画素を $O(x, y)$ とする。 $D(x, y)$ に対して図1に示す B 内の 4×4 サイズ近傍のディザパターンを p と定義し、 p を取得する関数を BP とする。ここで予備実験として、VCEGテスト画像Big Ships, Mobile& CalendarをH.264/AVCによってIntra符号化し、符号化誤差とディザパターンの相関を計測した。表1の(A)が符号化誤差のエントロピーであり、(B)が上記ディザパターンによって画素を分類した時の条件付きエントロピーである。この時、相互情報量は(A)-(B)のようになり、ディザパターンによって符号化誤差の曖昧さが減っていることがわかる。したがって、ディザパターンと補正量の関係を少ない符号量で伝送できれば、受信側でレート歪み特性を改善できる可能性がある。

提案するループフィルタを用いた符号化モデルを図2に示す。また具体的なループフィルタの処理方法は以下になる。まず符号化側で補正のためのLUTを生成する。ローカルデコーダによって得た復号画像 D からディザ画像 B を取得し、 D の各画素に対してディザパターン p を取得する。 p を共有する画素に対する画面内で最適化された補正值 $T(p)$ は、補正量の変数 r を用いて(1)式にて求められる。

$$T(p) = \arg \min_r J(r, p)$$

$$J(r, p) = \sum_{(x, y) \in BP(D(x, y))=p} |O(x, y) - D(x, y) - r| \quad (1)$$

すべてのパターンについて $T(p)$ をエントリとするLUTを生成し、符号化ストリームとともに伝送する。LUTには、画像に出現しない、あるいは補正量が求まらないパターンも発生するがこれらは $T(p) = 0$ となる。したがって、LUTは連続する0をランレングス符号化し、 $T(p)$ の値をハフマン符号化することによって圧縮する。

復号側では、復号画像 D とLUTから、画質を改善した復元画像 R を得る。まず符号化ストリームから D を復号し、 D を2値化してディザ画像 B を取得する。ここで D の各画素に対して同じ位置にある B 内のディザパターン p をキーとしてLUTを参照し、補正值 $T(p)$ を得る。提案するフィルタは各画素値を $T(p)$ によって補正することによって画質を改善する。復元画像の位置 (x, y) の画素 $R(x, y)$ は、以下の(2)式によって求めることができる。

$$R(x, y) = D(x, y) + T(p) \quad (2)$$

本手法ではLUTのサイズと画質改善幅がトレードオフの

表1 符号化誤差のエントロピーとディザパターンで分類した時の条件付きエントロピー [bits/pix]

Entropy and conditional entropy under categorization by local dithered binary pattern.

QP	Big Ships (720p)			Mobile& Calendar(CIF)		
	(A)	(B)	(A)-(B)	(A)	(B)	(A)-(B)
7	0.786	0.723	0.063	0.786	0.565	0.220
12	1.618	1.505	0.114	1.584	1.166	0.418
17	2.390	2.195	0.194	2.332	1.650	0.681
22	3.050	2.746	0.304	3.080	2.066	1.014

(A) 符号化誤差のエントロピー (H.264/AVC Intra)

(B) ディザパターンで分類した時の条件付きエントロピー

図2 提案するループフィルタを用いた符号化モデル
Video coding model including proposed loop filter.

関係にある。近傍パターンのサイズや補正量 r の範囲が大きければテクスチャがより詳細に分類され画質の改善幅が大きくなるが、伝送するLUTの符号量が増えてしまう。本稿では、ループフィルタとして適用可能なパラメータとして、パターンを取得する近傍のサイズを 4×4 画素とし、補正量を $-8 \sim 7$ の範囲とした。

本手法は、ウィーナフィルタで行われるようなフィルタ係数を求めるための逆行列演算を必要としない。また局所的なパターンに応じて補正量が決定されるため、画像のどの領域に対してフィルタリングを行うかを指定するマップ情報も必要ないという特徴がある。

3. 実験

提案したループフィルタをH.264/AVC²⁾によってIntra符号化した画像に適用し、画質改善の性能を測定した。実験条件は以下の通りである。

- H.264/AVCによってIntra符号化した画像と、これに提案したループフィルタを適用した画像のPSNRと符号量を比較した。提案手法の符号量には圧縮したLUTの符号量も含まれる。

- 2値化手法としてFloyd Steinbergモデルによる誤差拡散法³⁾を用いた。

- LUTは図1に示す 4×4 のテンプレートによって作成した。エントリ数は16ビットで表現される。補正量は $-8 \sim 7$ の範囲とした。

●LUTは連続する0をランレングス符号化し、補正量はハフマン符号化した。符号量にはハフマンテーブルを含む。

●テスト画像として VCEG テスト画像の Big Ships (720p), Mobile& Calendar(CIF) を用いた。

図3にレート歪み曲線を示す。上段がBig Ships(720p), 下段がMobile& Calendar (CIF) の場合である。提案手法により, LUTの符号量を含めても同じビットレートに対して画質が改善されることが示されている。現状, 同一ビットレートに対する画質改善幅は0.05~0.1dB程度であり, LUTの符号量は画像符号量の0.05%~0.1%程度である。

上記の条件ではLUTの符号量を考慮しなければ, どのVCEGテストシーケンスにおいてもビットレートに関わらず画質の改善効果が見られる。しかし, ビットレートが下がるに連れて, 相対的なLUTのオーバーヘッドが大きくなるため, LUTの符号量を考慮すると圧縮率向上効果は比較的高いビットレートでの符号化条件に限られる。LUTの各エントリについては, 画面全体の画質改善に大きく寄与するものとそうでないものがあるため, 今後LUTを複数枚の画像で最適化し, テーブルサイズを効率的に圧縮することによって, より広いビットレートに対しても適用可能になると考えられる。

4. む す び

LUTと局所ディザパターンを用いた画像符号化向け適応的ループフィルタを提案した。本手法は, 復号画像の各画素を局所的なディザパターンとLUTを用いて補正する。基礎検討としてIntra符号化した画像に適用した結果, LUTの符号量を含めても圧縮率向上が可能であることが示された。

本手法の性能は, LUTの生成方法に依存する。近傍パターンのサイズ, 形, 補正量の範囲や2値化手法等を最適化することによって, さらなる圧縮率向上が可能である。また他手法との処理量比較およびInter符号化での検証は今後の課題である。

〔文 献〕

- 1) M. Mese and P.P. Vaidyanathan : "Look-Up Table (LUT) Method for Inverse Halftoning", IEEE Trans. Image Process., **10**, pp.1566-1578 (Oct. 2001)
- 2) ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG4- AVC) : "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services 5th Edition", (Mar. 2010)
- 3) R. Floyd and L. Steinberg : "An adaptive algorithm for spatial greyscale", Proc. SID'76, pp.75-77 (1976)
- 4) T. Murakami, K. Takahashi and T. Naemura : "New Adaptive Loop Filter Model Using a Look-up Table with Local Dithered Binary Pattern", Workshop on Picture Coding and Image Processing (WPCIP), pp.9-10 (2010)

図3 提案手法と既存方式のレート歪み曲線
Rate-distortion curves of proposed and conventional methods.

むらかみ ともかず
村上 智一 1998年, 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。日立製作所中央研究所組込みシステム研究部にて, 画像符号化の研究, 国際標準化活動に従事。2007年~2008年, 米国スタンフォード大学客員研究員。現在, 東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程在学, 学生会員。

たかはし けいた
高橋 桂太 2001年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業。2006年, 同大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了, 同大学院同研究科特任助手, 東京大学IRT研究機構特任助教などを経て, 2011年より電気通信大学大学院情報理工学研究科助教, 現在に至る。実写に基づく自由視点画像合成, ビデオセグメンテーション, 物体認識などの研究に従事, 博士(情報理工学)。

なまむら たけし
苗村 健 1997年, 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。米国スタンフォード大学客員助教授(日本学術振興会海外特別研究員)などを経て, 2002年, 東京大学大学院情報学環助教授。2007年, 東京大学大学院情報理工学系研究科准教授(学際情報学府兼任)。メディア+コンテンツ, アート&エンタテインメント, 空間共有通信, 複合現実感などの研究に従事, 博士(工学), 正会員。