リップル修正フィルタによる画像歪みの抑圧

～DCT量子化歪みへの適用～

Suppressing Distortions in DCT-Quantized Pictures by an RTF

名誉会員 吹 抜 敬 彦[†]Takahiko Fukinuki[†]

あらまし DCT量子化による歪みの抑圧のため、「小信号は歪みと見なし、大信号は信号と見なす」という画像の特徴を活かした手法を用いて、RTF（リップル修正フィルタ）を提案し、これによる歪み（ブロック歪みなど）抑圧効果を実証した。低画質画像の高画質化などにも効果的である。

キーワード：画像歪み抑圧，リップル修正フィルタ，DCT，ブロック歪み

1. ま え が き

画像中の歪みや雑音が抑圧できれば効果が大きい。特にカメラ付き携帯電話では、伝送帯域に限界があり、量子化歪みも大きい。そこで、例えばJPEGやMPEGにおけるDCT量子化固有の2次元歪みが抑圧できれば、実効的に圧縮率の向上にもなり、実用的意義は極めて大きい。

一般に、画質改善の研究の歴史は古く、多くの論文が出ているが、理論先行の傾向が強く、実用化されたものは少ない。その中で、動画像を対象に、フレームメモリと1個のROM（読み出し専用メモリ）を用いたフレーム間適応型フィルタ¹⁾²⁾が、ノイズリディューサ（NR）と呼ばれて、ニュース取材などに広く使われている。

ただ、フレーム間とフレーム（フィールド）内では、雑音や歪みの性質も異なる。例えば、DCTのブロック歪みは、2次元的に同一位置に張付くため、上記のNRの処理では原理的に対応できない。

2次元では、輪郭を保ちながら平坦部は歪みを抑圧する適応型フィルタが有力な検討対象になる。この例に ε フィルタがあり、顔画像のシワ取りに試みられた³⁾。ただ、後述の問題もある。

筆者は、実用上の観点から、上記NRの思想を発展させ、線形フィルタと1個のROMを有するフレーム（フィールド）内適応フィルタを、RTF（リップル修正フィルタ：Ripple-Trimmed-Filter）として提案した⁴⁾。そして、上記同様、ま

ず、顔のシワ取りに適用してみた⁵⁾。さらに、これをDCT復号画像に適用し、量子化に起因する歪みの抑圧を試み、効果を実証した⁷⁾。後処理で画質改善できるので、既存のコンテンツやLSI回路などの財産が使用可能であり、また、簡単な回路であるので、利用価値は大きいと思う。

なお、DCTの量子化歪みにのみ限定すれば、本稿とまったく異なる発想から、DCTの再変換という手法⁶⁾も提案された。これは、復号後に、変換ブロックをいろいろずらして、再度DCT変換を行い、変換係数を平滑化するものである。このため、規模と速度に回路的制約が大きい。

この他、確率（Maximum a Posteriori Probability）による方法、インタラクティブな方法、場所毎にパラメータの異なる（space-variant）フィルタを用いる方法、等も提案されている。

一方、符号化方式そのものを変更する方法も提案されているが、現在、DCTを使ったMPEGやJPEGが普及した段階では、特殊用途を除けば実用性に課題を残す。

2. RTF

小さな変化は雑音や歪みと見なして低域濾波器（以下、LPF）で低減し、大変化は信号として残す¹⁾。このため、平坦度に応じて、現信号と空間LPF出力の加重平均を求める²⁾⁴⁾⁵⁾。水平方向を k 、垂直方向を l 、画素の現信号を x_{kl} 、2次元LPF出力を x_{kl}' として、

$$\begin{aligned} y_{kl} &= (1-K) \cdot x_{kl} + K \cdot x_{kl}' \\ &= x_{kl} - K \cdot (x_{kl} - x_{kl}') \\ &= x_{kl} - K \cdot \varepsilon, \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon = x_{kl} - x_{kl}'$

となる。 K は平坦度係数（変化領域で $K \rightarrow 0.0$ 、平坦領域で K

2003年1月17日受付，2003年6月20日再受付，2003年7月15日採録

[†] 東京工科大学 工学部 情報通信工学科

(〒192-0982 八王子市片倉町，TEL 0426-37-2494)

[†] Tokyo University of Technology

(Katakura, Hachioji, Tokyo, 192-0982, Japan)

(a) DCT量子化後の素画像

(b) RTF処理画像

図2 画像例 (Q=8. テストチャートの一部)

Example of pictures. (Q factor = 8. a part of a test chart)

(a) Raw picture after DCT-de-quantizing, (b) processed picture of raw picture

図1 Ripple Trimmed Filter 回路^{1) 2)}
(H: 1H (水平周期) 遅延)
Ripple Trimmed Filter.

→1.0) であり, ε の値で判定する. したがって, 積 $K \cdot \varepsilon$ は ε の関数であり, $K \cdot \varepsilon = f(\varepsilon)$ とおける. この結果, 式 (1) は,

$$y_{kl} = x_{kl} - f(\varepsilon) \quad (2)$$

となる. 非線形関数 $f(\varepsilon)$ は ROM に記憶しておけばよい. 構成を図1に示す.

因みに, 平坦に近い領域では $K \rightarrow 1.0$ なので, 式 (1) から $y_{kl} = x_{kl}$ となり, LPF によりボカされて歪みは低減される. 一方, 大変化領域 (輪郭など) では, $K \rightarrow 0.0$ であるから, $y_{kl} = x_{kl}$ となり, そのまま出力される.

空間LPFは, 直線位相2次元フィルタ

$$x'_{kl} = \sum_i \sum_j a_{ij} x_{k+i, l+j} \quad (3)$$

が望ましい. ここに, 係数 a_{ij} は, 上下対称, 左右対称, $\sum \sum a_{ij} = 1.0$ である. ここでは, 水平垂直変数分離形とし, それぞれ, ± 5 画素 (計11画素) のトランスバーサル型とした.

非線形回路は先の検討⁵⁾ に従い, 条件付2次関数とし,

$$\begin{aligned} f(\varepsilon) &= (1.0 - |\varepsilon|/\varepsilon_0) \cdot \varepsilon, & |\varepsilon| \leq \varepsilon_0, \\ &= 0, & |\varepsilon| > \varepsilon_0 \end{aligned} \quad (4)$$

とした. 低画質画像や人工画像 (輪郭がクッキリしている) を考えて, ε_0 を大きめ ($=30/256$) に設定した.

なお, 本RTFは, 同様の目的を有する ε フィルタと較べて, 三つの利点がある⁵⁾. 第一は, ROMの個数である. ε フィルタでは数10~数100個が必要であるが, 本稿では1個のみである. 因みに, 両者における各1個のROMの機能やビット数はほぼ同様である.

第二は, LPFである. 本稿では通常のLPFでよいが, ε フィルタでは各係数にROMが付くため, 新規に必要であり, 既存LSIの利用に難がある.

第三は, 画質改善機能である. 大きなスロープの領域に歪みがある場合, ε フィルタのままでは除去できない. このため, 信号を高域帯域と低域帯域に分け, 高域にのみこのフィルタを適用している^{5) 8)}. 本稿の方法ではその必要がない.

3. シミュレーション結果

品質係数 Q を変えて, 8×8 をブロックとするDCT量子化を行い, 復号化した⁹⁾. これを素画像と仮称する. これを基にRTFを適用した画像 (処理画像と仮称) を作り, それぞれ印刷した. 例を図2に示す.

ブロック歪みはかなり抑圧できた. 因みに, モスキート雑音は必ずしもそうでもなかった.

そして, ある Q 値の処理画像の画質が, どの Q 値の素画像に近いかを評価した*. 評価は6名によって行い, その平均値を求めた. 評価結果を図3に示す.

例えば, $Q=8.0$ の処理画像が $Q=5.5$ の素画像の画質に近いと判定されれば (図中※印), 圧縮率1.13% (1/88) の画質

* 具体的には, 「ある処理画像の画質が, “どの Q 値の素画像” に近い, あるいは, “どの Q 値の素画像と, どの Q 値の素画像との間” にあるか」を答えてもらった.

図3 評価結果
Mean opinion score.

の画像を、0.84% (1/120) の圧縮率で符号化でき、これだけ圧縮率が向上できたと判定できる。

4. 今後の改善発展

(1) DCT量子化の Q 値による非線形特性の可変性

RTFを適用すると、高画質画像では表現されている細かなテクスチャが消える問題がある。これは、例えば前述の ε_0 を可変にすることで解決される。すなわち、 Q 値が小の高画質画像とき ε_0 も小にする。

(2) ブロック中の画素位置による非線形特性の可変性

ブロック歪みの修正量は、位置 (DCTブロックの周辺の画素と中心部の画素) によって変更してよい。上記の非線形特性 ε_0 を位置に応じて変更することが考えられる。

(3) ブロック中の画素位置によるLPFの可変性

同様の理由により、空間LPFの空間遮断周波数の可変性が考えられる。例えば、DCTブロックの垂直周辺画素では、水平遮断周波数に較べて、垂直遮断周波数を厳しく (低く) 設定するなどである。

5. む す び

DCT特有の量子化歪みを後処理 (RTF) で抑圧して、実

効的に圧縮率を40%程度向上させた。特に低品質画像でブロック歪みの抑圧に効果的であった。

以上のことから、本提案は、①比較的低画質な場合が多い、カメラ付き携帯電話やテレビ会議、②細かいテクスチャの少ないアニメ画像、などに適用して効果的であろう。

例えば、現在発展しつつあるカメラ付き携帯電話の場合、伝送帯域の関係から、ギリギリの画質で実用化されようから、適用して効果は大きい。

〔文 献〕

- 1) 吹抜敬彦：“画像・メディア工学 (信学会レクチャシリーズ)”，コロナ社，東京，pp.101-104 (2002)
- 2) 吹抜敬彦：“テレビジョン信号における雑音抑圧装置 (1978.6.2出願)”，特公昭59-17580 (1984.4.21)，特許1244016号 (1984.12.14)
- 3) 荒川薫ほか：“カラー画像の美観”，信学ソ大，SA-3-4 (Sep. 1998)
- 4) 吹抜敬彦：“信号保存性を有する画面中の微小信号成分抑圧方式”，特願平11-134621，(1999.4.6特願)
- 5) 吹抜敬彦：“リップル修正フィルタによる画像中の“シワ”の抑圧”，信学ソ大，D11.15 (Sep. 1999)
- 6) Tao Chen, Hong Ren Wu and Bin Qiu：“Adaptive Postfiltering of Transform Coefficients for the Reduction of Blocking Artifacts”，IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 11, 5, pp594-602 (May 2001)
- 7) 吹抜敬彦：“DCT量子化歪みのリップル修正フィルタによる抑圧”，映情学冬季大，9-3 (Nov. 2002)
- 8) 岡田卓也，渡部宏明，荒川薫，荒川泰彦：“成分分離型 ε -フィルタとその顔画像美観化への応用”，信学会ソ大，A-4-25 (Sep. 1999)
- 9) (例) 八木伸行 (編著)：“C言語で学ぶ実践ディジタル映像処理”，オーム社 (May 1995)

吹抜 敬彦 1959年，京都大学電子工学科卒業。1961年，同大学修士課程修了。1961年～1995年，日立製作所中央研究所。1995年，技師長を最後に，東京工科大学に転じ，工学部情報通信工学科教授。1968年より，画像信号処理 (高能率符号化，高精細化，テレビ方式) の研究に従事。本会功績賞，業績賞，著述賞，論文賞，信学会業績賞，著述賞，科技厅長官功労賞，東京都功労賞，発明協会特賞などを受賞。信学会およびIEEE各フェロー。工学博士。名誉会員。