

凸射影法を用いた適応サブバンド画像符号化 Convex Projection-Based Adaptive Subband Transforms for Image Coding

齊藤 高輝[†]
Takateru SAITO

田中 聡久[†]
Toshihisa TANAKA

山下 幸彦[†]
Yukihiko YAMASHITA

1. はじめに

複数のサブバンド変換を適応的に選択して用いる画像符号化方式が提案されている [1]. この方式は、画像の局所的性質によって適切な変換が選択されるようにサブバンド変換を選択的に用い、符号化効率の向上と視覚特性の向上を図るものである。この方式によって、復号画像の PSNR を改善できるとともに、リンギングを低減することができる。しかしながら、サブバンド変換符号化により発生するブロック歪みまで除去することは困難である。そこで本稿では、従来の方式 [1] において画像再構成のために導入されている凸集合に加え、ブロック歪みを低減するための凸集合を導入する。これによって、再構成画像におけるブロック歪みの低減が可能になる。さらに、計算機実験により有効性の確認をする。

2. 凸射影法による適応サブバンド符号化

2.1 従来手法 [1]

原画像を f とし、2 種類のサブバンド変換を $T^{(1)}, T^{(2)}$ とする。それぞれの変換により得られる変換係数ベクトルを $g^{(1)} = T^{(1)}f, g^{(2)} = T^{(2)}f$ とする。そして、変換係数を選択する作用素を $\tilde{P}^{(1)}, \tilde{P}^{(2)}$ とする。ここで $\tilde{P}^{(1)}, \tilde{P}^{(2)}$ は対角成分が 0 か 1 である対角行列であり、 $\tilde{P}^{(1)} + \tilde{P}^{(2)} = I$ が成り立つ。これにより符号化する変換係数ベクトルは $\tilde{g} = \tilde{P}^{(1)}g^{(1)} + \tilde{P}^{(2)}g^{(2)}$ となる。復号化側に送る量子化後の変換係数ベクトルを $\tilde{g}'$ とすると、一般に、この $\tilde{g}'$ から原画像 f を得るための逆作用素を求めることは困難である。そこで、交互射影法を用いることによって、量子化雑音が無い場合には原画像を完全に再構成できる。

2.2 凸射影法を用いた画像再構成

実際の復号画像には、量子化雑音によるブロック歪みの様な視覚的な劣化が生じる。そこで、交互射影法が凸射影法の特別な場合であることに着目し、ブロック歪みを低減するための凸集合を導入し、凸射影法により画像の再構成を行う。

いま、ヒルベルト空間 $\mathcal{H}$ の閉凸集合 C_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を考え、 $C_0 = \cap_{i=1}^N C_i, C_i \neq \emptyset$ とする。また、それぞれの集合 C_i への射影作用素を P_i と表す。このとき Youla と Webb は任意の初期値 $f^{(0)} \in \mathcal{H}$ を用いて

$$f^{(k+1)} = P_m P_{m-1} \dots P_1 f^{(k)}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

によって生成された点列 $\{f^{(n)}\}$ は集合 C_0 のある点に弱収束することを明らかにした [2].

本稿では、次の 4 つの凸集合を考え、凸射影法によって原画像 f を再構成する。

$$C_1 = \{f \mid f = (I - P_a)f + f_a\} \quad (1)$$

$$C_2 = \{f \mid f = (I - P_b)f + f_b\} \quad (2)$$

$$C_3 = \{f \mid \text{帯域制限されている } \tilde{g}_{DC}\} \quad (3)$$

$$C_4 = \{f \mid (\tilde{g}'_{DC})_n - (Q_{DC})_n/2 \leq (\tilde{g}_{DC})_n \leq (\tilde{g}'_{DC})_n + (Q_{DC})_n/2\} \quad (4)$$

ここで、式 (1), (2) において P_a, P_b を $P_a = T^{(1)T} \tilde{P}^{(1)} T^{(1)}, P_b = T^{(2)T} \tilde{P}^{(2)} T^{(2)}$ とし、 f_a, f_b を $f_a = P_a f, f_b = P_b f$ とする。また、式 (3) において $\tilde{g}_{DC}$ を $\tilde{g}$ の DC 係数ベクトルとする。式 (4) において $(\tilde{g}_{DC})_n, (\tilde{g}'_{DC})_n, (Q_{DC})_n$ は、それぞれ DC 成分に対する n 番目のブロックの変換係数、量子化後の変換係数、量子化幅を表す。2.1 節の従来手法 [1] は、 C_1 と C_2 を用いた凸射影法であるといえる。

ここで、 C_1, C_2 への射影作用素 P_1, P_2 は次のように表すことができる。

$$P_1 f = (I - P_a)f + f_a$$

$$P_2 f = (I - P_b)f + f_b$$

また、 C_3 への射影作用素 P_3 は、変換ドメインで DC 成分に対し、理想低域通過型フィルタを作用させる作用素である。さらに、 C_4 への射影作用素 P_4 は、変換ドメインにおいて次の操作を行うことに相当する。

$$(\tilde{g}_{DC})_n \leftarrow \begin{cases} (\tilde{g}'_{DC})_n + (Q_{DC})_n/2, & ((\tilde{g}_{DC})_n > (\tilde{g}'_{DC})_n + (Q_{DC})_n/2) \\ (\tilde{g}'_{DC})_n - (Q_{DC})_n/2, & ((\tilde{g}_{DC})_n < (\tilde{g}'_{DC})_n - (Q_{DC})_n/2) \\ (\tilde{g}_{DC})_n, & (\text{上記以外}) \end{cases}$$

なお、凸射影法の初期値は任意の値を取り得るので、本手法では $T^{(1)T} \tilde{P}^{(1)} \tilde{g}' + T^{(2)T} \tilde{P}^{(2)} \tilde{g}'$ としている。また、理想低域通過型フィルタは、低域通過型 FIR フィルタで近似する。本手法の符号化器・復号化器の構成を図 1 に示す。

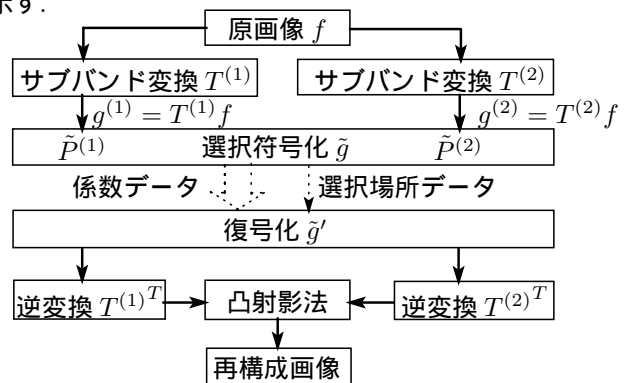


図 1: 符号化器・復号化器の構成

[†]東京工業大学, Tokyo Institute of Technology

3. 計算機実験

提案手法の有効性を評価するため画像符号化実験による比較を行った。実験画像には 512×512 の Barbara を用いた。サブバンド変換 $T^{(1)}$, $T^{(2)}$ として、それぞれ 8 チャンネルで 16tap と 48tap の GenLOT[3] を採用し、Run-length/Huffman 符号化を行った。比較のために、以下の 6 つの方式で符号化実験を行った。凸射影法による繰返し回数は 5 回とした。

1. 2.2 節で提案した手法 (C_1, C_2, C_3, C_4 へ射影)
2. 文献 [1] による適応符号化 (C_1, C_2 へ射影)
3. (1) 16tap GenLOT のみを用い、凸射影法で再構成した場合 (C_3, C_4 へ射影)
(2) 16tap GenLOT のみを用いた場合
4. (1) 48tap GenLOT のみを用い、凸射影法で再構成した場合 (C_3, C_4 へ射影)
(2) 48tap GenLOT のみを用いた場合

それぞれの方式による復号画像に対する Bit rate と PSNR の関係を表 1 に示す。また、復号画像 (0.25 bpp) の一部を拡大したものを図 2 に示す。このとき、方式 2, 3.(2), 4.(2) の結果は、文献 [1] における実験結果と同一のものである。複数のサブバンド変換を選択的に用いることによる符号化効率の向上が確認できる。しかしながら、図 2(b), (d), (f) より、これら 3 つの画像にはブロック歪みが残っている。そこで、本稿で導入した凸集合 C_3, C_4 の効果を確認するために、方式 3.(1) と 3.(2), 方式 4.(1) と 4.(2) の比較を行う。凸集合 C_3, C_4 を導入した場合 (方式 3.(1) と方式 4.(1)) で符号化効率は下がるものの、ブロック歪み低減の効果が得られていることが確認できる。最後に、2.2 節で提案した方式による符号化性能の評価を行うために、方式 1 と方式 3.(1), 4.(1) を比較すると、方式 1 で PSNR が向上し、視覚特性も改善されていることが確認できる。さらに、方式 1 と方式 2 を比較すると、方式 1 の PSNR は下がるものの、ブロック歪み低減の効果が得られていることが確認できる。以上から、提案した方式 1 の有効性を確認することができる。なお、 C_3, C_4 への射影を行う方式の PSNR が射影をしない方式の PSNR より低い理由は、平滑化処理が原因であると考えられる。

4. まとめ

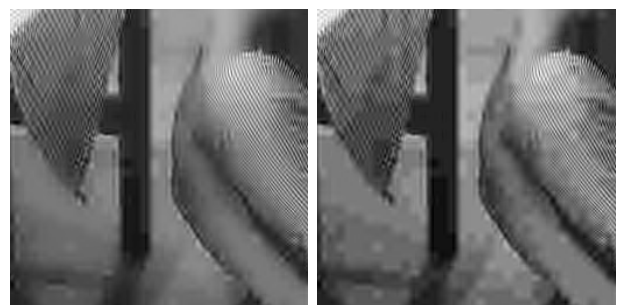
本論文では、複数のサブバンド変換を適応的に選択して用いる画像符号化方式に新たに 2 種類の凸集合を導入し、それらへの射影を交互に行うことによってブロック歪みの低減を実現する方法を提案した。今後の課題として、PSNR を低下させずに視覚特性を向上させることを検討する必要がある。

参考文献

- [1] 齊藤, 田中, 山下, “交互射影法に基づく適応サブバンド変換による画像符号化,” 2002 信学総大, D-11-35, Mar. 2002
- [2] D. C. Youla and H. Webb, “Image restoration by the method of convex projections,” *IEEE Trans. Med. Imaging.*, vol.1, no. 2, pp.81-94, 1982
- [3] R. L. de Queiroz, T. Q. Nguyen, “The GenLOT: Generalized linear-phase lapped orthogonal transform,” *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 44, no. 3, Mar. 1996

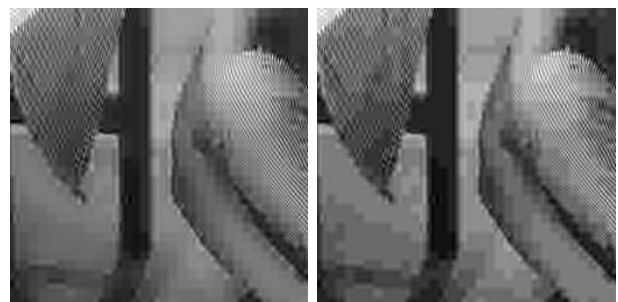
表 1: 画像 512×512 “Barbara” における Bit Rate (bpp) における PSNR (dB) の比較結果

Bit Rate	1.50	1.00	0.50	0.25
方式 1	39.34	36.22	30.71	25.46
方式 2	39.55	36.48	31.17	26.12
方式 3.(1)	38.85	35.55	30.14	25.19
方式 3.(2)	39.10	35.88	30.60	25.70
方式 4.(1)	39.23	36.05	30.65	25.62
方式 4.(2)	39.43	36.35	31.14	26.19



(a) 方式 1

(b) 方式 2



(c) 方式 3.(1)

(d) 方式 3.(2)



(e) 方式 4.(1)

(f) 方式 4.(2)

図 2: “Barbara” の復号画像 (0.25 bpp) の一部