

サンプル値 H^∞ 最適化による JPEG 画像のノイズ除去

Noise Reduction of JPEG Images via Sampled-Data H^∞ Optimization

京都大学大学院 情報学研究科 掛水 大詔, 永原 正章, 山本 裕
H. Kakemizu, M. Nagahara, Y. Yamamoto
Graduate School of Informatics, Kyoto University

Abstract We propose a new method to reduce noise of Joint Photographic Experts Group (JPEG) decompressed images. Our method is based on sampled-data H^∞ optimization, which takes the analog characteristic of the original image source into account. An example is presented to illustrate the effectiveness of the proposed method.

1 はじめに

デジタル機器の急速な発展により, さまざまな分野でアナログからデジタルへの移行が盛んに行われている. とくにマルチメディアでは, 音声や画像, 動画をいかに効率よくデジタルデータに変換するかが重要であり, その圧縮法に関してさまざまな手法が提案されている. そのなかでも JPEG (Joint Photographic Experts Group) は, 標準的な画像の圧縮方法として, インターネットやデジタルカメラ, カラー FAX 等に広く用いられている.

しかし, JPEG による圧縮には以下の問題点が指摘されている [1]:

- 画像をブロックに分けて, それぞれを独立に処理するためにブロックノイズが生じる.
- 高周波の粗い量子化により, 画像のエッジ部分付近にモスキートノイズが生じる.

これらのノイズを除去するために, JPEG の復元画像にたいしてフィルタをほどこす手法が提案されている [2]. しかし, 従来のフィルタ設計手法はデジタルデータにもとづいており, 原画像の自然な復元のためにはもとのアナログ信号の特性を考慮する必要がある.

そこで本研究では, サンプル値 H^∞ 最適化理論を用いて, もとのアナログの画像信号の特性を考慮した最適な画像復元法を提案する.

2 JPEG 圧縮

JPEG 圧縮の操作は大きく分けて, 離散コサイン変換, 量子化, ハフマン符号化に分類できる. 離散コサイン変換とは, M 点の原信号を周期的な偶関数として延長することで, 離散フーリエ変換の基底を $\{\cos 2\pi k/M\}$ ($k =$

$0, 1, \dots, M-1$) とする手法である. 離散コサイン変換を用いることにより, 得られる係数が実数になり, 計算機での取り扱いが容易になる. JPEG 圧縮では画像を 8×8 ピクセルのブロックに分割し, 各ブロックに対し水平, 垂直各方向に離散コサイン変換を行う. 離散コサイン変換により得られた係数は次に一様量子化される. 特に情報量の少ない高周波成分に対しては大きな量子化幅を用いることで係数の多くを 0 にする. 量子化された係数は最後にハフマン符号化される.

この JPEG 圧縮により必要な記憶容量は大幅に減少できる. しかし高圧縮率時には量子化の影響が無視できなくなり, 境界部分にモスキートノイズ, 画像全体にブロックノイズが生じる. 次節ではアナログ特性を考慮にいたしたノイズ軽減フィルタの設計問題を考える.

3 設計問題

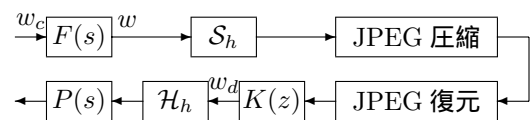


図 1: JPEG 圧縮, 復元のブロック線図

JPEG 圧縮, 復元のブロック線図を図 1 に示す. アナログの原信号 w_c はフィルタ $F(s)$ により帯域制限され, アナログ信号 w となる. この信号がサンプル周期 h の理想サンブラ S_h でサンプルされ, デジタル信号となり, さらに JPEG 圧縮される. この信号を JPEG 復元することで得られる w_d から元のアナログ信号 w_c をできるだけ正確に復元することが目的である. このため JPEG 復元信号にたいしてデジタルフィルタ $K(z)$ をほどこす. 次に零次ホールド \mathcal{H}_h によってアナログ信号

に変換し，アナログフィルタ $P(s)$ を通してアナログの復元信号が得られる．

ここで JPEG 圧縮，復元による誤差を付加雑音とみなし，新たな入力 d を導入することで，図 2 に示す誤差系を得る．ただし量子化誤差の振幅は有限であるので，ゲイン g_d を導入する．また復元精度の向上のため，信号の復元にサンプル周期の整数倍 mh の遅れを許すことにする．

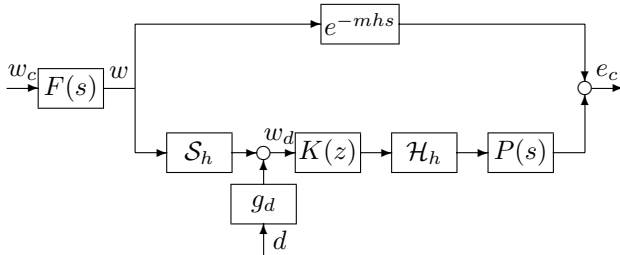


図 2: 誤差系

以上より，設計問題は以下のように定式化される:

Problem 1 図 2 において，入力 $[w_c, d]'$ から e_c までの入出力作用素を T としたとき， $\|T\|_\infty$ を最小化するデジタルフィルタ $K(z)$ を求めよ．

この問題はサンプル値 H^∞ 最適化問題であり，ファーストサンプル・ファーストホールドの手法を用いて効率よく解くことができる [3]．

4 適用例

以下の設計パラメータを用いてフィルタ $K(z)$ を設計する．

$$F(s) = \frac{1}{(10s+1)^2}, \quad P(s) = 1, \quad h = 1, \quad m = 2.$$

ここで $F(s)$ は，原デジタル画像の周波数特性をもとに近似的に求めた原アナログ信号の周波数特性である．

JPEG 画像を水平，垂直各方向に対して，設計した $K(z)$ をほどこすことによりノイズの除去を試みた．ノイズを含む JPEG 画像を図 3 に，図 3 の画像にたいして $K(z)$ によりフィルタ処理した画像を図 4 に示す．JPEG 画像ではモスキートノイズやブロックノイズがみられるが，提案法では画像全体がぼやけることなくノイズが軽減されている．

5 おわりに

本稿ではサンプル値 H^∞ 最適化により設計したフィルタにより，JPEG 画像に生じるノイズの軽減を試みた．今後の課題として，JPEG 符合化，復号化部分のよりよいモデルの考察が挙げられる．



図 3: JPEG 画像

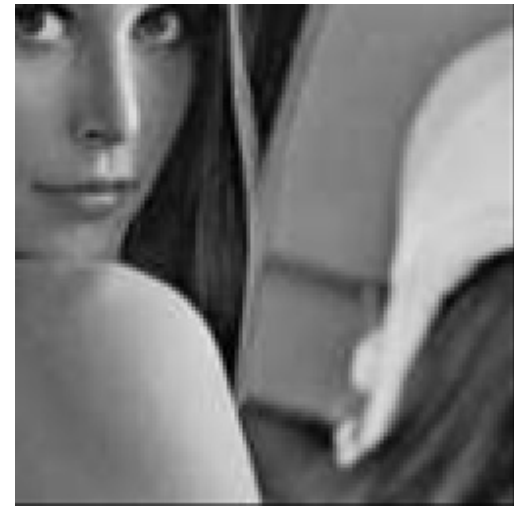


図 4: 提案法による処理結果

参考文献

- [1] 貴家, 村松: マルチメディア技術の基礎 DCT 入門, CQ 出版社, 1997.
- [2] J. Luo, C. W. Chen, K. J. Parker, and T. S. Huang: Artifact reduction in low bit rate DCT-based image compression, *IEEE Trans. Image Proc.*, Vol. 9, No. 9, pp. 1363–1368, 1996.
- [3] M. Nagahara and Y. Yamamoto: Design for digital communication systems via sampled data H^∞ control, *IFAC Workshop on Periodic Control Systems*, pp. 211–216, 2001.