

サンプル値制御理論による MPEG 動画のノイズ除去

Noise Reduction of MPEG Videos by Sampled-data Control Theory

石川島播磨重工業 (株) 小林 陽, 京都大学 ○永原 正章, 京都大学 山本 裕

A. Kobayashi[†], M. Nagahara[‡], and Y. Yamamoto[‡]

[†]Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd, [‡]Kyoto Univ.

Abstract The article proposes a new method for reducing noise in MPEG compressed videos. It is well known that MPEG compressed videos show block and mosquito noise. For reducing the noise, we design the H^∞ optimal filter which reduces noise taking account of the analog characteristic of the original image. In addition, to preserve edges in the video, for example, characters, we propose to use a nonlinear filter (ε filter). A numerical example shows the result.

1 はじめに

動画圧縮の方式として最も普及しているものに MPEG [1] がある。MPEG は高い圧縮効率が得られる優れた圧縮法であるが、高圧縮時には復元した動画にブロックノイズやモスキートノイズと呼ばれる不快なノイズが発生することが知られている。

これに対して我々はサンプル値 H^∞ 最適化にもとづくノイズ除去と復元を試みる。すなわち入力信号の周波数特性に関する先見情報を用いてアナログ特性を考慮し、サンプル値 H^∞ ノルムを用いて、ノイズおよび復元誤差を最小化する線形フィルタを設計する。

ここで、原信号のモデルをアナログのローパスフィルタとし、またブロックノイズやモスキートノイズを高周波ノイズとしてモデル化したとき、最適な線形フィルタは一般にローパスフィルタとなる。しかし、画像全体にローパスフィルタをかけると、画素値の差が大きいエッジ部分がなまってしまい、画像は全体的にぼんやりしたものとなる。そこで、原信号のエッジ部分とノイズ部分を分離することのできる ε フィルタ構造 [2] を導入する。さらに数値例によって提案法が MPEG 動画のブロックノイズ除去に効果的であることを示す。

2 サンプル値 H^∞ フィルタの設計

デジタル動画処理系として、図 1 のモデルを考える。まず、原信号が標本化され離散時間信号が得られる。つぎに符号化の部分で、量子化や圧縮を行い、圧縮されたデータが伝送または記憶される。そのデータは、復号されホールドにより連続時間信号へと変換され、復元信号が得られる。本研究の目的は、この処理系において、原信号と復元信号がなるべく近くなるように復号を行うシステムを設計することである。したがって、図 2 に示す誤差系を考える。まず、原信号のアナログ特性を

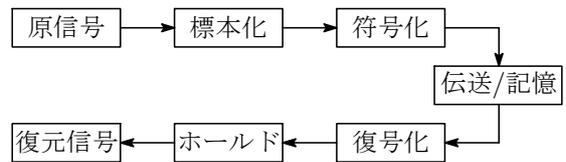


図 1: デジタル動画処理系

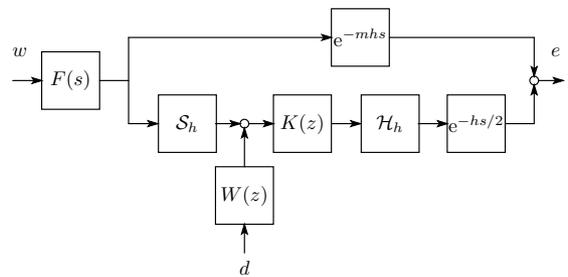


図 2: フィルタ設計のための誤差系

$F(s)$ とする。また、標本化を理想サンプリャとし S_h であらわす。符号化によって信号に加わるノイズのモデルを $W(z)$ とする。これは、圧縮によるノイズをモデル化したものであり、ハイパスフィルタとする。ノイズが加わった信号に対し、デジタルフィルタ $K(z)$ でノイズ除去および、原信号の周波数特性 $F(s)$ にもとづく信号の補正をおこない、零次ホールド H_h で連続時間信号に変換する。ここで、画像・動画処理におけるホールド要素は、非因果的（すなわち、ホールド関数が過去方向と未来方向で対称的）であることを仮定するため、サンプル周期 h の $1/2$ の遅れを導入する [4]。この復元信号と原信号が遅れたものとの誤差を e とおき、入力 $w \in L^2$ およびノイズ $d \in \ell^2$ から誤差 e へのシステムをそれぞれ T_{ew}, T_{ed} とおく。このとき、フィルタ $K(z)$ の設計問題を次のように定式化する。

問題 1 安定な伝達関数 $F(s)$, $W(z)$, 遅れステップ m , および定数 $\gamma > 0$ が与えられたとき

$$\| [T_{ew}, T_{ed}] \|^2 := \sup_{w \in L^2, d \in \ell^2} \frac{\|e\|_{L^2}^2}{\|w\|_{L^2}^2 + \|d\|_{\ell^2}^2} < \gamma^2$$

を満たすデジタルフィルタ $K(z)$ を求めよ.

この問題は, サンプル値 H^∞ 最適化問題であり, サンプル値制御理論を用いることにより, 計算機を用いて容易に H^∞ 最適フィルタ $K(z)$ を得ることができる [4].

3 ノイズとエッジの分離

ε フィルタ [2] は FIR フィルタの拡張であり, 閾値を用いてエッジの保存とノイズの除去を両立する非線形処理である. 用いる FIR フィルタの係数を $h_f[k]$, $-N_1 \leq k \leq N_2$, 入力と出力をそれぞれ x, y , 閾値を ε とするとき, ε フィルタは式

$$y[n] = \sum_{k=-N_1}^{N_2} h_f[k] f_\varepsilon(x[n-k], x[n]),$$

$$f_\varepsilon(a, b) := \begin{cases} a, & |a - b| \leq \varepsilon \\ b, & |a - b| > \varepsilon \end{cases}$$

で定義される.

ε フィルタはノイズの振幅が原信号のエッジの幅よりも小さいと仮定し, 閾値 ε によってそれらを区別する. 振幅の小さい部分にのみ区分的に FIR フィルタによる処理を行うことにより, 原信号のエッジを保存しつつノイズを除去することが可能となる.

4 数値例

提案法によるノイズ除去が特に MPEG のブロックノイズに対して有効であることを数値例によって示す. サンプル値 H^∞ 最適化により設計された線形フィルタを ε フィルタと組み合わせ, MPEG によって劣化した動画の各フレームに対して適用する. ここで, 原信号のモデルを

$$F(s) = \frac{1}{(Ts + 1)^3}, \quad T = \frac{10}{\pi},$$

とし, また誤差のモデルを

$$W(z) = 0.05 \cdot \frac{0.2929 - 0.5858z^{-1} + 0.2929z^{-2}}{1 + 0.1716z^{-2}}$$

とする. 復元の遅れステップを $m = 6$ とし, ε フィルタの閾値を $\varepsilon = 50$ とする.

また, ブロックノイズの程度を計るために次のような指標を導入する. まず劣化した画像に対してラプラシア

ンフィルタ [3] をかけてエッジを抽出する. そして 8×8 ブロックの境界部分, すなわち画像内の $1, 8, 9, 16, 17, \dots$ 行目および $1, 8, 9, 16, 17, \dots$ 列目において画素値の平均値をとり, a_B とする. 同様に画像全体での画素値の平均を a_A とする. これを用いてブロックノイズの指標 r を $r := a_B/a_A$ で定義する. ブロックノイズは MPEG の圧縮過程で画像を 8×8 ブロックに分割することによりブロック境界に発生するエッジである. 従ってブロックノイズが強ければ r は 1 より大きく, ブロックノイズが弱ければ r は 1 に近い値をとると予想できる. このように r はブロックノイズの程度を反映している.

MPEG によって劣化した動画とそれを提案法によって処理した動画の各フレームで r の値を演算し, グラフにプロットしたものを図 3 に示す. 処理後の動画では全てのフレームで処理前の動画より小さい r の値をとっており, 提案法によってブロックノイズが軽減できていることがわかる.

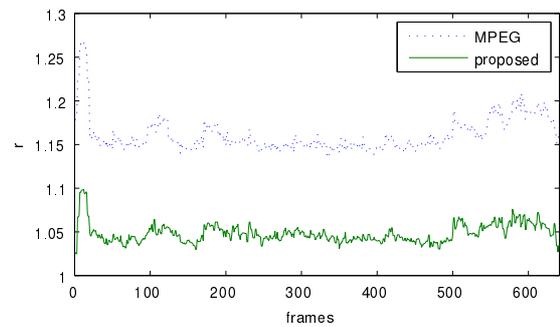


図 3: ブロックノイズの評価

参考文献

- [1] D. Le Gall: MPEG: a video compression standard for multimedia applications; *Communications of the ACM*, Vol. 34, pp. 46–58 (1991)
- [2] 原島, 小田島, 鹿喰, 宮川: ε -分離非線形デジタルフィルタとその応用: 電子通信学会論文誌, J65-A, No. 4, pp. 297–304 (1982)
- [3] B. Jähne: *Digital Image Processing*, Springer (1995)
- [4] H. Kakemizu, M. Nagahara, A. Kobayashi, and Y. Yamamoto: Noise reduction of JPEG images by sampled-data H^∞ optimal ε filters; *SICE Annual Conference*, pp. 1080–1085 (2005)