

■2群 (画像・音・言語) -5編 (画像符号化)

3章 符号化前処理

(執筆者：坂東幸浩) [2009年12月 受領]

■概要■

低ビットレート向けの映像符号化では、符号化処理に先立ち各種の前処理が行われる。この前処理の目的は、主観画質を損なわない範囲内で、映像信号を符号化器において符号化しやすい(符号量の発生しにくい)信号へ加工することである。一般的なアプローチとしては、入力信号に重畳した雑音成分や視覚的に検知しにくい高周波成分をカットするフィルタ処理が用いられる。カットした成分は符号化の必要がなく、その分、発生符号量を節約できるためである。本章では、映像符号化の前処理に用いられる代表的なフィルタ処理を説明する。

【本章の構成】

本章では、まず、空間フィルタとして、平均値フィルタに代表される線形フィルタ、及びメディアンフィルタに代表される非線形フィルタについて概観し、次に、カラー画像に対するベクトル処理型のフィルタについて紹介する。最後に、時空間方向フィルタとして、動画映像符号化における動き補償フレーム間予測を考慮した3次元フィルタについて概説する。

■2群 - 5編 - 3章

3-1 空間フィルタを用いた符号化前処理

(執筆著：坂東幸浩) [2009年12月 受領]

本節では、雑音除去の目的で利用される空間フィルタについて、一次元信号を例にとり説明する。なお、以下では原信号を $x[t]$ ($t=0, \dots, T-1$)、雑音成分を $n[t]$ 、雑音重畳後の観測信号を $y[t] = x[t] + n[t]$ とする。

最も基本的な線形フィルタとして、次に示す平均値フィルタがあげられる。ここでは、 $2M+1$ タップの平均値フィルタを示している。

$$\hat{x}[t] = \frac{1}{2M+1} \sum_{i=t-M}^{t+M} y[i]$$

同フィルタは、一種のローパスフィルであり、フィルタリング後の各出力信号値の雑音電力

$$\sum_{i=-M}^M |x[t+i] - \hat{x}[t]|^2$$

を最小化するフィルタとなっている。なお、上記の平均値フィルタは、フィルタリング後の雑音電力の総和

$$\sum_{t=0}^{T-1} |y[t] - \hat{x}[t]|^2$$

を最小化したことにはならない。この全体最小化に対しては、Wiener フィルタに基づくアプローチが検討されてきた。Wiener フィルタは、雑音重畳前の原信号と雑音信号に弱定常性を仮定し、更に、両信号のパワースペクトル密度が既知のもとで設計されるフィルタである。このため、実際の利用においては、原信号と雑音信号のパワースペクトル密度の推定が必要である。つまり、原信号の推定という問題の形式が変更されただけであり、問題の本質は変わらない。

インパルス性雑音の除去に有効なフィルタとして、メディアンフィルタ¹⁾が知られている。メディアンフィルタでは、 $x[t]$ の近傍の $2M+1$ サンプル ($x[t-M], \dots, x[t+M]$) を抽出し、昇順 (または降順) にソートしたものを $x'[i]$ ($i=t-M, \dots, t+M$) とおき、この $x'[i]$ ($i=t-M, \dots, t+M$) の中央値 (メディアン) が出力される。メディアンフィルタは非線形フィルタであり、フィルタリング後の各出力信号値の雑音成分の絶対値和

$$\sum_{i=-M}^M |x[t+i] - \hat{x}[t]|$$

を最小化するフィルタとなっている。メディアンフィルタの改良版として、 $x[t]$ の近傍サンプルの頻度を大きく設定することで、同近傍サンプルを重視する設計とした荷重メディアンフィルタ²⁾も提案されている。

信号の急峻な変化を損なうことなく、効果的に雑音を除去可能な非線形フィルタとして、 ε フィルタ⁴⁾がある。そのフィルタリング後の出力 $y[t]$ は次式となる。

$$y[t] = x[t] + \sum_{k=-M}^M \alpha_k F(x[t+k] - x[t])$$

ここで、係数 α_k は

$$\sum_{k=-M}^M \alpha_k = 1$$

を満たすものとする。また、関数 $F()$ は、その絶対値が $|F(x)| \leq \varepsilon$ で抑えられる非線形関数である。このため、入力信号内に加えられた小振幅なランダム雑音を取り除く特性を有する。

画像中のエッジ特徴を保存しつつ平滑化を行う非線形フィルタとして、**Bilateral** フィルタ³⁾が注目されている。同フィルタの特徴は、フィルタリングの強度の設定に画素間距離だけでなく画素値の差も反映させた点にある。ガウス型の平滑化フィルタのようにフィルタ中心から相対距離のみに応じて強度が定まるフィルタでは、雑音だけでなく画像のエッジも平滑化されてしまうのに対し、**Bilateral** フィルタでは、エッジ近傍のように画素値の差分が大きい領域では、自動的にフィルタリングの強度が弱められ、フィルタリング前の画素値が保存される度合いが強まる。また、同フィルタのカラー画像への適用として、**CIE-Lab** 色空間において視覚感度を考慮した検討もなされている³⁾。

カラー画像に対する雑音除去法として、3成分を有するベクトル(カラーベクトル)として画素を表現し、このベクトルをフィルタ処理の対象とするアプローチが検討されている。各画素のカラー成分を独立にフィルタリング処理するのではなく、ベクトルデータとして処理することで、カラーチャンネル間の相関を利用し、カラー画像特有の色滲みといった画質劣化を回避することを目的としている。代表的な手法は、カラーベクトルに対してメディアンフィルタ処理を行うベクトルメディアンフィルタ⁵⁾である。また、ベクトルメディアンフィルタの拡張として、加重メディアンフィルタの考え方をベクトルメディアンフィルタに適用した検討⁶⁾も報告されている。メディアンフィルタを基にしたベクトルメディアンフィルタは、インパルス性雑音に対して高い雑音除去能力を備えるものの、ガウス性雑音に対しては雑音除去能力が低下する。そこで、インパルス性雑音とガウス性雑音の混合雑音に対する雑音除去能力を高めるために、ベクトルメディアンフィルタを線形フィルタと組み合わせた手法⁵⁾が報告されている。ベクトルメディアンフィルタでは、メディアン算出の対象が3次元ベクトルとなることとともない、演算量が増加するため、ユークリッドノルムの線形近似に基づき、カラーベクトル間の距離計算の演算コストを低減させた検討⁷⁾が報告されている。

カラーベクトルに対するフィルタ処理の別の例としては、方向性フィルタ(**Directional Filter**)⁸⁾がある。これは、フィルタ処理の対象領域内において、ベクトル間の角度を最小化するベクトルを出力するフィルタである。カラーベクトルの方向が色相や彩度といった色度に対応していることから、同方向の乖離を小さく抑え、フィルタリング後の画像の色のずれを抑止することを目的としている。

■参考文献

- 1) N. C. Gallagher, "Median filters: a tutorial," IEEE International Symposium on Circuits and Systems 1988, vol.2, pp.1737-1744, 1988.

- 2) L. Yin, R. Yang, M. Gabbouj, and Y. Neuvo, "Weighted median filters: a tutorial," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, vol.43, no.3, pp.157-192, Mar. 1996.
- 3) C. Tomasi, R. Manduchi, "Bilateral Filtering for gray and color images," IEEE International Conference on Computer Vision, New Delhi, pp. 836-846, Jan. 1998,
- 4) 原島 博, 小田島薫, 鹿喰善明, 宮川 洋, "ε分離非線形デジタルフィルタとその応用," 信学論(A), vol.J65-A, no.4, pp.297-304, 1982.
- 5) J. Astola, P. Haavisto, Y. Neuvo, "Vector median filters," Proceedings of the IEEE, vol.78, no.4. pp.678-689, Apr. 1990.
- 6) T. Viero, K. Oistamo, and Y. Neuvo, "Three-dimensional median related filters for color image sequence filtering," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, vol.4, no.2, pp.129-142, Apr. 1994.
- 7) M. Barni, V. Cappellini, and A. Mecocci, "Fast vector median filter based on Euclidean norm approximation," IEEE Signal Processing Letters, vol.1, no.6, pp.92-94, Jun. 1994.
- 8) P. Trahanias, D. Karakos, and A. Venetsanopoulos, "Directional processing of color images: Theory and experimental results," IEEE Transaction on Image Processing, vol.5, no.6, pp.868-881, Jun. 1996.

■2群 - 5編 - 3章

3-2 時空間フィルタを用いた符号化前処理

(執筆著者：坂東幸浩) [2009年12月受領]

前節の空間フィルタを動画像に対する時空間フィルタとして拡張する場合、2次元フィルタである空間フィルタを3次元フィルタへ拡張することが考えられる。つまり、複数フレームからなる時空間データに対する3次元フィルタとしての拡張である。例えば、メディアンフィルタを3次元フィルタに拡張して、動画像の雑音除去に適用した例¹⁾が報告されている。しかし、MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC²⁾といった代表的な動画像符号化手法では、動き補償フレーム間予測が採用されている。このため、こうした符号化方式に対する前処理として単純な時間方向のフィルタを適用しても、動き補償フレーム間予測誤差の直接的な低減につながらず、符号量を削減できる保証はない。

そこで、時間軸上で動きの軌道に沿ってフィルタリングする時空間フィルタが必要となる。線形フィルタの例としては、複数フレームから構成される時空間データに対する3次元Wienerフィルタ、更に、その拡張として、動き補償を考慮した3次元Wienerフィルタ³⁾が報告されている。これは、3次元線形フィルタの係数決定問題をWienerフィルタのアプローチで定式化したものである。非線形フィルタの例としては、Volterraフィルタを用いた時空間フィルタ⁴⁾が検討されている。同フィルタにおける線形フィルタとの相違点は、観測信号値の積の項を含む非線形性にある。帯域制限型の線形フィルタでは、広い帯域にわたって周波数成分を含む映像信号に対する雑音除去が難しいのに対し、Volterraフィルタに基づく非線形フィルタでは、導入した非線形性が入力信号の特性と適合すれば良好な雑音除去性能を達成できることが報告されている。

H.264/AVC スケーラブル拡張規格 (SVC) の標準化において議論された方式として、Motion Compensated Temporal Filtering (MCTF)^{5), 6)}がある。同標準化において、MCTFは、当初、時間スケラビリティ実現の手段として提案された。しかし、その後の検討で、階層型 B Picture⁷⁾と比較して符号化効率が劣ることが報告され、標準化への採用は見送られた。局所復号画像を参照画像とする Closed Loop 構造の階層型 B Picture に対して、原信号を参照画像とする Open Loop 構造の MCTF ではドリフト誤差が発生し、符号化効率の低下を招いたためであった。その後、符号化器と独立に動作するプレフィルタとしての利用であれば、上記のドリフト誤差は問題とならないことから、MCTFは、動画像符号化のプレフィルタとして検討されるようになった⁸⁾。

■参考文献

- 1) M. A. Alp and Y. Nuevo, "3-dimensional median filters for image sequence processing", IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol.4, pp.2917-2920, May 1991.
- 2) "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services, ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)," ITU-T and ISO/IEC JTC 1, Jul. 2007.
- 3) M. K. Ozkan, A. T. Erdem, M. I. Sezan, and A. M. Tekalp, "Efficient multiframe Wiener restoration of blurred and noisy image sequences," IEEE Transactions on Image Processing, vol.1, no.10, pp.453-476, 1992.
- 4) C. L. Chan, A. K. Katsagelos, and A. V. Sahakian, "Linear-Quadratic noise smoothing filters for quantum-limited images and image sequences," IEEE Transaction on Image Processing, vol.4, no.9, pp.1328-1333, Sep. 1995.

- 5) J. Ohm, "Advances in Scalable Video Coding," Proceedings of the IEEE, vol.93, no.1, pp.42-56, Jan. 2005.
- 6) J. Ohm, M. van der Schaar, and J. Woods, "Interframe wavelet coding-motion picture representation for universal scalability," Signal Processing, Image Communication, vol.19, pp.877-908, 2004.
- 7) H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Analysis of hierarchical B pictures and MCTF," IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Jul. 2006.
- 8) H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Comparison of MCTF and closed-loop hierarchical B pictures," Joint Video Team, Doc., JVT-P059, Poznan, Jul. 2005.