

研究速報

可変係数型可逆デインタレース処理

石田 拓磨[†](学生員) 村松 正吾^{†a)}(正員)菊池 久和[†](正員) 久下 哲郎^{††}(正員)

Invertible Deinterlacing with Variable Coefficients

Takuma ISHIDA[†], Student Member, Shogo MURAMATSU^{†a)},
Hisakazu KIKUCHI[†], and Tetsuro KUGE^{††}, Members[†]新潟大学工学部電気電子工学科, 新潟市Faculty of Engineering, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-
no-cho, Niigata-shi, 950-2181 Japan^{††}NHK 放送技術研究所, 東京都Science & Technical Research Laboratories, NHK, 1-10-11
Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

a) E-mail: shogo@eng.niigata-u.ac.jp

あらまし 可変係数型可逆デインタレース処理を提案する。これまでに筆者らは、Motion-JPEG2000のようなフレーム内符号化で問題となるインタレース映像のくし状効果を抑えるために、可逆デインタレース処理を提案した。しかしながら、このデインタレースフィルタは固定係数であり、局所的には必ずしも適しているとはいえなかった。そこで、可逆性を犠牲にすることなく係数を可変とする新たな手法を提案し、画像の局所的性質に適した係数を用いることで画質の更なる改善を行う。シミュレーション結果により評価し、本手法の有効性を確認する。

キーワード 可逆デインタレース処理, 可変係数, フレーム内符号化, Motion-JPEG2000

1. ま え が き

動画像信号の記録, 表示の方式には現行テレビ等で使用されるインタレース方式とPC モニタ等で使用されるプログレッシブ方式がある。インタレース映像は、走査線が互いに一つとびに配置され、時間の異なる二つのフィールドから構成されている [1]~[3]。これに対し、Motion-JPEG2000 (MJP2) のようなフレーム内符号化を適用する際には、フレーム画像を生成するためにフィールド合成を行う必要が生じる [4]。しかしながら、単純なフィールド合成により得られるフレーム画像では、動きのある被写体のエッジ部分に走査線一本ごとの水平方向のくし状効果が発生する [5], [6]。例えば MJP2 を用いるとき、ウェーブレット変換符号化の性質としてくし状部による垂直高周波成分が、低ビットレート復号時に切り捨てられ、量子化ノイズが発生する。これは動画像において、ちらつきとなって現れる。そこで、前置フィルタを導入したフレーム内符号化システムが提案された [6]。これは、固定のター

ゲットレートに対しては有効であることが確認されている。しかし、スケーラビリティを前提とした場合、想定されたターゲットレートよりも高いビットレート復号化において画質が犠牲になる問題があった。この問題を解決するために、筆者らは、スケーラブルなフレーム内符号化の前処理として可逆デインタレース処理を提案した [7]~[9]。このデインタレース処理は、標本化密度を保存し、かつ逆システムが存在する。したがって、必要に応じてデインタレース処理の逆変換を行うことによって画質を復元することができる。このデインタレース処理と逆変換との間に処理が行われない場合には、原画像は完全再構成する。また、符号化・復号化処理が行われたとしてもこの再構成の性質は近似的に保持できる。この可逆デインタレース処理を前置フィルタとして導入し、復号化における画像コンテンツの品質に応じたスケーラビリティを実現できるシステムを提案している [10], [11]。しかしながら、これまでの可逆デインタレース処理のフィルタ係数は固定であった。そのため、常に画像の局所的性質に適しているとは限らず、くし状効果は低減できるもののフィルタ処理による静止部分の空間解像度への影響を回避することができなかった。

本研究では、このデインタレース処理の可逆性を失わずに、静止部やくし状部といった画像の性質に合わせてフィルタ係数を可変にする可変係数型可逆デインタレース処理を提案し、その効果を示す。

2. 可逆デインタレース処理の概要

本章では、筆者らが既に提案したサンプリング密度を保存する可逆デインタレース処理について述べる [7]~[9]。ただし、入力信号 $X(z)$ は図 1 のように

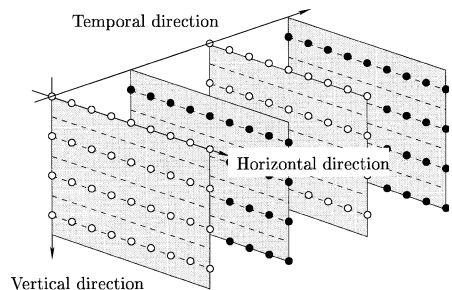


図 1 インタレース方式。ただし、白点と黒点はそれぞれトップ、ボトムフィールドである。

Fig.1 Interlaced scanning, where the white and black circles are sample points on top and bottom fields, respectively.

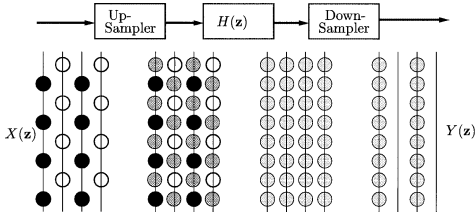


図2 デインタレース処理の基本構成, ただし, 垂直-時間のみ

Fig. 2 Basic structure of deinterlacer, where only vertical-temporal plane is shown.

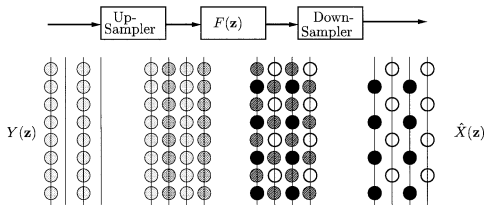


図3 リンタレース処理の基本構成, ただし, 垂直-時間のみ

Fig. 3 Basic structure of reinterlacer, where only vertical-temporal plane is shown.

与えられるものとする.

2.1 デインタレース化

図2に標準化密度を保存するデインタレース処理の基本構成を示す. ただし, z は, 3-D z -領域からなる 3×1 ベクトルである. 図2のように入力信号 $X(z)$ は零値挿入され, フレーム画像に変換される. 次にくし状効果を抑圧するために $H(z)$ よりフィルタ処理され, 最後に入力信号の標準化密度を保持するために図2のように時間方向に間引かれデインタレース画像 $Y(z)$ を出力する. このデインタレース処理は, フィールド合成の一般化とみなせる.

2.2 リンタレース化 (逆変換)

フレーム内符号化システムにおいて, デインタレース処理されたフレーム画像 $Y(z)$ は符号化され, 伝送及び復号化される. このフレーム画像からもとのインタレース画像を再構成するために, デインタレース処理の逆変換であるリンタレース処理が必要である. 図3にそのリンタレース処理の基本構成を示す. $F(z)$ 及び $H(z)$ が完全再構成条件を満たすとき, 入力信号 $X(z)$ は遅延とスケールを除いて完全再構成される [7] ~ [9].

2.3 スケーラブルフレーム内符号化システム

図4にこのフレーム内符号化システムを示す. 図中

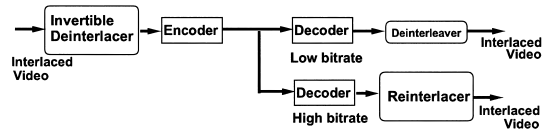


図4 スケーラブルフレーム内符号化システム
Fig. 4 A scalable intraframe-based coding system.

の Deinterleaver は, フィールド合成の逆操作を示す. このシステムでは, デインタレース処理により低ビットレート復号時でのちらつきを抑制し, 高ビットレート復号時にはリンタレース処理を行うことで画質を保証する. 以下にデインタレース化フィルタとリンタレース化フィルタの一例を示す [7] ~ [9].

$$H(z) = 1 + \frac{1}{2}z_T^{-1} + \frac{1}{4}(z_V^1 + z_V^{-1}). \quad (1)$$

$$F(z) = z_T^{-1} \left\{ 2 + z_T^{-1} - \frac{1}{2}(z_V^1 + z_V^{-1}) \right\}. \quad (2)$$

これらのフィルタは, i) 画像の輝度を保持するための直流利得正規化, ii) チェス盤ひずみを回避するためのレギュラリティ [12], iii) 垂直方向対称性 [13] の三つの特性をもつ. これらのフィルタを用いたシステムにおいて, 低ビットレート復号時の動画のちらつきを抑えることを確認している [10], [11].

しかしながら, 画像全体に固定のフィルタ処理を行うため, 静止部分も含めフィルタ処理によって, 平滑化されてしまう. このため, 高ビットレート復号の際, この静止部への影響がリンタレース化後の画質を低下させてしまう問題があった.

3. 可変係数型デインタレース処理

本章では, 画像の性質に適応させる可変係数型, かつ可逆なデインタレース処理を提案する.

3.1 可変係数型可逆デインタレース処理

今回提案する可変係数型可逆デインタレース化フィルタ $H(z)$ とリンタレース化フィルタ $F(z)$ の伝達関数を次式に示す.

$$H(z) = 1 + (1 - \frac{\alpha_n}{2})z_T^{-1} + \frac{\alpha_n}{4}(z_V^1 + z_V^{-1}). \quad (3)$$

$$F(z) = z_T^{-1} \left\{ \frac{2}{2 - \alpha_n} + z_T^{-1} - \frac{\alpha_n}{2(2 - \alpha_n)}(z_V^1 + z_V^{-1}) \right\}. \quad (4)$$

この伝達関数において, $0 \leq \alpha_n < 2$ の範囲で α_n を制御することにより $H(z)$ と $F(z)$ は時間のみ, 垂直-時間または垂直のみというようにフィルタの特性

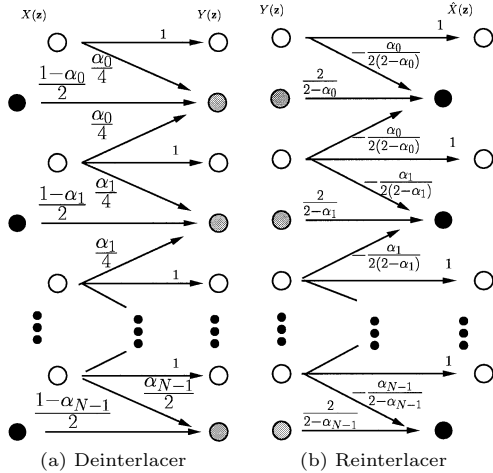


図 5 可変係数型デインタレースリインタレース化の実現法
 Fig. 5 An implementation of deinterlacing with variable coefficients.

を変えることができる．特に $\alpha_n = 1$ のとき，式 (1)，(2) で与えられるフィルタとなる．また， $\alpha_n = 0$ のとき，従来の単純なフィールド合成と一致する．すなわち，空間解像度が保持される．したがって，画像の局所的性質に合わせて α_n を適応させることにより静止部分の空間解像度を維持しつつ，被写体の動きによって生じるくし状効果を低減できる．

図 5 に対応する実現法を示す．図 5 に示す黒点はボトムフィールドを，白点はトップフィールドを表している．また，灰色点は矢印の示す重み和によって得られる．図 5 よりボトムフィールドのサンプルごとに α_n を変更してもリインタレース処理の際に，他の灰色点に影響を与えないため，処理が閉じており完全再構成が保証されることが確認できる [7] ~ [9]．また，固定係数型とほぼ同等な実装法であり，In-place 演算が可能である．

3.2 動き検出による α_n の制御

ここでは， α_n の制御方法について提案する．画像内のくし状効果の程度に応じて，フィルタ係数を α_n によって制御する． α_n は $0 \leq \alpha_n < 2$ の範囲で任意に適用できるが，リインタレース処理時に α_n の情報を提供する必要がある．なるべく α_n の情報量を少なくし，検出部にかかる演算の複雑化を回避するために， α_n を $\{0, 1\}$ でスイッチする制御法を提案する．

くし状部の検出には，入力信号に対し垂直方向高域フィルタ $D(z) = \frac{1}{2}z_T^{-1} - \frac{1}{4}(z_V^+ + z_V^{-1})$ を使用する．

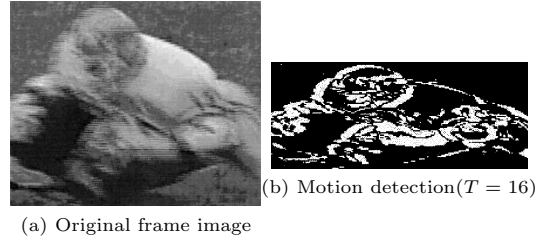


図 6 くし状部分の検出
 Fig. 6 Motion detection.

特に注目すべき点は，この高域フィルタ $D(z)$ と式 (1) のフィルタ係数が符号を除けば一致することである．したがって，くし状検出部において，フィルタ $D(z)$ によって生成される中間演算値のデインタレース処理への再利用が期待できる．以下にくし状部の検出手順を示す．

- フィルタ処理された値の絶対値をとる
- しきい値 T 以上なら， $\alpha_n = 1$ とする
- しきい値 T 未満なら， $\alpha_n = 0$ とする

しきい値 $T = 0$ のときは，固定係数型デインタレース処理のみとなり，しきい値 $T = 128$ 以上のときは，単なるフィールド合成のみとなる．図 6 (a) は，インタレース画像のフレーム画像 (180×220) である．図 6 (b) は抽出されたくし状部分の画像 (90×220) である．ただし，くし状検出情報はボトムフィールドだけでよい．黒の領域は，静止部分を表し， $\alpha_n = 0$ を適用する領域であり，白の領域は，検出されたくし状部分を表し $\alpha_n = 1$ のデインタレース処理を行う領域である．

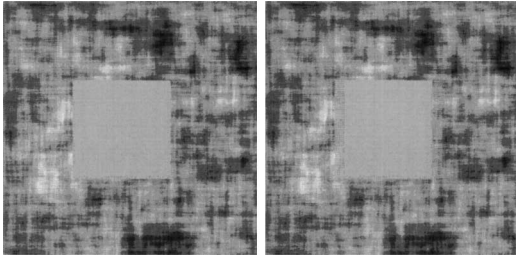
4. 性能評価

本章では，提案法の有効性を確認するために，単なるフィールド合成 [4]，固定係数型 [7] ~ [11] 及び提案手法について性能評価を行う．

4.1 前処理としての性能評価

単なるフィールド合成，固定係数型デインタレース化及び提案手法のデインタレース化について評価する．使用する動画像は，図 7 に示す分離型 1 次 AR 過程出力 ($\rho = 0.95, 256 \times 256$) を背景とし，正方形 (100×100 ，輝度値 180) が水平方向に移動する 2 フレーム Y 成分のみである．以下に評価手順を示す．

- 1 (a) をインタレース画像に変換した I_s を用意
- 2 I_s に対ししきい値 T を変化させてデインタレース処理



(a) Original frame image (b) Deinterlaced image ($T = 10$)

図 7 分離型 1 次 AR 過程出力 ($\rho = 0.95$) を用いた評価画像

Fig. 7 An example image with Divided 1-order AR process output ($\rho = 0.95$).

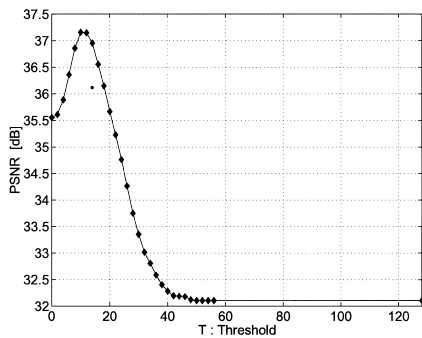


図 8 提案手法のデインタレース化性能

Fig. 8 Deinterlacing performance of the proposed method.

3 (a) と処理後の画像との PSNR をとり客観的に評価

$T = 128$ のとき, 単なるフィールド合成となり, $T = 0$ のとき, 固定係数型デインタレース化となる. 図 7 に (a) 原画像と (b) デインタレース化されたフレーム画像をそれぞれ示す. また, 図 8 にそれぞれの PSNR を示す. α_n を変化させることで, フィルタ画像の性質に合わせて処理可能となる. 図 8 より提案手法の性能が固定係数型に比べ, 改善できることが確認できる.

4.2 低ビットレート復号化における性能

単なるフィールド合成, 提案手法のデインタレース化を行ったフレーム画像に対し, JP2 [14] を使用し, フレーム内符号化 (2.0 bpp), 復号化 (0.1 bpp) を行い, 主観的に評価する. 使用する動画は, Football (480×720) の連続する 2 フレーム Y 成分のみを使用する. 図 9 は, 各復号化されたフレームを示す. (a) は, 単なるフィールド合成により処理された連続するフレーム画像を示す. (b) は, 提案手法により処理さ



(a) Field interleaving ($T = 128$)



(b) Invertible deinterlacing with variable coefficients ($T = 16$)

図 9 低ビットレート復号化 (0.1 bpp)

Fig. 9 Simulation results at 0.1 bpp.

れた連続するフレーム画像を示す. 低ビットレート復号時の動画のエッジ部のちらつきは, くし状効果により引き起こされる. (b) は, (a) に比べてオブジェクトのエッジ部のくし状効果が低減されていることが確認できる. したがって, デインタレース化を前処理として挿入することで, 動画のちらつきを抑えることが確認できる.

4.3 符号化効率

単なるフィールド合成, 固定係数型及び提案手法のデインタレース処理を行ったフレーム画像に対し, JP2 を使用しフレーム内符号化, 高ビットレート復号化 (2.0 bpp) を行い, リインタレース処理を行う. 提案手法において, しきい値 T を変化させてもとのインタレース画像との PSNR をとり, 客観的に評価する. 使用する動画は, Football (480×720) の連続する 30 フレーム Y 成分のみを使用する. 図 10 に単なるフィールド合成 ($T = 128$), 固定係数型 ($T = 0$) 及び可変係数型の PSNR を示す. 復号化後のリインタレース処理により, 可変係数型は固定係数型に比べ

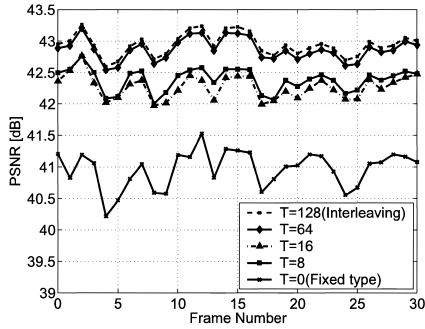


図 10 フレーム内符号化効率 (2.0 bpp 復号化)
Fig. 10 Coding efficiency at 2.0 bpp.

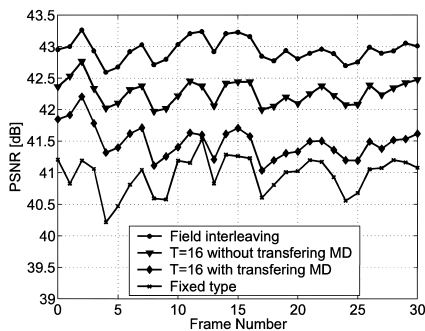


図 11 付加情報を考慮した符号化効率 (2.0 bpp 復号化)
Fig. 11 Coding efficiency with α at 2.0 bpp.

て PSNR が高いことが分かる。しい値 T を高くすれば、符号化効率が上がるが、その分、デインタレース化性能が低下する。しかしながら、従来では不可能であったこれらのトレードオフを制御することが可能となる。図 8, 図 10 より $T = 8$ 辺りにおいて、低、高ビットレートとともに性能が改善されることが確認できる。次に、 α を付加情報として考慮した符号化効率について評価を行う。リインタレース処理の際に各フレームごとに α の情報を付加情報として伝送する必要がある。したがって、 α の付加情報をボトムフィールド分の 1 ビット画像として必要となるので $1 \text{ bit} \times 240 \times 72$ の付加情報を JP2 で符号化し、全体の復号ビットレートを 2.0bpp として、復号画像に割り当てるビットレート $Rate$ を以下の式により与えることとする。

$$Rate = 2.0 - \frac{\alpha \text{の符号化量}}{\text{元画像の幅} \times \text{高さ}} \quad (5)$$

提案手法 ($T = 16$) の付加情報考慮あり、付加情報考慮なしの可変係数型及び固定係数型をそれぞれ比較

する。図 11 にシミュレーション結果を示す。図中の MD は、Motion data (付加情報) を示す。図 11 より、付加情報量が PSNR に影響することが確認できる。しかしながら、従来の固定係数型に比べて、性能が向上していることが確認できる。

5. むすび

可変係数型デインタレース処理を提案した。提案手法では、画像の局所的性質に合わせて静止部の画質を維持しつつ、被写体の動きに応じて発生するくし状効果を低減することができる。しかしながら、画質復元においてはリインタレース処理時に α_n の送信が不可欠である。付加情報量としてパラメータ α_n をいかにして送信し、情報量を減らすのが今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費若手研究 (B) No.14750283 の助成のもとで行われた。

文 献

- [1] A.M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice-Hall, 1995.
- [2] Y. Wang, J. Ostermann, and Y. Zhang, Video Processing and Communications, Prentice-Hall, 2002.
- [3] G. de Haan and E.B. Bellers, "Deinterlacing-an overview," Proc. IEEE, vol.86, pp.1837-1857, 1998.
- [4] 久下哲郎, "Motion-JPEG2000 規格化の現状と課題; 映像情報メディア学会誌, vol.54, no.12, pp.35-42, 2000.
- [5] 久下哲郎, 星野春男, "JPEG2000 による HDTV 動画像符号化の検討;" 2001 信学総大, D-11-18, 2001.
- [6] T. Kuge, "Wavelet picture coding and its several problems of the application to the interlace hdtv and the ultra-high definition images," IEEE Proc. ICIP, p.WA-P2.1, 2002.
- [7] S. Muramatsu, S. Sasaki, Z. Jie, and H. Kikuchi, "Deinterlacing with perfect reconstruction property," Proc. IEICE DSP Symposium, pp.427-432, 2001.
- [8] S. Muramatsu, T. Ishida, and H. Kikuchi, "A design method of invertible de-interlacer with sampling density preservation," IEEE Proc. ICASSP, vol.4, pp.3277-3280, 2002.
- [9] S. Muramatsu, T. Ishida, and H. Kikuchi, "Invertible deinterlacer with sampling-density preservation: Theory and design," IEEE Trans. Signal Process., vol.51, no.9, pp.2343-2356, Sept. 2003.
- [10] H. Kikuchi, S. Muramatsu, T. Ishida, and T. Kuge, "Reversible conversion between interlaced and progressive scan formats and its efficient implementation," Proc. EUSIPCO, 448, 2002.
- [11] 石田拓彦, 村松正吾, 周杰, 佐々木重信, 菊池久和, "完全再構成デインタレース化処理を用いた動画フレーム/フィールド内符号化;" 信学技報, CAS2001-80, 2001.
- [12] Y. Harada, S. Muramatsu, and H. Kiya, "Multidimensional multirate filter and filter bank without checkerboard effect," IEICE Trans. Fundamentals,

- vol.E81-A, no.8, pp.1607–1615, Aug. 1998.
- [13] H. Kiya, K. Nishikawa, and M. Iwahashi, “A development of symmetric extension method for subband image coding,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol.3, no.1, pp.78–81, 1994.
- [14] Cannon, EPFL and Ericsson “<http://jj2000.epfl.ch>,” URL.
(平成 15 年 7 月 29 日受付, 10 月 2 日再受付,
10 月 21 日最終原稿受付)
-