

周辺領域の輝度変化に基づくエッジ適応型 インターレース-プログレッシブ変換法

De-interlacing method based on analyzing local area luminance changes

戸田 真人†
Masato Toda

塚田 正人†
Masato Tsukada

井上 晃†
Akira Inoue

1. はじめに

現在、動画の配信にインターレース方式が多く用いられている。インターレース方式を用いて送信された n フレーム目の画像 $F_m(x, y, n)$ は、元動画の n フレーム目の画像 $F(x, y, n)$ を用いて式(1)のように表される。ただし、 x, y はそれぞれ画像の水平方向の座標と垂直方向の座標を示す。

$$F_m(x, y, n) = \begin{cases} F(x, y, n) & y \bmod 2 = n \bmod 2 \\ \text{null} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

インターレース方式の動画を液晶ディスプレイなどのプログレッシブ方式の表示デバイスで視聴する場合には、 null の画素を補間する必要がある。この補間技術はインターレース-プログレッシブ(IP)変換技術と呼ばれる。

IP変換方法の一つにエッジ適応型補間法がある[1]。エッジ適応型補間法は、補間画素の上下ラインにある固定の探索範囲内の、補間画素と点対称となる画素の組み合わせから、類似度が最も高い組み合わせを選択し、その平均値を補間画素の値と決定する方法であり、補間処理結果の画像 F_{ed} は、次式で表される。

$$F_{ed}(x, y, n) = \begin{cases} F_m(x, y, n) & y \bmod 2 = n \bmod 2 \\ \frac{F_m(x+m, y-1, n) + F_m(x-m, y+1, n)}{2} & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 m は、補間画素毎に決定される値であり、式(3)または式(4)などで表されるコスト関数 $F_{sub}(i)$ が探索範囲($-\phi \leq i \leq \phi$)の中で最小となる時の i の値である。

$$F_{sub}(i) = |F_m(x+i, y-1, n) - F_m(x+i, y+1, n)| \quad (3)$$

$$F_{sub}(i) = \sum_{k=1}^{\phi} |F_m(x+i+k, y-1, n) - F_m(x+i+k, y+1, n)| \quad (4)$$

エッジ適応型補間は、斜め線を高品質に再現できることが知られており、探索範囲を広げることで、より水平方向に近い斜め線を再現することができる。しかし、図1に示すように、探索範囲内に類似した画素値を持つ異なる領域が含まれる場合に、誤った組み合わせを選択してしまうため、補間映像の画質が悪化する問題がある。この問題は、探索範囲を広げるほど発生頻度が高くなる。そのため、適切な探索範囲を設定することが必要となる。

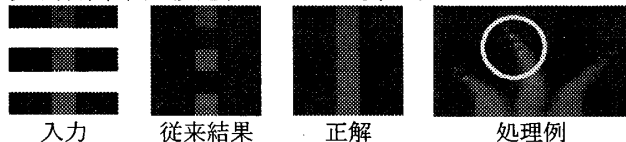


図1 従来エッジ適応型補間の問題点

そこで本稿では、その上下ラインの輝度変化をもとに、補間画素毎に、適切な探索範囲を設定することで、高画質なプログレッシブ映像を生成する手法を提案する。

2. 提案手法

エッジ適応型補間において高画質な補間を実現するためには、補間画素毎に、最適な探索範囲を設定する必要がある。例えば、図2上段の入力に対しては、 $\phi=2$ で適用するとエッジがぼけるが、 $\phi=3$ に広げるとシャープなエッジを再現できる。一方、図2下段の入力に対しては、 $\phi=3$ で適用すると誤った組み合わせが選択されるため、暗い領域が分断されるが、 $\phi=2$ に狭めると領域は分断されない。

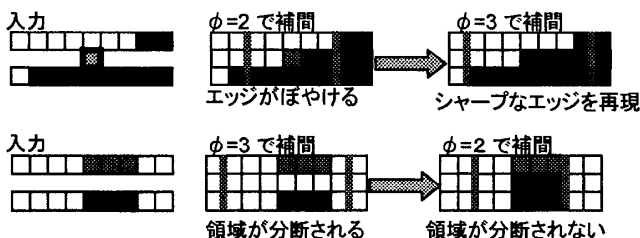


図2 補間画素毎の最適な探索範囲

本研究では、各ラインの輝度変化に着目し、各ラインを増加領域と減少領域という大きなセグメントで分割し、その分割結果をもとに、誤った組み合わせの選択が生じないであろう最大範囲を探索範囲として設定する。増加および減少領域は、類似した画素値を持つ異なる領域を2つ以上持つことがない。そのため、増加および減少領域に分割することで、類似した画素値を持つ異なる領域の分別が可能である。この性質を利用し、増加および減少領域の組み合わせから、ライン間で誤った組み合わせの選択が生じないかどうかを判別する。本稿では、判別に用いる条件として、以下の2つの条件を設定した。

- 各ラインの探索範囲内の輝度変化は、平坦・単調増加・単調減少・上に凸・下に凸の5つのいずれかに分類できる。
- 探索範囲における上下ラインの輝度変化の組み合わせが、図3のように、少なくとも一方が平坦、同一方向に単調増加・減少、同一方向に凸、片方が凸、片方が単調増加・減少のいずれかに当てはまる。

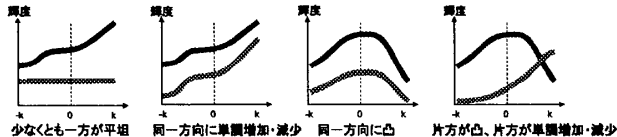


図3 探索範囲内の輝度変化の組み合わせの条件
(青線:上ラインの輝度, 赤線:下ラインの輝度)

次に、注目補間画素の上下各ラインの指定範囲($-1 \sim 1$)における輝度変化の分類(平坦, 単調増加, 単調減少, 上に凸, 下に凸, その他)を行う方法を、以下に示す。

まず、隣接画素間の勾配 $Grad(x, y, n)$ を、画素 $F_m(x, y, n)$

† 日本電気株式会社 NEC Corporation

の輝度値 $Y(x,y,n)$ を用いて、次式のように求める。

$$Grad(x,y,n) = Y(x+1,y,n) - Y(x,y,n) \quad (5)$$

次に、各隣接画素間の勾配について、式(6)のように、その隣接する画素間が平坦・増加・減少のどれに当てはまるかを決定する。

$$InfoGrad(x,y,n) = \begin{cases} Up & (Grad(x,y,n) > Thres) \\ Down & (Grad(x,y,n) < -Thres) \\ Flat & else \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 $Thres$ は、ノイズを考慮するために設定された閾値である。

求められた $InfoGrad$ から、指定範囲の輝度変化を平坦、単調増加、単調減少、上に凸、下に凸、その他のいずれかに分類する。これらは、 $InfoGrad$ の変化を調べることで、容易に分類可能である。また、ある範囲内の輝度変化を分類する際に、同一補間画素の異なる範囲の分類結果や異なる補間画素を中心とした任意の範囲の分類結果を用いることで、高速に算出することもできる。

このようにして求められる分類結果より、条件 α および β を共に満たす最大範囲を、注目補間画素における探索範囲に設定する。

また、図4のように、選択された探索範囲内における輝度変化の分類結果が上または下に凸な場合、 $InfoGrad$ の変化を元に、増加領域と減少領域とに分割し記憶しておく。

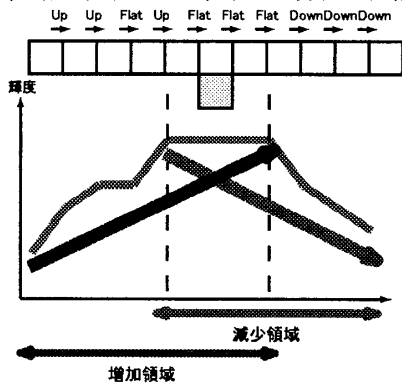


図4 凸領域の分割

最後に、求められた探索範囲を用いて、エッジ適応型補間を行い、補間画像を生成する。この際、マッチングをとる上下画素が、どちらも増加または減少領域内にあればマッチングを行い、異なる領域間マッチングを行わないという制約を課す。

3. 実験による評価

提案手法の有効性を確認するために、同一インターレース画像に対して、垂直線形補間(式(7))、従来のエッジ適応型補間(探索範囲: -4~4)、提案手法の3つの補間手法を用いてプログレッシブ映像を生成し比較した。

$$F_{bob}(x,y,n) = \begin{cases} F_m(x,y,n) & y \bmod 2 = n \bmod 2 \\ \frac{F_m(x,y-1,n) + F_m(x,y+1,n)}{2} & else \end{cases} \quad (7)$$

生成プログレッシブ映像の一部を図5に示す。また、ITE標準映像[2](No.1~3, No.5~7 各900Field)に、3つの補間手法を適用したときのPSNR評価結果を表1に示す。

表1より、提案手法は、従来のエッジ適応型補間法と比較して、PSNR値を約3.5dB改善していることが分かる。

また、図5から分かるように、従来のエッジ適応型補間法は、太い斜め線を高画質に再現できるが、細かい斜め線や細かいテクスチャを再現する際に、欠損画素を生成するため低品質になってしまう。一方、提案手法では、斜め線の再現で一部欠損しているように見える画素が発生するが、斜め線も細かいテクスチャも高画質に再現できている。垂直線形補間法と比較すると、提案手法は、PSNR値で0.6dB程度劣っている。しかし、垂直線形補間は、斜め線に対してギザギザの線が発生させるため、主観画質は低品質といえる。一方、提案手法では、斜め線が高画質に再現できているため、総合的には、本手法の方が優れているといえる。

なお、提案手法による出力画像において、一部欠損しているように見える画素の発生は、入力インターレース映像内のノイズの影響によるものである。前処理としてノイズ低減処理を行うことにより、この発生は抑制できると考えられる。

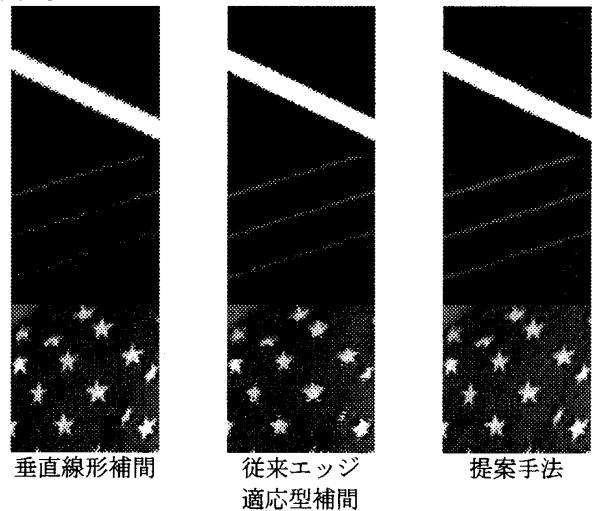


図5 処理結果の一部

表1 PSNR評価結果

	垂直線形補間	従来エッジ適応型補間	提案手法
ite01	36.1 dB	31.7 dB	35.5 dB
ite02	41.1 dB	35.9 dB	40.0 dB
ite03	34.9 dB	30.8 dB	34.3 dB
ite05	34.3 dB	29.2 dB	33.7 dB
ite06	30.7 dB	27.2 dB	30.3 dB
ite07	29.8 dB	26.7 dB	29.7 dB
平均	34.5 dB	30.3 dB	33.9 dB

4. まとめ

本稿では、注目補間画素周辺の輝度変化に基づいて適応的に探索範囲を設定するエッジ適応型IP変換法を提案した。実験の結果、本手法により、斜め線および細かいテクスチャを良好に再現できることを確認した。

参考文献

- [1] "Deinterlacing-an overview", De Haan, G., Bellers, E.B, Proceedings of the IEEE, Volume 86, Issue 9, Sept. 1998 Page(s):1839 - 1857
- [2] ITE, "Standard test sequence for subjective assessment"