

レジストレーション誤差を考慮した超解像処理

Super-Resolution Considering Registration Error

戸田 真人† 塚田 正人† 井上 晃†
Masato Toda Masato Tsukada Akira Inoue

1. はじめに

近年の映像機器の発展に伴い、日常生活の中で映像表示機器の大画面・高解像度化が広まってきている。一方で、これまで撮影・録画された映像は、映像表示機器の解像度に比べて低解像度であるため、高解像度化処理を施す必要がある。

高解像度化処理の一つに、複数の低解像度画像を合成して高解像度画像を生成する超解像処理がある[1][2]。超解像処理は、従来の単一画像の拡大補間処理と比べ解像度感の高い画像を生成できるため注目されている。

超解像処理において、撮影環境や撮影対象のモデル化が可能な場合は、低解像度間の位置合わせ(レジストレーション)を高精度に行えるため、詳細な高解像度画像の生成が可能である[3]。しかし、TV映像などの“一般動画”を扱う場合には、モデル化が困難であり、レジストレーションに誤差が生じる場合がある。この誤差が発生した場合には、生成される高解像度画像に大きなノイズが発生するという問題がある[2]。

本稿では、この問題に対応するために、レジストレーションの信頼性を評価し、信頼性評価値に応じて合成の強さを変化させることにより、ノイズの発生を抑制する超解像処理法を開発・評価したので報告する。

2. 提案手法

本手法の処理の流れを図1に示す。本手法は、レジストレーション処理部と高解像度画像合成処理部の2つの処理から構成される。本手法の特長は、レジストレーション処理部において、動きベクトルの推定と同時にその信頼性評価を行う機能を設け、高解像度画像処理部において、信頼性評価値に応じた重み付け行列を用いて高解像度画像を推定することである。これにより、動きベクトル推定誤差のために生じる生成高解像度画像のノイズを抑制することができる。以下、詳細を述べる。

2.1 レジストレーション

レジストレーション処理部では、はじめに、ブロックマッチング法を用いて、高解像度化する基準となる低解像度画像の各ブロックと他の入力低解像度画像間の動きベクトルの推定をサブピクセル単位で行う。この際、ブロック間の動きベクトルの推定結果の他に、バックマッチング処理[4]結果、対応ブロック間の差分値 $S1$ 、ブロック内の対応画素 $S2$ の差分値を記録する。

次に、これらの結果から各低解像度画像の各画素のレジストレーションの信頼性を以下の5つの観点から評価し、信頼性評価値 $p, q1, q2, r, s$ を算出する。

1. バックマッチング評価

バックマッチングにより、ブロック間の対応関係を

†NEC メディア情報研究所

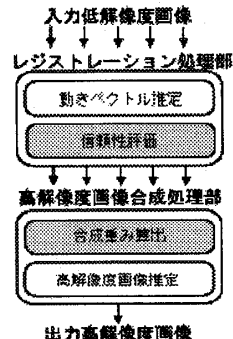


図1. 提案手法の処理の流れ

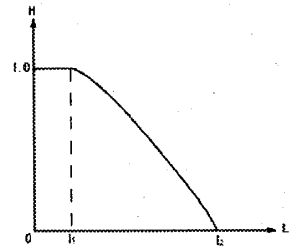


図2. 信頼性評価値算出関数

評価する。対応関係の不一致が検出された場合、バックマッチング評価値 p を $p=0$ 、1対1の対応関係が得られた場合は $p=1$ とする。

2. ブロック間類似度評価

ブロック間の差分値 $S1$ を用いてブロック間の類似度を評価する。 $S1$ が大きい(類似度が小さい)場合にはブロック間類似度評価値 $q1$ を $q1=0$ に近づけ、 $S1$ が小さい(類似度が高い)場合には $q1=1$ に近づける。

3. 画素間類似度評価

画素間の差分値 $S2$ から対応画素間の類似度を評価する。 $S2$ が大きい(類似度が小さい)ときは画素間類似度評価値 $q2$ を $q2=0$ に近づけ、 $S2$ が小さい(類似度が大きい)ときは $q2=1$ に近づける。

4. 動き量評価

注目画素の動きベクトルの大きさ D を用いて撮影対象の変形や画像のブレによる影響を評価する。 D が大きい場合には、動き量評価値 r を $r=0$ に近づけ、 D が小さい場合には $r=1$ に近づける。

5. 時間的距離評価

基準画像と時間的(フレーム間)距離 T を用いて撮影対象の変形による影響を評価する。 T が大きい場合には時間的距離評価値 s を $s=0$ に近づけ、 T が小さい場合には $s=1$ に近づける。

2~5の信頼性評価は、それぞれの評価ごとに定められたパラメータ l_1 と l_2 を用い、評価対象 L ($L \in \{S1, S2, D, T\}$) が l_1 より小さければ1、 l_2 より大きければ0、 l_1 と l_2 の間では単調減少となる関数(図2)を用いて、信頼性評価値を算出する。ただし、パラメータ l_1 および l_2 は、実験的に求めた値で、出力画像のノイズの発生が視認されにくい許容値とノイズが大きく発生する閾値を表す。式(1)に算出式の一列を示す。

$$H = \begin{cases} 1.0 & (L < l_1) \\ \frac{L-l_2}{l_1-l_2} & (l_1 \leq L \leq l_2) \\ 0.0 & (l_2 < L) \end{cases} \left\{ (L, H) \in \left\{ (S1, q1), (D, r), (S2, q2), (T, s) \right\} \right\} \quad (1)$$

なお、高解像度化する基準低解像度画像については、 $p=q1=q2=r=s=1$ である。

2.2 高解像度画像合成

レジストレーション部で算出された信頼性評価値をもとに、 $M \times M$ の重み付け行列 W (M :低解像度画像サイズ)を算出する。信頼性評価値 p, q, r, s は、ノイズの発生しにくさを表し、一つでも低い値をとると出力画像にノイズが発生する。そこで、本手法では、式(2)のように各評価値の積を取ることで W の要素を決定する。ただし、 n は注目画像、 i は画像 n 中の注目画素を示す。

$$W_n(i, j) = \begin{cases} p_n(i)q_n(i)r_n(i)s_n & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \quad (2)$$

本手法では、レジストレーション部で得られた動きベクトル推定結果および重み付け行列 W を元に、式(3)に示す高解像度画像 x を算出する。ただし、 y は入力低解像度画像、 B は位置合わせとダウンサンプリングを表す行列、 $C(\cdot)$ はハイパスフィルタ、 λ は Lagrange 乗数、 n は画像番号を表す。

$$x_{out} = \arg \min_x \left(\sum_n \|W_n(B_n x - y_n)\|^2 + \lambda \|C(x)\|^2 \right) \quad (3)$$

式(3)は、従来の超解像処理法の一つであるMAP推定法[2]を発展させたものである。重み付け行列 W を加えることにより、レジストレーションの信頼性が低い画素が評価に加える影響を小さくし、ノイズの発生を抑制する。

実際の計算処理では、式(4)の繰り返し計算を、 x_{out} の更新量が十分小さくなるまで繰り返す。ただし、 α は定数であり、 $\kappa(\cdot)$ は、 $B^T W$ により決定される関数で高解像度画像の各画素の更新の強さを均一にする。

$$x_{out}^{(k+1)} = x_{out}^{(k)} + \alpha \left(\kappa \left(\sum_n B_n^T W_n (y_n - B_n x_{out}^{(k)}) \right) - \lambda C(x_{out}^{(k)}) \right) \quad (4)$$

3. 実験

本手法の有効性を検証するために、実映像を用いた実験を行った。本実験では、実験映像として、ITE 標準映像[5] (ite03 : 300frame(図3))および PC によりキャプチャした TV 映像 (100frame) (各々VGA サイズ)を用いた。これらの映像を空間平均フィルタを用いダウンサンプリングすることで QVGA サイズの映像を生成し、この QVGA 映像を入力とし、提案手法を用いて VGA 映像を再現した。なお、本実験での超解像処理は、拡大する基準画像とその前後 2 フレームの画像計 5 枚の画像を用い、RGB カラー画像を YCbCr 画像に変換し、Y 成分のみに対し処理を施している。また、比較のために、従来手法である、同一動きベクトル推定結果を用いたMAP推定[2]による超解像処理と、Bi-Cubic 法による拡大補間処理を用いた高解像度画像生成も行った。

実験結果画像の一部を図4に示す。これらの生成高解像度画像を元 VGA 画像との PSNR 評価により評価した。評価結果を表1に示す。

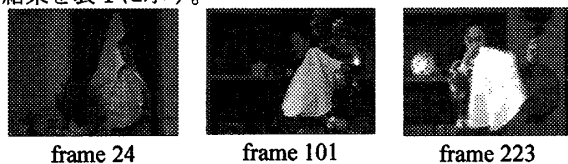


図3. 評価に用いた標準映像

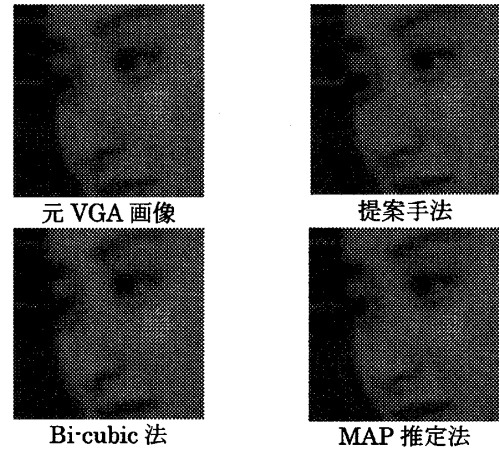


図4. 実験結果の一部の拡大図

表1より、提案手法は、MAP推定法と比較して PSNR 値を約 5dB 改善していることが分かる。これは、同一の動きベクトル推定結果が与えられた時、MAP推定法よりも本手法の方が良好な高解像度画像を出力できることを示している。図4を見ると、MAP推定法で発生しているノイズが、提案手法では抑制されていることが確認できる。また、Bi-cubic法と比較すると、提案手法は同程度の PSNR 値であることが分かる。しかし、Bi-cubic法には、単一画像を補間・拡大しているためノイズは発生しにくいですが、画像全体の解像度感が低いという問題がある。提案手法では、Bi-cubic法と比較し、人物の目・鼻・口などがはっきりとし、十分な解像度感が得られていることが図4により確認できる。

表1. PSNR 評価結果

	提案手法	MAP推定法	Bi-cubic法
TV映像	35.7dB	26.2dB	34.6dB
標準映像	32.9dB	28.9dB	32.9dB
平均	33.6dB	28.2dB	33.3dB

4. おわりに

本稿では、一般動画の高解像度化を目的として、レジストレーションの信頼性評価値に応じた重み付け合成処理を行う超解像処理法を提案した。実験の結果、本手法は、一般動画に対しても、MAP推定法よりノイズが少なく、Bi-cubic法よりも解像度感が高い高解像度化処理を実現できることが分かった。今後の課題は、画質改善とともに処理の高速化である。

参考文献

- [1] S. C. Park and M. K. Park and M. G. Kang, "Super-Resolution Image Reconstruction-A Technical Overview," Signal Processing Magazine, vol.20, no.3, pp.21-36, May 2003.
- [2] D. Capel, "Image Mosaicing and Super-resolution," Springer, 2003.
- [3] 池谷ら, "カメラパラメータ推定による紙面を対象とした超解像ビデオモザイク," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004), 2004.
- [4] 松山隆司, 久野義徳, "コンピュータビジョン: 技術評論と将来展望," 新技術コミュニケーションズ, 1998.
- [5] ITE, "Standard test sequence for subjective assessment"