

エッジの強度と方向に基づく画像内挿手法

佐藤 徹平*¹, 村上 仁己*², 小池 淳*²

Interpolation for Images Using Edge's Strength and Orientation

Teppei SATO*¹, Hitomi MURAKAMI*², Atsushi KOIKE*²

ABSTRACT : Super-resolution is recently one of the most attractive research themes in the field of digital image processing. For example, it is used for high-resolution display, visual sensing, and satellite image processing, etc. An image interpolation method using covariance between neighboring pixels, so called New Edge-Directed Interpolation (NEDI), was been proposed. It enables to interpolate pixels quantitatively regardless of edge features. However, in estimation of predictive coefficients and determination of NEDI's local window size, edge features are not made consideration. So, NEDI cannot necessarily satisfy quality of picture. In order to overcome this problem, we propose a new intra-frame super-resolution method that window sizes are adaptively determined depending on edge strengths and orientations. First, we detect edge and its strength in an image, and set NEDI's applicable area and local window size depending on the detected edge strength. If the detected edge strength is intensive, we set local window size small and set applicable area narrow. Using these features, we estimate predictive coefficients, and interpolate pixels. Experimental simulation shows that the proposed method can interpolate pixels more clearly than NEDI for many kinds of edges. We are going to automate setting interpolation parameters and modify interpolation in non-edge area.

Keywords : super-resolution, intra-frame super-resolution, image interpolation, interpolative prediction

(Received September 21,2011)

1. 序論

低解像度画像から高解像度画像を生成する、いわゆる超解像度技術は、デジタル画像処理技術の分野の中で現在最も注目されている技術の一つである¹⁻⁴⁾。近年では高解像度ディスプレイや、ヴィジュアルセンシング、衛星画像処理などに適用されている。

超解像度技術は、大きく分けて2種類の手法がある。1つめは、1枚の高解像度画像を生成するために、複数枚の画像を用いる複数フレーム超解像、2つめは1フレームの入力画像のみから、そのフレームに対する高解像度画像を生成するフレーム内超解像である。さらに、フレーム内超解像手法は事前学習型や自己合同性を利用す

る手法などに分類されるが、我々は、より適用条件や適用分野が広くデータベースも必要としない手法での超解像を試みた。

本論文では、周囲の画素との共分散を用いて画素を内挿する手法に注目し、従来手法よりもエッジの特性を考慮した手法を提案する。シミュレーション実験を行い、1枚の画像の中に複数種類のエッジが含まれていた場合、提案手法の有効性が認められたため、その結果を示す。

2. 研究背景

超解像度を実現するための手法の一つにフレーム内の画素間の相関を利用する手法が提案されている¹⁾。この手法(New Edge-Directed Interpolation(NEDI))では、画像内のエッジ付近において内挿する画素を周囲との位置関係から、画素間の共分散を用いて予測する手法である。共

*¹ : 理工学研究科理工学専攻修士学生

*² : 情報科学科教授(koike@st.seikei.ac.jp)

分散を用いることで、エッジの特性に関わらず定量的に画素を内挿することを可能としている。

しかしながら、エッジ検出に分散を用いていることから、内挿のため予測係数やウィンドウサイズがエッジの空間的なスケール（強度）を考慮していないため、必ずしも満足できる画像品質を達成していない。

本論文では、エッジ部における空間的な強度を考慮したフレーム内超解像手法を提案する。画像内におけるエッジ部とその強度を検出し、そのエッジ強度に基づいて内挿のためのウィンドウサイズと共分散による画素内挿を適用させる範囲を変更し、より画素の内挿に必要な十分な情報のみを使用し、内挿予測を行う。

3. NEDI

この手法では、低解像画像 $X_{i,j}$ から高解像画像 $Y_{2i,2j}$ を生成するにあたり、高解像画像における画素の共分散 R_{kl} 、 r_k と、低解像画像におけるそれ \hat{R}_{kl} 、 \hat{r}_k が、幾何学的対称性から近似できるとし、内挿したい画素を低解像画像の共分散から予測し内挿する。図1に内挿画素とその周囲の画素との関係を示す。NEDIでは画素の内挿に2つのステップを踏み、1stステップでは、図1において黒く塗りつぶされている点を内挿する。また、白い点は低解像画像の画素である。

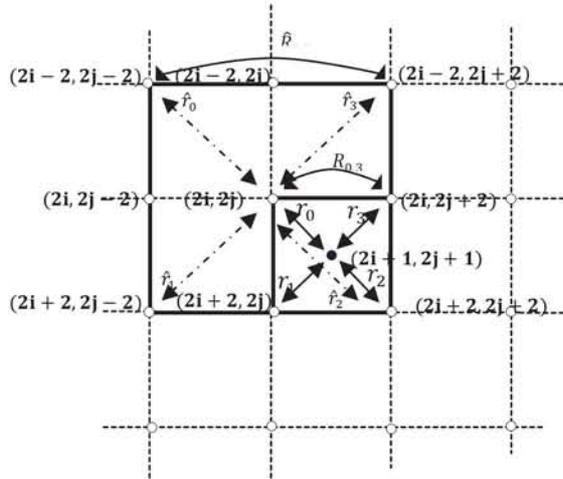


図1 幾何学的対称性 (1stステップ)

はじめに低解像画像 $X_{i,j}$ を、エッジ部とそうではない部分とに判別する。式(1)により注目画素とその4近傍の画素から求めた分散が、あらかじめ設けた閾値を超えた場合にその注目画素をエッジとみなす。

$$s = \sqrt{\frac{1}{4} \left((x_{i-1,j} - x_{i,j})^2 + (x_{i,j-1} - x_{i,j})^2 + (x_{i,j+1} - x_{i,j})^2 + (x_{i+1,j} - x_{i,j})^2 \right)} \quad (1)$$

ここで、 s は分散の値、 $x_{a,b}$ は座標 (a,b) における画素の輝度をそれぞれ示している。

エッジ部とみなされた領域では、まず画素 $Y_{2i+1,2j+1}$ を以下の式(2)により線形補間をする。

$$Y_{2i+1,2j+1} = \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 \alpha_{2k+1} Y_{2(i+k),2(j+l)} \quad (2)$$

ここで、 α は内挿する画素 $Y_{2i+1,2j+1}$ から見た、対角線方向の4近傍の画素の情報をどのように重み付けするか決定する 1×4 のマトリクスである。

ベクトル α は、高解像画像の共分散を用いて、以下の式(3)で表わされる。

$$\vec{\alpha} = R^{-1} \hat{r} \quad (3)$$

また、低解像画像における共分散 \hat{R} 、 \hat{r} は、低解像画像の画素の輝度から、以下の式(4)で表わされる。

$$\hat{R} = \frac{1}{M^2} C^T C, \quad \hat{r} = \frac{1}{M^2} C^T \vec{y} \quad (4)$$

ここで、 $\vec{y} = [y_1 \dots y_k \dots y_{M^2}]^T$ は、 $M \times M$ 個の画素から成るローカルウィンドウ内の画素の輝度情報を集約したデータベクトルである。 C は $4 \times M^2$ のデータマトリクスであり、 k 列目は y_k から見た対角方向の4近傍の画素の輝度値である。

こうして求めた低解像画像の共分散と高解像画像の共分散を近似し、式(4)を式(3)に代入し、以下の式(5)を得る。

$$\vec{\alpha} = (C^T C)^{-1} (C^T \vec{y}) \quad (5)$$

このように求めた予測係数から、式(2)を用いて内挿する画素の値を決定する。

2ndステップでは、予測係数の算出に1stステップで内挿した画素も用いて、1stステップと同様に内挿する。

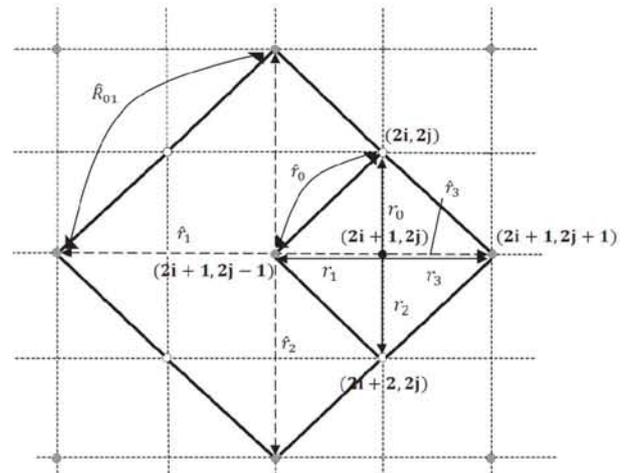


図2 幾何学的対称性 (2ndステップ)

図2において、黒く塗りつぶされている点が 2ndステップで内挿する画素, 灰色の画素が 1stステップで内挿された画素である。

エッジと判別されなかった部分では, α は4つすべての要素に 1/4 が代入され, 1stステップでは対角方向の4近傍と, 2ndステップでは通常の4近傍との間でバイリニア補間される。その概略を図3に示す。

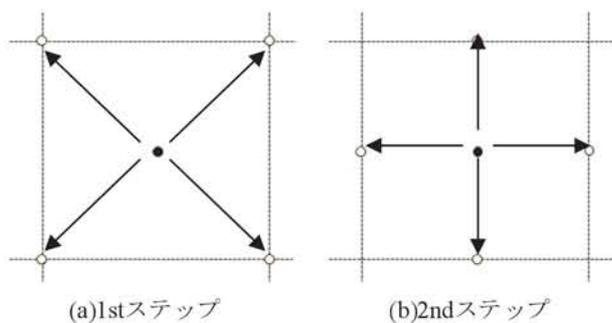


図3 各ステップでのバイリニア補間

この手法では, 検出されたエッジの種類, 強度, 方向などの特性に関わらず, 画像全体に対して同じローカルウィンドウサイズを用いて内挿しているため, 1枚の画像の中に複数種類のエッジがあった場合に, 画素を内挿するときに必要な画素の情報を用いている場合や, 反対に必要な画素の情報を考慮せずに内挿する場合が考えられる。

以下の図4に, 実際に異なる閾値でNEDI処理をした画像を示す。



(a) 閾値 : 4



(b) 閾値 : 10

図4 異なる閾値でのNEDI処理

上の図4 (a) では数字の部分など強いエッジ部では, 下の図4 (b) よりもくっきり内挿できていることが見て取れるが, その他の弱いエッジ部だとノイズが見えており, 閾値が高い画像のほうがスムーズに内挿されているのが見て取れる。

また, エッジ検出の際に4近傍との共分散を用いており, 低解像画像におけるノイズや, 人の見た目ではエッジと判断しないような画素も, エッジとみなされてしまう可能性がある。このため, 内挿画素にノイズや歪が混入される可能性が考えられる。以下の図5にその例を示す。



(a) 入力画像



(b) エッジ検出画像の例

図5 分散によるエッジ検出

図5 (b) のエッジ検出画像において、白く表示されている画素がエッジとして検出された場所である。はっきりとしたエッジ部以外の、本来なめらかにグラデーションをかけたいような肌色などの部分においても、エッジと見なされている様子が見て取れる。こうして検出されたすべての画素において共分散を用いた内挿を行うと、ノイズや歪の原因になるだけでなく、処理時間の浪費の原因にもなると考えられる。

そして、分散を用いたエッジ検出によって検出された平坦部の中のエッジにおいて、NEDIの計算の途中で逆行列を求める段階において、周囲との差分が少ないと、予測係数を正しく求められず、以下の図6に示すような、黒い内挿エラーを生じてしまう。

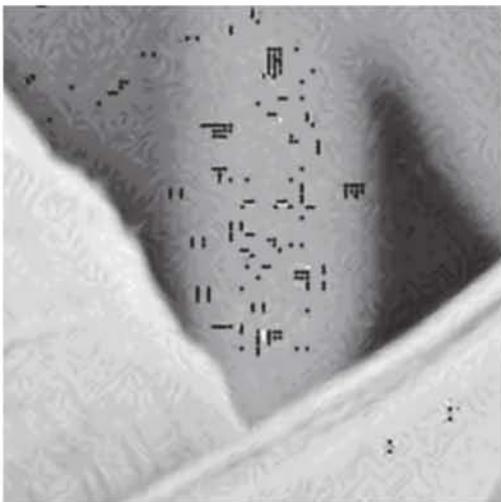


図6 内挿エラーの例

特に、閾値が低い時（4や6など）には多く見受けられる。これは、閾値が低い方が、4近傍との分散が小さくてもエッジと見なされてしまう場合が多く、そのような場合、式(3)(5)における逆行列を正しく求められる可能性が低くなるのが原因だと考えられる。

4. 提案手法

今回我々が提案する手法は、NEDIをベースに、画素の内挿時にそのエッジ特性（強度）を利用して、エッジ付近の内挿に必要な画素の情報のみを使用する。その結果、従来のNEDI手法よりも精度の高い内挿を可能とする。

まずエッジ検出の手法にCanny手法を用い、分散を用いた手法よりも、より人の目目で判断できるエッジを検出する。実際にCannyを用いてエッジ検出をした例を図7に示す。

そして、Canny手法において使用する閾値を変更することで、エッジの強度を同時に検出し、その強度により内挿予測において用いるウィンドウサイズを変更する。エッジの強度が強いときにはウィンドウサイズを小さくし、弱い時にはウィンドウサイズを大きくする。さらに、エッジが強いときには共分散に基づく内挿を適用する範囲も検出されたエッジの位置から近い部分のみにし、反対に弱いときには広い範囲にする（図8）。



図7 Cannyによるエッジ検出例

これでより必要十分な画素を使った内挿が可能となり、それぞれのエッジの特性に合った画素を予測することができる。また、分散を用いたエッジ検出よりも、共分散を用いて内挿予測する画素が極端に減るので、結果的に処理時間の短縮の効果も得る。

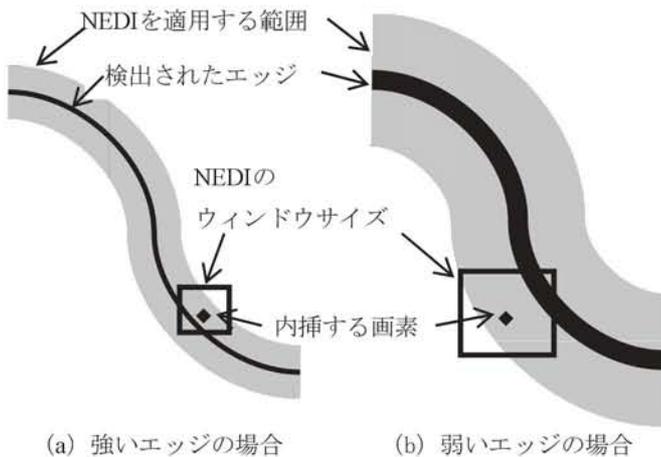


図8 提案手法の概略図

また、閾値が低いときに起こりやすかった内挿エラーについては、共分散を用いて内挿予測をする手法を適用する範囲をエッジ付近に限定しているために、平坦部でのエラーはほとんど無い。しかし、強いエッジ付近で低い閾値を用いている範囲では起こりうるエラーなので、逆行列を正しく求められなかった場合には、例外として共分散を使った予測は用いず、バイリニア補間をすることで、内挿エラーを大幅に減らした。

5. 実験結果

提案手法の有効性を検証することを目的に実画像を用いたシミュレーション実験を行った。実験に用いた画像は、lena。512×512の解像度のYCbCrのカラー画像で、Y成分（輝度）のみを実験に用いた。1画素は8ビットである。プログラムの作成には一部コンピュータビジョンライブラリOpenCV (Ver.2.0)を使用した。作成したプログラムの実行画面例を図9に示す。

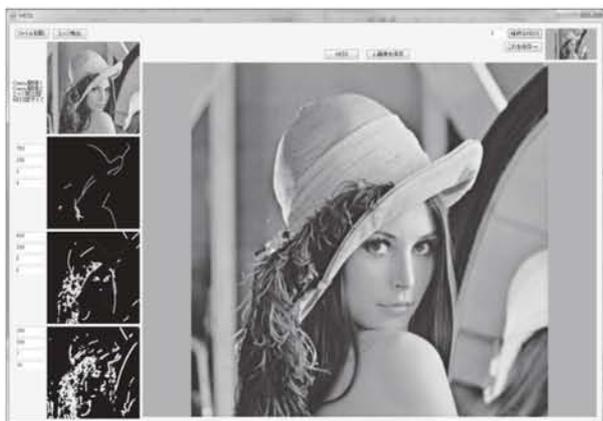
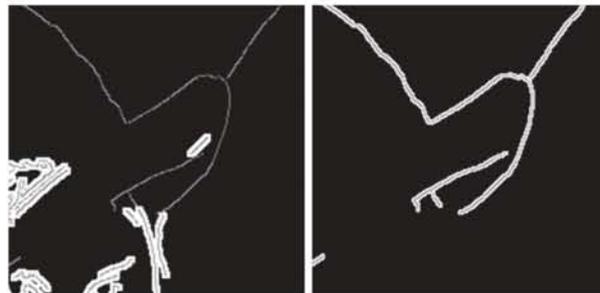


図9 プログラムの実行画面例

画面左側には、入力画像と、検出したエッジと共分散を用いて画素を内挿する範囲を示している。それらの一部を拡大したものを図10に示す。灰色の線が検出したエッジを、その両側を挟んでいる白い領域が、共分散を使った内挿を適用させる範囲をそれぞれ示している。



(a) 閾値：750

(b) 閾値：400



(c) 閾値：200

図10 エッジ強度と共分散適用範囲

図11に、従来手法（NEDI）と提案手法による内挿処理した画像を示す。内挿後の画像の一部を拡大して表示させている。



(a) 従来手法



(b) 提案手法

図 11 内挿画像

提案手法では、強いエッジ部分での内挿には小さなウィンドウサイズを使用しており、エッジ付近におけるノイズが減少し、鮮明になっていることが見て取れる。

また従来手法と比べて、輝度の変化が緩やかなグラデーション部分では、より自然な変化になっていることも確認できる。これは、従来手法ではエッジとして判別されており、画素間の共分散による内挿を適用しているためだが、提案手法ではエッジとして判別されておらず、バイリニア補間を適用しているからである。その結果、提案手法の方がよりなめらかに内挿できたものと考えられる。

6. むすび

本論文では、エッジ部における空間的な強度を考慮したフレーム内超解像手法を提案した。画像内におけるエッジ部を検出し、そのエッジ強度に基づいて内挿のためのウィンドウサイズと予測係数を必要に合わせて組み合わせ、内挿予測を行った。シミュレーション実験を行い、提案手法が従来手法に比べて、内挿画像の品質が改善されることを示した。本内挿実験では、Canny手法によるエッジ検出の際の閾値の設定と内挿予測のためのウィンドウサイズの設定を画像毎にマニュアルで行った。

今後の予定としては、ウィンドウサイズの設定のための閾値などのパラメータの自動設定や、エッジ方向に基づいた方向別のウィンドウの設定などを進める予定である。また、エッジ部以外の平坦部における内挿方法についても、バイリニア手法以外の手法についての検討も予定している。

参考文献

- 1) Li, M. T. Orchard. "New Edge-Directed Interpolation", IEEE Trans. on ImageProcessing, 10:1521-1527, 2001.
- 2) Wing-Shan Tam, Chi-WahKok, Wan-Chi Siu "Modified edge-directed interpolation for images", Journal of Electronic Imaging 19(1), 013011 (Jan-Mar 2010)
- 3) 齊藤隆弘: "サンプリング定理の壁を打ち破る 1 枚の画像からの超解像度オーバーサンプリング", 映像情報メディア学会誌, **62**, 2, pp.181-189 (2008)
- 4) 佐藤徹平,村上仁己,小池淳,「エッジ特性を考慮したハイブリッド画像内挿手法」,FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム, No.I-029, 2011 年 9 月