

エッジ方向に基づく画素内挿の改善

山口 良平*¹, 村上 仁己*², 和田 直哉*³, 小池 淳*⁴

Improvement of Pixel Interpolation Accuracy Based on Edge Direction for High Resolution Imaging

Ryohei YAMAGUCHI*¹, Hitomi MURAKAMI*², Naoya WADA*³, Atsushi KOIKE*⁴

ABSTRACT : In this paper, We propose a new method of pixel interpolation using edge direction to high resolution imaging. In the conventional method, the pixel is interpolated by dividing the processing of the edge and the flat portion. However, the interpolation method in the edge portion was not sufficient. Therefore, when interpolating the pixel, we changing the appropriate direction of the edge to reference the scope of the surrounding pixels. In addition, by eliminating the problems caused by changing the reference range, we will improve the accuracy. We confirm that our method's interpolated pixels improver than conventional method's interpolated pixels by experiment.

Keywords : Pixel Interpolation, Edge Drirection, High Resolution, Low Resolution, Covariance,

(Received March, 2013)

1. はじめに

低解像画像から高解像画像を生成する画素内挿手法は、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。すでに、高解像ディスプレイ、監視カメラ、衛星画像処理などに適用されている。

画素内挿技術は、大きく2種類に分けられる。1つめは、マルチフレーム画素内挿手法である。この手法は、複数枚の画像(マルチフレーム)を用いて1枚の高解像度画像を生成する手法である。2つめは、フレーム内画素内挿手法[5-11]である。この手法は、1枚の画像(フレーム)のみを用いてその画像に対する高解像度画像を生成する手法である。さらに、フレーム内画素内挿手法には、事前に対象とする画像に関する情報を学習しておく学習型や、画像の自己合同性を利用する手法などに分類される。近年は、内挿の信頼度が高い、複数フレーム内挿手法や事前学習型の内挿手法が主に検討されている。

しかし、マルチフレーム画素内挿手法と事前学習型は、適用できる条件が非常に限られている。まず、マルチフレーム画素内挿手法では、微小なズレを持つ画像を複数用意する必要がある。さらに、一般のデジタルカメラで静止画を撮影した場合や単位時間当たりのフレーム数が少なく、フレーム間で対象の動きが大きい場合、特に奥行方向(Z軸方向)に対象が移動した場合など、画像そのものが大きく変化する環境下での適用は、非常に困難である。また、事前学習型では、画像の膨大なデータベースを作成しておく必要があり、学習内容が対象画像と異なる場合は、満足な結果を得ることができない。

そこで、我々は、適用条件が緩やかで利用できる場面が多い、エッジ方向に基づいたフレーム内画素内挿手法[1-5]を検討する。

2. では、研究の背景と目的を簡潔に述べる。3. では、従来手法と手法における問題点と改善すべき点を示す。

4. では、改善手法として、内挿画素のエッジ方向に基づく手法を示す。また、画素内挿のためのエッジ方向の推定精度の改善手法を提案する。5. では、実画像を用いた内挿画素のシミュレーション実験を行い、従来手法に比べて内挿画像の品質が改善されていることを示す。そして、最後に提案手法の問題点と今後改善すべき点をあげる。

*1 : 情報科学科学部学生

*2 : 元情報科学科教授

*3 : 情報科学科助教

*3 : 情報科学科教授 (koike@st.seikei.ac.jp)

2. 研究背景

フレーム内画素内挿手法の1つに、低解像画像における画素間の共分散を用いて内挿する画素値を予測する手法(EDI)が提案されている。共分散を用いる代表的な手法の1つに、NEDI(New Edge-Directed Interpolation)[1-2]手法がある。この手法は、エッジ付近の画素内挿において、内挿画素と周囲の画素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ができる。しかし、内挿のために用いる周囲の画素の選択法がエッジの特性を考慮していないため、必ずしも満足できる画像品質を得ることはできない。これは、エッジの強度や方向に関わらず、同じ大きさのローカルウィンドウ(内挿のために用いる周囲の画素の範囲)を使用しており、エッジの内挿に適した画素が使用されていないためである。

そこで、内挿する画素付近のエッジの特性に合わせて、内挿のために用いる周囲の画素を適用的に選択する手法[3-5]が提案されている。この手法では、検出したエッジの強度と向きに合わせて、適用的にローカルウィンドウを選択する。その結果、そのエッジ強度と方向に基づいて、内挿のために必要十分な画素だけを用いて、内挿予測を行うことができる。しかし、この手法では、選択できるローカルウィンドウの種類が充分でなく、対応できるエッジの種類に限りがあった。

本論文では、従来手法で達成することができなかった種類のエッジに対する画素内挿手法を提案する。従来手法で対応することができなかった種類のエッジ方向の推定とそのエッジに適したローカルウィンドウを選択し、内挿する画素値を予測する。この結果、従来手法で補うことができないエッジ特性に適合した画素の内挿が可能となる。

3. 従来手法と問題点

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、高解像画像の画素の共分散 R_{kl} 、 r_k と、低解像画像の共分散 \hat{R}_{kl} 、 \hat{r}_k が、画素配置の幾何学的対称性から近似できるとする。そして、内挿する画素値を低解像画像の共分散から予測し内挿する。図 3.1 に内挿画素とその周囲の画素との関係を示す。図 3.1 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。そして、黒い実線で囲まれた四角をローカルブロックという。

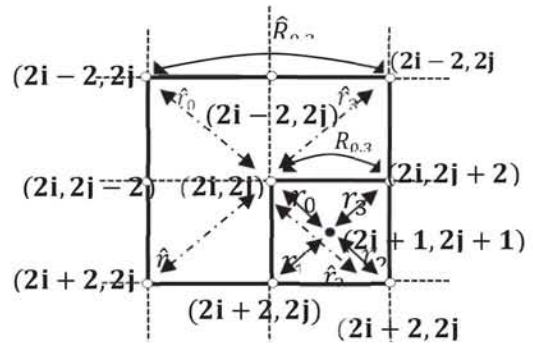


図 3.1 内挿画素と周囲の画素の位置関係

はじめにエッジ検出を行い、エッジ部と平坦部に判別する。この手法のエッジ検出にはCanny手法を用いる。こうすることで、より人の主観に適合したエッジの検出を可能とする。以下の図 3.2 においてCannyでエッジ検出した画像の例を示す。



図 3.2 Canny法によるエッジ検出結果

次にエッジ方向を推定する。推定方法には、内挿する画素の対角方向4近傍の画素を使用する。その対角4近傍の画素の中のエッジピクセルの配置によって、使用するローカルウィンドウを決定する。推定結果は、画素から見て水平、垂直、その他の3パターンである。図 3.3 において4近傍のエッジピクセルの配置の種類を示す。図 3.3 において、3の数字の書いてある丸が内挿画素を表し、1-5の数字は、3から見た対角4近傍の画素を表す。黒くなっている領域が、エッジピクセルである。

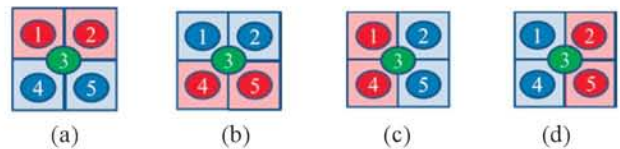


図 3.3 エッジ方向推定のエッジピクセルの配置

図 3.3 において(a)と(b)は、内挿画素から見て水平のエッジが存在すると推定する。また、(c)と(d)は、内挿画素から見て垂直のエッジが存在するとして推定する。水平、垂直のエッジは、ともに対角方向4近傍の画素のうち、隣接する2つの画素のみエッジピクセルだった場合である。上記以外のエッジピクセルの配置は、その他のエッジとして推定する。

次にエッジ部と判断された領域で、画素 $Y_{2i+1,2j+1}$ を以下の式(3.2)により内挿する。NEDIは2つのステップによって画素を内挿する。1st stepでは、図 3.1 において黒く塗りつぶされている点を内挿する。また、白い点は低解像度画像の画素である。

$$Y_{2i+1,2j+1} = \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 \alpha_{2k+1} Y_{2(i+k),2(j+l)} \quad (3.2)$$

式(3.2)においての α は 1×4 のマトリクスで、予測係数と呼ばれる。この予測係数を用いて、内挿する画素 $Y_{2i+1,2j+1}$ の対角の4近傍の画素情報をどのように重み付けするか決定する。

ベクトル α は、高解像度画像の共分散を用いて、以下の式(3.3)で表わされる。

$$\vec{\alpha} = R^{-1} \vec{r} \quad (3.3)$$

また、低解像度画像における共分散 \hat{R} 、 \hat{r} は、低解像度画像の画素の輝度から、以下の式(3.4)で表わされる。

$$\hat{R} = \frac{1}{M^2} C^T C, \quad \hat{r} = \frac{1}{M^2} C^T \vec{y} \quad (3.4)$$

式(3.4)で共分散を求める際、参照する画素の範囲のことをローカルウィンドウという。式(3.4)においての $\vec{y} = [y_1 \dots y_k \dots y_{M^2}]^T$ 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る。Cにおいて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。図 3.4 に内挿する画素とローカルウィンドウ、参照画素について示す。黒い点が、内挿する画素である。黒い実線がローカルウィンドウである。また、式(3.5)に図 3.4 においての参照画素のデータマトリクスCへの格納例を示す。

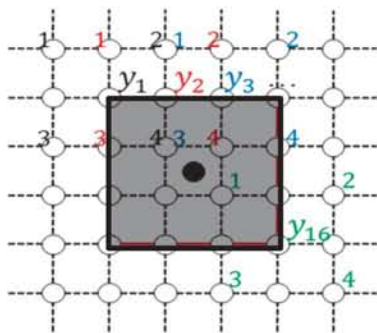


図 3.4 内挿画素とローカルウィンドウ

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ \vdots & & & \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

推定したエッジ方向によって、ローカルウィンドウの形状を変化させる。図 3.5 に水平、垂直方向のエッジに対するローカルウィンドウを示す。白い丸が低解像度画像の画素である。

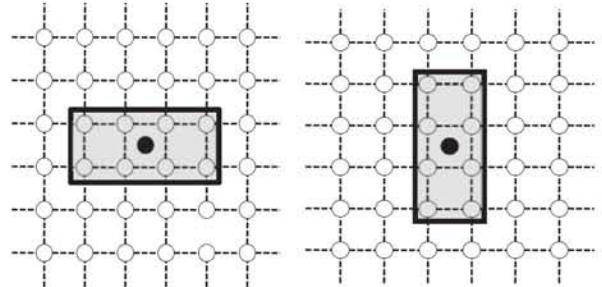


図 3.5 水平と垂直のエッジに対するローカルウィンドウ

そして、求めた低解像度画像の共分散と高解像度画像の共分散を近似し、式(3.4)を式(3.3)に代入し、以下の式(3.6)を得る。

$$\vec{\alpha} = (C^T C)^{-1} (C^T \vec{y}) \quad (3.6)$$

求めた予測係数から、式(3.2)を用いて内挿する画素の値を決定する。これで1st Stepは終わる。次から、2nd Stepについて述べる。

2nd stepでは、予測係数の算出に1st stepで内挿した画素も用いて、画素 $Y_{2i,2j+1}$ と $Y_{2i+1,2j}$ に当たるところを、1st stepと同様に高解像度画像と低解像度画像の共分散から内挿する。図 3.6 に2nd Stepにおいての内挿する画とその周囲の画素との幾何学的対称性を示す。図 3.6 において、黒く塗りつぶされている点が2nd stepで内挿する画素、灰色の画素が1st stepで内挿された画素である。ローカルブロックは、1st stepでの参照範囲を45°左に傾けたものを使用する。

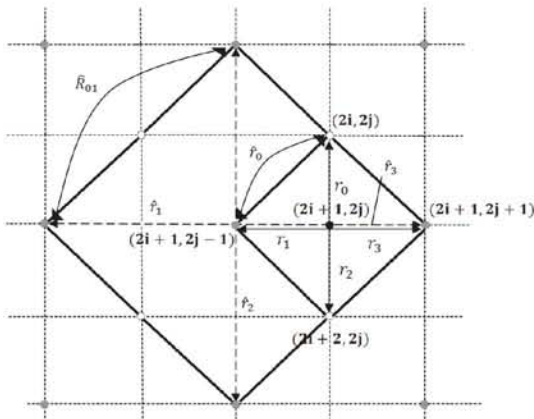


図 3.6 2nd Stepでの内挿画素と周囲の画素の幾何学的対称性

エッジとして判別されなかった平坦部においては、 α は4つすべての要素に1/4が代入され、1st stepでは対角方向の4近傍と、2nd stepでは通常の4近傍との間でバイリニア補間される。図 3.7 に概略を示す。

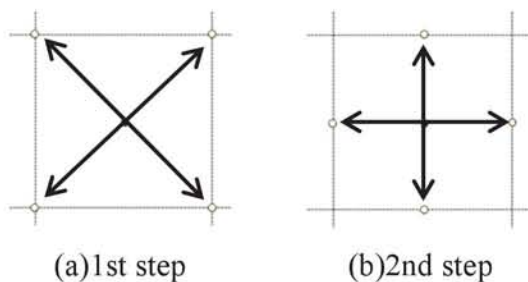


図 3.7 各Stepにおいて平坦部でのバイリニア補間時の画素選択

この従来手法の問題点として、対応するエッジの少なさが挙げられる。水平と垂直では、自然画像に対する適合が十分でなく、画像全体としての品質向上にはまだ及ばない。

また、水平と垂直のローカルウィンドウを追加したことで、従来手法には見られなかった内挿エラーが起こった。その内挿エラー部分の拡大画像を図 3.8 に示す。



図 3.8 従来手法での内挿エラー

この内挿エラーの原因として、エッジ部分でない画素を参照した場合、計算上は相関がなければ予測係数は、0になるはずが、実際の結果では0になっていないことが挙げられる。

提案手法では、斜めのエッジとして45°のエッジに対するエッジ方向の推定方法とローカルウィンドウを提案する。また、エッジ方向推定時の画素参照範囲を広げることで、推定精度を向上させる。

4. 提案手法

まず、内挿時に4近傍の画素でエッジ方向推定を行う。推定結果が水平・垂直など特徴的なエッジである可能性があった場合、ローカルウィンドウに合わせて、エッジ方向推定時に参照する画素の範囲を広げる。これにより、共分散を求める際に参照する画素の範囲に適した正しいエッジ方向を推定することができる。図 5.1 のように、内挿時に対角する4近傍の画素に注目する。その画素の中で隣接する画素(図1では、4番目と5番目の画素)のみエッジピクセルだった場合、その部分に垂直または水平のエッジが存在する可能性があると判断する。次に、水平のエッジが内挿する画素から見て下にある場合は、参照する画素の範囲に合わせて4番目の左側と5番目の右側にエッジ方向推定時の参照範囲を広げ、エッジ方向の推定を行うことで共分散を求める。また、垂直の場合(1番目と4番目や2番目と5番目がエッジピクセルの場合)も同様に、参照する画素の範囲に合わせてエッジ方向推定時の参照範囲を上下に広げ、エッジ方向を推定することで、共分散を求める。

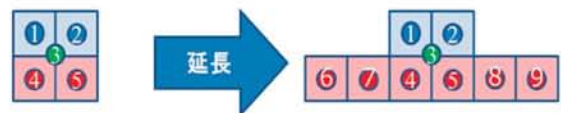


図 4.1 画素参照の延長

次に、45°のエッジに対してエッジ方向の推定方法を追加する。この提案手法では、内挿画素と斜め45°のエッジの位置関係を大きく2つに分類して判別する。1つが、エッジ内部に内挿画素が位置する場合である。もう1つがエッジ付近に内挿画素が位置する場合である。この場合、提案手法では従来手法の内挿画素の対角方向4近傍だけでなく仮定したエッジ方向に参照範囲を延長してエッジ方向の推定を行う。図 4.2-3 にエッジ方向推定において斜め45°のエッジに対する参照範囲を示す。図 4.2 は、エッジ内部に内挿画素が位置する場合を示す。また、図 4.3 にエッジ付近に内挿画素が存在する場合を示す。aが左上、bが右上、cが左下、dが右下にエッジピクセルが存在する場合である。



図 4.2 斜め 45° のエッジの内部に内挿画素が位置する場合

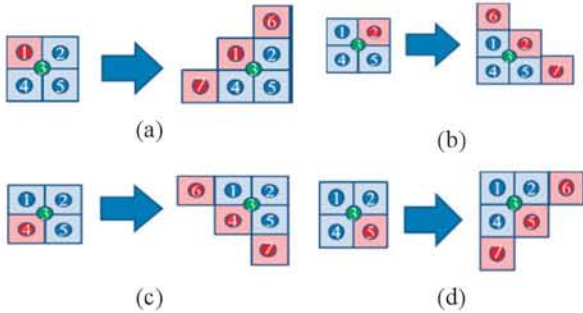


図 4.3 斜め 45° のエッジが内挿画素の周りに位置する場合

図 4.2 において、内挿する画素の 4 近傍のうち対角方向の画素のみがエッジピクセルだった場合そのエッジの方向を 45° と推定する。

図 4.3 において、内挿する画素の 4 近傍のうち 1 つの画素のみがエッジピクセルだった場合そのエッジの方向が 45° と仮定する。さらに、そのエッジピクセルから、仮定した斜めの方向に参照範囲を広げてエッジピクセルの有無を確認し、エッジ方向を推定する。

次に、推定したエッジ方向に合わせてローカルウィンドウを選択する。このとき、選択するローカルウィンドウに斜め 45° のエッジに適合する形を加える。図 5.4 に追加したローカルウィンドウを示す。

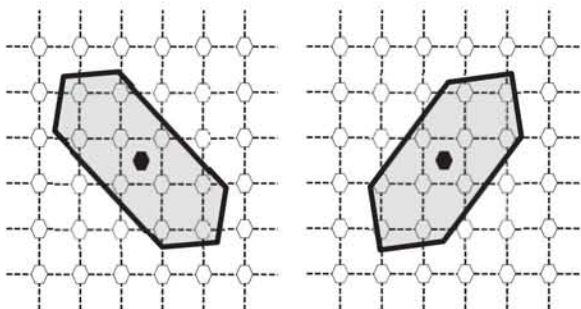


図 4.4 斜め 45° のエッジに対するローカルウィンドウ

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実験を行った。画像は、512×512 の解像度の airplane を使用し、両画像をグレースケールに変換後、実験を行

った。また、図 5.1 に元画像、図 5.2 にエッジ方向の推定精度向上結果(aに従来手法, bに提案手法)、図 5.3 に斜め 45° のエッジに対する内挿処理後の結果(aに従来手法, bに提案手法)を示す。



図 5.1 元画像



(a)

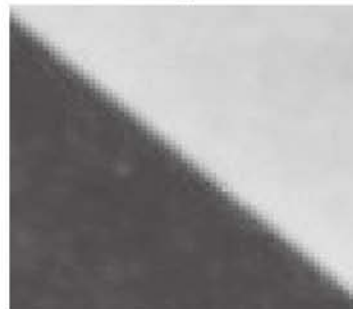


(b)

図 5.2 水平のエッジに対する精度向上



(a)



(b)

図 5.3 斜め 45 度のエッジ部分画素内挿結果

6. 実験結果の考察と今後の課題

図 5.2 のaとbは、飛行機の後ろの機体部分の拡大画像である。提案手法では、画像中心部分の水平エッジの画質が向上していることがわかる。これは、従来手法で水平と判断していたエッジが、参照範囲を広げることで、少し傾いていることが判断できたためである。

図 5.3 のaとbは、飛行機の後ろの羽部分の拡大画像である。左上に向かう斜め 45°のエッジが追加したローカルウィンドウによって、非常に鮮明になっていることが確認できる。領域の境界線が鮮明かつ自然であり、エッジ付近でそれぞれのエッジに適した内挿ができています。これはエッジ方向推定時、エッジ内と判断された内挿画素のローカルウィンドウがエッジに極めて沿っていたためである。結果、そのエッジの要素を多く含むことで、領域の境界線が鮮明になった。

次に、今後の課題として、エッジ方向推定方法も細かいエッジに対して、誤検出が存在したことが挙げられる。そのため、さらなるエッジ方向推定方法の検討が必要である。

また、画像を平坦部とエッジ部としか、区別していなかった。しかし現在、数多くの論文で、「平坦部・テクスチャ部・エッジ部」と3つに分けて処理をされている。本手法でも平坦部と認識されてしまったテクスチャ部は不鮮明にぼやけてしまう。今後、画素内挿において画像品質の向上を目指すためにテクスチャ部の判別手法や内挿手法の検討が必要であると考えます。

さらに、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。しかし、より実用的な技術としては、ウィンドウサイズ設定のための閾値などを定量的に決定することが求められる。エッジの強度と閾値を関連付けるための、何らかの指標が必要になってくる。その選定が重要である。

7. おわりに

本論文では、エッジ特性に基づいた画素内挿手法とその精度向上を提案した。画像内におけるエッジ部を検出し、そのエッジ方向推定の精度を向上させることで、内挿後のエッジ部分の画質が向上した。また、検出したエッジに基づいて内挿のためのローカルウィンドウを適用的に変化させ、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、目的のエッジに対して画素内挿後の画像の画像品質が改善されている

ことを示した。

最後に改善すべき点や残された課題について議論した。今後は、それらの課題を改善し更なる精度向上に努めたい。

参考文献

- [1] X. Li and M.T. Orchard, "New Edge-Directed Interpolation", IEEE Trans. on Image Processing, Vol.10 No.10, pp.1521-7, Oct. 2001.
- [2] N. Asuni, "iNEDI _improved New Edge-Directed Interpolation_," see <http://www.mathworks.co.uk/matlabcentral/fileexchange/13470>
- [3] 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, No1, pp.029, Sept, 2011.
- [4] 佐藤徹平,村上仁己,小池淳,“エッジの強度と方向に基づく画像内挿手法”, 理工学研究報告 J. Fac. Sci. Tech., Seikei Univ. Vol.48 No.2 pp.23-28, 2011.
- [5] T. Sato, H. Murakami, and A. Koike, "Adaptive Image Super-Resolution Method Based on Edge Features", 2012 International Workshop on Advanced Image Technology, pp.108-113 Ho Chi Minh City, Vietnam, Jan.2012.
- [6] J. Allebach and P.W. Wong, "Edge-Directed Interpolation", Proc. of IEEE Int. Conference on Image Processing (ICIP 1996), vol.2, pp.707-710, Sept. 1996, Switzerland.
- [7] W. S. Tam, "Modified Edge-Directed Interpolation" Journal of Electronic Imaging. Vol.19 Jan-Mar. 2010.
- [8] W. S. Tam, C. W. Kok, and W. C. Siu, "A modified edge directed interpolation for images," Proc. Europ. Signal Process. Conf. EUSIPCO, pp.283-287, Agst. 2009.
- [9] M. Li and T. Q. Nguyen, "Markov random field model-based edgedirected image interpolation," IEEE Trans. Image Process. 17th, pp.1121-1128 2008.
- [10] C. S. Wong, W. C. Siu "Adaptive Directional Window Selection for Edge Directed Interpolation", Computer Communications and Networks (ICCCN), 2010 Proceedings of 19th International Conference ,pp.2-5, August.2010.
- [11] C. S. Wong, W. C. Siu "Further Improved Edge-Directed Interpolation and Fast EDI for SDTV to HDTV Conversion", 18th European Signal Processing Conference EUSIPCO-2010 pp.23-27 August. 2010.