輝度値のヒストグラムによる領域分割に基づく画像高解像度化手法

Super-Resolution Based on Segmentation of Histogram of Image Intensity Data

今村 弘樹[†], 藤村 誠[†], 正会員 黒田 英夫^{††}

Hiroki Imamura[†], Makoto Fujimura[†] and Hideo Kuroda^{††}

Abstract Conventional super-resolution causes ringings, block-noise and point artifacts. To prevent this, we propose the use of a super-resolution method that is based on segmentation using histogram of image intensity data.

キーワード：ヒストグラム，領域分割，画像高解像度化

1. ま え が き

静止画像（以下，単に画像と呼ぶ）を拡大する場合，一般に線形補間法，3 次スプライン法が用いられる⁶⁾。しかし，これらの手法により画像を拡大した場合，高周波成分が欠落し，ぼけた画像となる。

鮮明な高解像度画像を得る手法として，画像の高解像度化法が幾つか提案されている^{1)~8)}。これらの手法は，複数枚の画像を用いる手法¹⁾²⁾と高解像度化する画像のみを用いる手法^{3)~8)}の二つに大別できる。まず，複数枚の画像を用いる手法¹⁾²⁾は，学習により，低解像度画像と高解像度画像の関係を得て，その関係に基づき低解像度画像を高解像度化する手法である。学習した低解像度画像と高解像度画像の関係が，適用する低解像度画像と，その高解像度画像の関係と相関が高ければ，高解像度画像を高精度に推定できるが，逆に，その相関が低ければ，高解像度画像の推定精度が著しく低下する特徴がある。次に，高解像度化する画像のみを用いる手法^{3)~8)}は，高解像度化する画像を DCT 係数³⁾⁴⁾，ウェーブレット係数⁵⁾⁴⁾，ラプラシアンピラミッド⁷⁾⁸⁾の成分に分解し，低周波成分から高周波成分を生成，強調を行うことにより，高解像度画像の推定を行う手法である。これらの手法は，低周波成分から高周波成分の生成，強調を行うために，リングングやブロック状

のノイズの発生，平坦部においてノイズが強調されるなどの課題がある。

著者らは，高解像度化する画像のみを用いる手法における課題を解決するための新たなアプローチとして，高解像度画像拘束超平面と多項式近似による局所画像超曲面に基づく画像の高解像度化手法を提案した⁹⁾。この手法は，周波数解析を用いないため，リングングやブロック状のノイズの発生，平坦部においてノイズが強調されるなどの課題は解決できた。しかし，高解像度化する画像を高解像度化する画像サイズに間引き，間引いた箇所の輝度値を多項式近似により推定するために，点状のアーチファクトが生じるという課題が残った。

本研究では，高解像度化する画像のみを用いる手法における従来手法の課題を解決するために，輝度値のヒストグラムによる領域分割に基づく画像高解像度化手法を提案する。この提案手法は，まず，3 次スプライン関数により，画像を拡大する。次に，拡大した画像に対して輝度値のヒストグラムに基づく領域分割を行う。最後に，各領域の周辺領域の輝度値を領域内部の輝度値から最小二乗近似により推定する。この手法は，周波数解析を用いたり，高解像度化する画像を高解像度化する画像サイズに間引き，間引いた箇所の輝度値を多項式近似により推定するのではなく，高周波成分が多く含まれる各領域の周辺領域の輝度値を各領域内部の輝度値から最小 2 乗近似により推定する。これにより，従来手法における課題が解決できることが期待できる。

2. 提案手法のアルゴリズム

提案手法の処理全体の流れを図 1 に示す。以下，各処理について詳述する。

2007 年 12 月 10 日受付，2008 年 3 月 11 日再受付，2008 年 4 月 2 日採録

[†]長崎大学 工学部 情報システム工学科

(〒 852-8521 長崎市文教町 1-14, TEL 095-819-2574)

^{††}長崎大学 大学院 生産科学研究科

(〒 852-8521 長崎市文教町 1-14, TEL 095-819-2574)

[†]Dept. of Computer and Information Sciences, Nagasaki University (1-14, Bunkyo-mach, Nagasaki City, 852-8521)

^{††}Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University (1-14, Bunkyo-mach, Nagasaki City, 852-8521)

図 1 提案手法の処理の流れ
Flow of the proposed method.

図 2 3 次スプライン関数による画像の拡大
Expansion of an image by cubic spline function.

2.1 STEP1:3 次スプライン関数による画像の拡大

ここでは、高解像度化する画像を高解像度化画像のサイズに 3 次スプライン関数より拡大する。ただし、入力となる高解像度化する画像の横・縦のサイズをそれぞれ X, Y とし、高解像度化画像の横・縦のサイズをそれぞれ XN, YN とする。つまり、高解像度化する画像の横・縦それぞれ N 倍の高解像度化画像を得るものとする。まず、図 2 に示すように、高解像度化する画像の輝度値を $N-1$ 画素間隔で配置した画像 *EXPAND* を生成する。なお、*EXPAND* において輝度値が不定の画素は、 -1 を割当てておく。次に、*EXPAND* において輝度値が決定している画素の輝度値を用いて輝度値が不定の画素における輝度値を 3 次スプライン関数により算出する⁶⁾ ことにより拡大画像 *SPLINE_EXP* を生成する。

2.2 STEP2:輝度値のヒストグラムに基づく領域分割

ここでは、3 次スプライン関数による画像の拡大処理により生成した拡大画像に対して、輝度値のヒストグラムに基づく領域分割を行う。この処理では、ヒストグラムの峰の数が未知である場合でも良好にヒストグラムの峰毎のクラスタリングが可能な画像の領域分解手法¹⁰⁾ を用いることとする。ここでは、領域分割した領域毎にそれぞれ異なる

図 3 文献¹⁰⁾ の手法による領域分割例
An example of image segmentation by the method in¹⁰⁾.

るラベル値を付けることとする。文献¹⁰⁾ の手法で図 7 の Airplane の矩形領域に対して領域分割した例を図 3 に示す。ここでは、各領域毎にラベリングした画像を l とする。ただし、 l の横・縦のサイズはそれぞれ XN, YN とする (図 4(a)).

2.3 STEP3:各領域ごとの輝度値推定領域の設定

3 次スプライン関数による画像の拡大処理により、高解像度化画像と同じサイズの画像は生成できたが、各領域の周辺部における高周波成分が失われているため、ぼけた画像となる。本手法は、各領域の周辺部における輝度値を各領域内部の輝度値を用いて推定する。各領域の周辺部における輝度値を推定する領域を輝度値推定領域と呼ぶこととする。ここでは、以下のアルゴリズムに従い、輝度値推定領域の設定を行う。ただし、以下のアルゴリズムにおける $l(x, y)$ は、画素 (x, y) における領域のラベル値、 $e(x, y)$ は、画素 (x, y) における輝度値推定領域のラベル値、 $l_edge(x, y)$ は、画素 (x, y) における各領域のエッジのラベル値をそれぞれ表す。なお、 e, l_edge は、横・縦、それぞれ XN, YN のサイズで、値を 0 に初期化しておく。

1. $l_c = 1$ とする。

2. l を走査する。もし、 $l(x, y) = l_c$ 、かつ、 $l(x, y)$ が l_c の領域におけるエッジ $((x, y)$ の 1 近傍に異なるラベル値が存在する) ならば、 $l_edge(x, y) = l_c$ とする。

3. $l_c = l_c + 1$ とする。

4. もし、 l_c が l のラベルの最大値より大きいならば、5. へ、そうでなければ、2. へ。

5. $l_c = 1$, $end_flag = 0$

6. l_edge を走査する。もし、 $l_edge(x, y) = l_c$ 、または、 $e(i, j) (i, j \in \{(x, y) \text{ の 1 近傍 } \}) \neq 0$ ならば、 $e(x, y) = l_c$ とする。ここで、 $l_edge(x, y) = 0$ 、かつ、 $EXPAND(x, y) \neq -1$ ならば、 $end_flag = 1$ とする。

7. $end_flag \neq 0$ ならば、8. へ。そうでなければ、6. へ。

8. $l_c = l_c + 1$, $end_flag = 0$ とする。

9. もし、 l_c が l のラベル値の最大値よりも大きければ、10. へ。そうでなければ、6. へ。

10. アルゴリズム終了。

以上の処理により、 l_edge, e を決定する (図 4(b), (c)). な

図 4 輝度値推定領域と基準点抽出のための各画像の模式図
Figures of images for extraction of intensity estimation region and criterion points.

お、アルゴリズム中の *end_flag* は、輝度値推定領域抽出処理の終了判定用のフラグとする。

2.4 STEP4:最小 2 乗法に基づく輝度値推定領域における輝度値の推定

(1) STEP4.1:各領域における基準点の抽出

輝度値推定領域の輝度値を推定するために、まず、各領域における基準点を以下のアルゴリズムにより抽出する。なお、*e_edge*、*e_points* は、横・縦、それぞれ XN 、 YN のサイズで、値を 0 に初期化しておく。

1. $l_c=1$ とする。
2. e を走査する。もし、 $e(x,y)=l_c$ 、かつ、 $e(x,y)$ が l_c の領域におけるエッジ ($e(x,y)$ の 1 近傍に異なるラベル値が存在する) ならば、 $e_edge(x,y)=l_c$ とする。
3. $l_c=l_c+1$ とする。
4. もし、 l_c が l のラベル値の最大値よりも大きければ、5. へ。そうでなければ、2. へ。
5. $l_c=1$ とする。
6. e_edge を走査する。もし、 $e_edge(x,y)=l_c$ 、かつ、 $l_edge(x,y)=0$ ならば、 $e_points=l_c$ とする。
7. $l_c=l_c+1$ とする。
8. もし、 l_c が l のラベル値の最大値よりも大きければ、9. へ。そうでなければ、6. へ。
9. アルゴリズム終了。

図 5 輝度値推定領域の画素に対する基準点とサンプルデータ取得領域
A criterion point and a sample data acquisition region for a point in intensity estimation region.

図 6 サンプルデータ探索領域とサンプルデータ取得領域
A sample data searching region and a sample data acquisition region.

へ。そうでなければ、6. へ。

9. アルゴリズム終了。

以上の処理により、*e_edge*、*e_points* を決定する (図 4(d),(e))。

(2) STEP4.2:最小 2 乗法に基づく輝度値推定領域における輝度値の推定

ここでは、以下のアルゴリズムにより、輝度値推定領域における輝度値を推定する。

1. $l_c=1$ とする。
2. e を走査する。もし、 $e(x,y)=l_c$ ならば、3. へ。
3. (I):輝度値推定領域内における点から最短距離の基準点を抽出。
4. (II):抽出した基準点におけるサンプルデータ取得領域の決定。
5. (III):輝度値推定領域内における点の輝度値の推定。
6. $l_c=l_c+1$ とする。
7. もし、 l_c が l のラベル値の最大値よりも大きければ、8. へ。そうでなければ、2. へ。
8. アルゴリズム終了。

以下では、STEP4.2のアルゴリズムにおける各処理 (I)～(III) を詳述する。

(I):輝度値推定領域内における点から最短距離の基準点を抽出

次の式

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \arg \min_{\substack{x, y \in \text{ImgR} \\ e_edge(x, y) = l_c}} \|(x_a, y_a) - (x, y)\| \quad (1)$$

を満たす基準点 $(\hat{x}, \hat{y})$ を抽出する (5). ただし, ImgR は, 基準点探索範囲を表し, (x_a, y_a) を中心とする $(2N+1) \times (2N+1)$ サイズの領域とする. (x_a, y_a) は, 輝度値推定領域内における輝度値を推定する画素の座標とする. なお, 基準点探索範囲内で $(\hat{x}, \hat{y})$ が抽出できなければ, 次の式

$$(x', y') = \arg \min_{\substack{x, y \in \text{ImgR} \\ \text{EXPAND}(x, y) \neq 0}} \|(x_a, y_a) - (x, y)\| \quad (2)$$

を満たす点を抽出し, $I_{sr}(x_a, y_a) = \text{EXPAND}(x', y')$ とし, STEP4.2 のアルゴリズムの 6. へ. ただし, I_{sr} は最終的に得られる高解像度画像を表す. なお, I_{sr} の輝度値は初期値として -1 としておく.

(II):抽出した基準点におけるサンプルデータ取得領域の決定

(x_a, y_a) における輝度値を推定するためのサンプルデータを取得する. そのために, まず, 図 6 に示す $(\hat{x}, \hat{y})$ を中心とする濃い網を掛けた 5×5 の領域を設定する. この領域をサンプルデータ探索領域とする. サンプルデータ探索領域内に, さらに図 6 に示す薄い網を掛けた 2×2 の領域を設定する. この領域をサンプルデータ取得領域の候補とする. 以下に示すアルゴリズムに従い, (x_a, y_a) における輝度値を推定するためのサンプルデータ取得領域を決定する.

4.1. 2×2 の領域内の左上端の点における座標を (m, n) とし, サンプルデータ探索領域の左上端の点に合わせる.

4.2. 2×2 の領域内を走査する. もし, すべての画素で $e(x, y) = 0$, かつ, $l(\hat{x}, \hat{y}) = l(x, y)$ を満たす場合, 注目している 2×2 の領域をサンプルデータ取得領域の i 番目の候補 $R(i)$ とし, $i = i + 1$ とする.

4.3. 2×2 の領域がサンプルデータ探索領域内に収まるように, m, n に関してサンプルデータ探索領域内を走査する. 走査が終了したら, 4.4. へ. そうでなければ, 4.2. へ.

4.4. (x_a, y_a) における輝度値を推定するためのサンプルデータ取得領域は, 次式を満たす i 番目の領域 $R(i)$ とする.

$$R(i) = \arg \min_{1 \leq i \leq i_{max}} \|(x_a, y_a) - (x_{min}^{(i)}, y_{min}^{(i)})\| \quad (3)$$

ただし, $(x_{min}^{(i)}, y_{min}^{(i)})$ は, i 番目のサンプルデータ取得領域の候補において, (x_a, y_a) に対して最短距離となる座標を表し, i_{max} は, i の最大値を表す.

なお, サンプルデータ取得領域の候補を見つけることができなかった場合, 次の式

$$(x', y') = \arg \min_{\substack{x, y \in \text{ImgR} \\ \text{EXPAND}(x, y) \neq 0}} \|(x_a, y_a) - (x, y)\|$$

表 1 従来手法と本手法の各パラメータ値
Each parameter value in the conventional methods and the proposed method.

手法	パラメータ									
	BS	a	T	N	PO	CN	D	IT	MS	AL
DCT	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LP	-	3	10	-	-	-	-	-	-	-
POLY	-	-	-	8	2	2	4	3	1	-
Prop.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5

(4)

を満たす点を抽出し, $I_{sr}(x_a, y_a) = \text{EXPAND}(x', y')$ とし, アルゴリズムの 6. へ.

(III):輝度値推定領域内における点の輝度値の推定

ここでは, $R(i)$ におけるサンプルデータに対して, x, y に関する線形関数

$$I(x, y) = ax + by + c \quad (5)$$

を最小 2 乗法により, フィットングさせ, 輝度値推定領域内の (x_a, y_a) における輝度値 $I_{sr}(x_a, y_a)$ を推定する (図 5). そのために, ラスタスキャン順に従って, サンプルデータ取得領域における各画素 (x, y) とその輝度値 $I(x, y)$ を要素とする行列とベクトル,

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & 1 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} I(x_1, y_1) \\ I(x_2, y_2) \\ I(x_3, y_3) \\ I(x_4, y_4) \end{pmatrix} \quad (6)$$

を生成する. さらに, 式 (5) における係数をベクトルとして,

$$x = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (7)$$

と設定する. 以下のように最小 2 乗法を用いて, 係数のベクトルを決定する.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (8)$$

式 (8) によって求めた x の各要素を式 (5) に代入して $I_{sr}(x_a, y_a)$ を求める. 最後に, $I_{sr}(x, y)$ を走査し, $I_{sr}(x, y) = -1$ となる画素の輝度値は, $\text{SPLINE_EXP}(x, y)$ の輝度値で置き換え, 最終的な高解像度画像 I_{sr} を得る.

3. 実験

提案手法の有効性を評価するために, 従来手法と提案手法の高解像度画像推定精度の比較実験を行った. 比較に用いる手法は, 解像度化する画像のみを用いる手法において代表的な, DCT 係数に基づく手法⁴⁾, ウェーブレット係数に基づく手法⁴⁾, ラプラシアンピラミッドに基づく手法⁷⁾, 多項式近似に基づく手法⁹⁾ とした. 高解像度化する画像は, それぞれの画像サイズは 512×512 [pixel], 画像の階調

図 7 原画像 (512×512[pixel])
The original images (512×512[pixel]).

は 8[bit/pixel] の RGB カラー画像である Airplane, Barbara, Lenna, Mandrill, Peppers, Sailboat の 6 種類 (図 7) を原画像とし、原画像を 1 画素おきにサンプリングした画像 (256×256[pixel]) とした。ここでは、各手法において、R, G, B 成分それぞれに対して処理を行い、最後に、推定した R, G, B の値に基づき高解像度画像を生成した。従来手法と本手法のパラメータは、予備実験により、PSNR が最良になるように表 1 のように決定した。ただし、表中の DCT は、DCT 係数に基づく手法、WT は、ウェーブレット係数に基づく手法、LP は、ラプラシアンピラミッドに基づく手法、POLY は、多項式近似に基づく手法、Prop. は、提案手法を表す。また、BS は、DCT 係数に基づく手法におけるブロックサイズ、 a , T は、ラプラシアンピラミッドに基づく手法における、それぞれ高周波強調定数とその閾値、 N は、局所画像ベクトルのサイズ、 PO は、多項式の次数、 CN は、多項式近似の際の r 軸上で上限値、および、下限値、 D は、 a を求める際の方向数、 IT は、繰り返し計算回数、 MS は、不定画素のメディアンを求める際の近傍領域の近傍の数、 AL は、提案手法で用いている領域分割手法におけるパラメータ α を表す。

まず、従来手法と提案手法による定性的な実験結果を示す。図 8 に、図 7 における Airplane 中央の矩形領域内の各手法による定性的な結果を示す。DCT に基づく手法では、文字や機体の縁の平坦な部分にリングングが発生して

図 8 (a) 図 7 における Airplane の矩形領域における画像、(b) サンプリングした画像中の (a) の領域における画像、(c) DCT に基づく手法により推定した高解像度画像、(d) ウェーブレット係数に基づく手法により推定した高解像度画像、(e) ラプラシアンピラミッドに基づく手法により推定した高解像度画像、(f) 多項式近似に基づく手法により推定した高解像度画像、(g) 提案手法により推定した高解像度画像。

(a): The image of the rectangle region in Airplane in Fig.7, (b): The sampled image of the rectangle region in (a), (c): The estimated high resolution image by the method based on DCT, (d): The estimated high resolution image by the method based on Wavelet coefficients, (e): The estimated high resolution image by the method based on Laplacian pyramid, (f): The estimated high resolution image by the method based on polynomials, (g): The estimated high resolution image by the proposed method.

いることがわかる。また、ブロックノイズも発生していることがわかる (図 8(c))。ウェーブレット係数に基づく手法では、ブロック状のノイズが発生していることがわかる (図 8(d))。ラプラシアンピラミッドに基づく手法では、エッジ部での輝度値のオーバーシュートが生じていることがわかる (図 8(e))。また、多項式近似に基づく手法では、点状のアーチファクトが生じていることがわかる (図 8(f))。これに対

表 2 各手法の各画像における $PSNR$
 $PSNR$ of each method in each image.

画像名	手法					
	DCT	WT	LP	POLY	Prop.	CS
Airppane	27.56	26.83	26.59	28.00	28.16	26.37
Barbara	23.14	22.52	24.54	25.17	24.21	22.27
Lenna	29.48	28.65	27.44	30.99	31.24	27.11
Mandrill	20.50	19.98	21.93	21.65	21.18	21.14
Peppers	25.87	25.01	26.40	26.13	26.85	24.08
Sailboat	25.59	24.81	25.55	26.37	26.70	24.65

し、本手法は、従来手法に対して、比較的良好な結果が得られたと考える。他の画像においても同様な結果が得られた。(図 8(g)).

次に定量的な実験結果を示す。従来手法と本手法における高解像度画像推定精度を定量的に評価するために、画質評価で一般に用いられている

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} [\text{dB}] \quad (9)$$

を用いた。ただし、(9) 式の MSE は、

$$MSE = \frac{1}{3XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y \{ |I_{Re}(x,y) - I_{Ro}(x,y)|^2 + |I_{Ge}(x,y) - I_{Go}(x,y)|^2 + |I_{Be}(x,y) - I_{Bo}(x,y)|^2 \} \quad (10)$$

を表す。ただし、 $I_{Re}(x,y)$, $I_{Ge}(x,y)$, $I_{Be}(x,y)$ は、それぞれ、原画像を 1 画素おきにサンプリングした画像に対して、各手法により高解像度化した画像の座標 (x,y) における R , G , B それぞれの輝度値を表し、 $I_{Ro}(x,y)$, $I_{Go}(x,y)$, $I_{Bo}(x,y)$ は、それぞれ、原画像の座標 (x,y) における R , G , B 輝度値を表す。また、 X , Y はそれぞれ画像の x , y 方向のサイズを表す。実験結果を表 2 に示す。ただし、表中の DCT は DCT 係数に基づく手法、WT はウェーブレット係数に基づく手法、LP はラプラシアンピラミッドに基づく手法、POLY は多項式近似に基づく手法、Prop. は提案手法、CS は 3 次スプライン関数による手法を表す。実験結果から、提案手法は、他の手法に比べ、比較的良好な結果が得られた。ただし、Barbara と Mandrill において、LP, POLY の $PSNR$ が若干上回っているが、いずれも 1[dB] 以内に収まっている。以上より、提案手法は、比較的良好な $PSNR$ を得られ、かつ、リングング、ブロックノイズ、オーバシュートや点状のアーチファクトの生じることなく、画像を高解像度化できる手法であると考えられる。

4. む す び

リングング、ブロックノイズ、オーバシュートや点状のアーチファクトが生じる従来の画像高解像度手法の課題を解決するために、輝度値のヒストグラムによる領域分割に基づく画像高解像度化手法を提案した。提案手法の有効性を

評価するために、6 種類の画像に対して、従来手法と提案手法の画像高解像度化の精度の比較実験を行った。実験結果から、提案手法は、比較的良好な $PSNR$ を得られ、かつ、リングング、ブロックノイズ、オーバシュートや点状のアーチファクトの生じることなく、画像を高解像度化できた。今後は、今回提案した手法を動画画像の高解像度化に適用し、その有効性を検討していきたいと考えている。その際に計算量の増大が考えられるが分散処理により、計算量の軽減を行うことが可能であると考えられる。

〔文 献〕

- 1) W. T. Freeman, E. C. Pasztor and O.T. Carmichael, "Learning low-level vision," Int'l J. Computer Vision, 40, 1, pp.25-47 (2000)
- 2) S. Baker and T. Kanade, "Limits on super-resolution and how to break them," Proc. of Int. Conf. on CVPR, II, pp.372-379 (2000)
- 3) 新堀英二, 高木幹雄, "DCT を用いた Gerchberg-Papoulis の反復法を適用した高画質画像拡大," 信学論, J76-D-II, 9, pp.1932-1940 (1993)
- 4) 酒井幸市, "Visual Basic & Visual C++ によるデジタル画像処理入門," CQ 出版社 (2004)
- 5) 田中章, 今井英幸, 宮腰政明, 伊達淳, "多重解像度解析を用いたデジタル画像の拡大," 信学論, J79-D-II, 5, pp.819-825 (1996)
- 6) Y. Zhu, S. C. Schwartz and M. T. Orchard, "Wavelet Domain Image Interpolation via Statistical Estimation," Proc. of Int. Conf. on ICIP, III, pp.840-843 (2001)
- 7) D. Greenspan and H. C. Anderson, "Image Enhancement by Non-Linear Extrapolation in Frequency Space," Proc. of Int. Conf. on SPIE, 2182, Image and Video Processing II, pp.2-13 (1994)
- 8) 関和夫, 田口亮, 村田裕, "ニューラルネットワークを用いたラプラシアンピラミッドに基づくデジタル画像の拡大," 信学論, J80-A, 9, pp.1499-1508 (1997)
- 9) 今村弘樹, 藤村誠, 黒田英夫, "高解像度画像部分空間と多項式近似による局所画像曲面に基づく画像の高解像度化手法," 映像学誌, 59, 11, pp.1694-1700 (2005)
- 10) 今村弘樹, 藤村誠, 黒田英夫, "ヒストグラム値による重み付きファジィクラスタリングに基づく多峰性ヒストグラムの分手法," 平成 18 年度電気系学会九州支部連合大会講演論文集, p.336 (2006)

いまむら ひろき
今村 弘樹 1997 年, 創価大学・工学部・情報システム学科卒業。2002 年, 米国カーネギーメロン大学ロボティクス研究所訪問研究員。2003 年, 北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科博士課程修了。同年, 長崎大学・工学部・情報システム工学科助手, 現在に至る。博士 (情報科学)。画像処理, パターン認識, コンピュータグラフィックスの研究に従事。

ふじむら まこと
藤村 誠 1985 年, 福井大学・工学部卒業。同年, FHIL に入社。1990 年, 長崎大学・工学部助手, 1994 年, 同講師, 現在に至る。動画画像の高性能符号化, 画像処理などの研究に従事。

くろだ ひでお
黒田 英夫 1971 年, 九州工業大学大学院・修士課程修了。同年, 日本電信電話公社電気通信研究所に入社。1989 年, 長崎大学・工学部・大学院教授。その間, 平 6 シドニー大学客員教授, 現在に至る。工学博士。画像信号高効率符号化, 画像処理, CG, CV 等の研究に従事。正会員。