

多重調和関数を用いたデジタル画像の修復と拡大

小林 正^{†1} 川口 貴史^{†2}
落合 芳博^{†3} 川島 成平^{†4}

デジタル画像は、通常各画素の濃度のデータを示す行列の形で表現する。しかし、各画素の濃度のデータをその画素の座標における高さのデータと考え、各画素間をなめらかにつなげば、デジタル画像を曲面と考えることもできる。多重調和関数を用いた補間法は、面を境界形状と内部の任意位置の点を用いてなめらかに補間することができる。本論文では、この補間法を画像処理に応用し、画像の修復やなめらかな拡大が行える手法を提案した。提案した手法は、画像の修復となめらかな拡大を同時に行うことができるが、これは、従来の方法では困難なことである。本手法を、キズ領域を修復しながらの画像拡大、めがねをかけた顔画像からめがねのわくを取り除きながらの拡大等に適用し、その有効性を示す。

Digital Image Restoration and Enlargement by Use of Polyharmonic Function

TADASHI KOBAYASHI,^{†1} TAKAFUMI KAWAGUCHI,^{†2}
YOSHIHIRO OCHIAI^{†3} and NARIHEI KAWASHIMA^{†4}

Digital images are usually presented in a matrix form which shows the data for the density of each pixel. However, if the data for the density of each pixel is viewed as the data for the height at the coordinate of each pixel, and all the height data for adjacent pixels are connected smoothly, it is possible to consider the digital image as a curved plane. An interpolation method using the polyharmonic function can interpolate a plane smoothly using the boundary shape and points at arbitrary positions inside the plane. In this study, we applied the interpolation method to image processing, and propose a method which can restore and enlarge images smoothly. The method proposed here can realize the simultaneous restoration and smooth enlargement of images, which has been difficult to achieve by conventional methods. This method is applied to the enlargement of images while restoring damaged areas or to the enlargement of an image of the face of persons who is wearing glasses while removing the glasses frame from the image, and its effectiveness is demonstrated.

1. はじめに

デジタルカメラ等の急速な普及により、現在社会には身近にデジタル画像が氾濫している。これらデジタル画像の中には、必要とされる部分の画像が小さく、さらにその一部が壊れていたり、異なる物体が被さっていて見にくい等、情報として不完全な画像も多

く存在する。このような画像の不完全な部分を修復しながらなめらかに拡大できる手法が確立すれば、より見やすく有益な画像情報を得ることができる。

画像の不完全な部分の修復には、一般に画像中の似たような部分の色を移植する処理を人力で行うことが多い。しかし、この方法は手間がかかるだけでなく、情報として個人差のない一意性が損なわれるため、適切な手法を用いた自動化が望まれる。また、画像を拡大する代表的な方法としては、最近隣内挿法、共1次内挿法、3次畳込み内挿法等¹⁾があげられ、よりなめらかな拡大画像を得るための高度な手法として高周波数成分の推定、復元をともなう拡大手法^{2)~4)}も提案されている。しかし、これらの手法では、原画像に不完全な部分がある場合、何らかの方法でその部分を修復した後には拡大する必要がある。

画像の修復と拡大を同時に行える可能性がある手法

†1 京都府警察本部科学捜査研究所
Forensic Science Laboratory, Kyoto Prefectural Police
H.Q.

†2 川口デジタルメディア研究所
Kawaguchi Digitalmedia Laboratory

†3 近畿大学理工学部機械工学科
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Technology, Kinki University

†4 大阪産業大学短期大学部
Faculty of Junior College, Osaka Sangyo University

として、画像の等高線表現を用いる手法⁵⁾を適用することが考えられる。しかし、同手法では、画素データが壊れているキズ領域内を通過していた等高線を自然につなぎ直すという作業が必要となるが、最適な連結を自動的に求める方法が確立されていない。

多重調和関数を用いた補間法⁶⁾は、熱発生をともなう熱伝導解析を境界要素法によって行う方法⁷⁾から生まれた手法である。この補間法は、境界形状と領域内の任意の点等を用いて面をなめらかに補間することができるため、著者らはこれまでCAD^{8),9)}や非線形応力解析における初期応力速度分布の補間¹⁰⁾、および初期ひずみ速度分布の補間¹¹⁾等に利用している。ディジタル画像は、通常各画素の濃度のデータを示す行列の形で表現されているが、各画素の濃度のデータをその画素の座標における高さのデータと考えたうえで各画素間をなめらかにつなぐことにより、曲面と考えることもできる。本論文では、画像を曲面と考えることにより、多重調和関数を用いた補間法を画像処理に応用して、画像の修復となめらかな拡大が同時に行える手法を提案する。そして、提案した手法を二、三の画像処理例に適用することによってその有効性と実用性を検証する。

2. 理 論

2.1 多重調和関数による補間

多重調和関数を用いた補間法は、任意形状の領域上で定義された分布を領域積分を含まない境界積分方程式により補間する方法であり、二次元の場合、分布を境界形状と内部の任意位置の点や線で表現できる。

二次元で分布する領域内データの値 $W_1^S(x, y)$ が式 (1) のポアソン方程式を近似的に満足しているとする。

$$\nabla^2 W_1^S = -W_2 = -W_2^S - W_2^L - W_2^P - W_2^D \quad (1)$$

ただし、 W_2^S は面状に分布するもの、 W_2^L は線状のもの、 W_2^P は点でしか値を持たないディラックのデルタ関数、 W_2^D は線状でしかもポテンシャル論において二重層になっているものとし、一般に式 (2) が成立するとする。

$$\nabla^2 W_f^S = -W_{f+1}^S - W_{f+1}^L - W_{f+1}^P - W_{f+1}^D \quad (2)$$

なお、 W_{f+1} は、 W_f の曲率和である。また、分布は一般に高次の曲率和を用いなくても表現できるので、 $f = F$ では W_{F+1}^S を含まない式 (3) が成立するとする。

$$\nabla^2 W_F^S = -W_{F+1}^L - W_{F+1}^P - W_{F+1}^D \quad (3)$$

本研究では、補間に境界形状と任意の点のみを用いることとし、式 (3) において $F = 2$ の場合で W_3^P のみを用いた。実際用いた関係式は式 (1), (3) より式 (4), (5) となる。

$$\nabla^2 W_1^S = -W_2^S \quad (4)$$

$$\nabla^2 W_2^S = -W_3^P \quad (5)$$

式 (4), (5) より式 (6) が得られる。

$$\nabla^4 W_1^S = W_3^P \quad (6)$$

式 (6) は、点荷重 W_3^P をともなう薄板の変位 W_1^S を求める式とほとんど同じものである。つまり、いくつかの点で薄板の変位 W_1^S が与えられており、未知の点荷重の値 W_3^P を逆に求めて補間が行われる。また、 W_2^S は薄板のふちでのモーメントに相当するものである。

ここで、調和関数 $T_1(P, Q)$ および重調和関数 $T_2(P, Q)$ とその単位法線 n に関する微分係数は式 (7) ~ (10) で与えられる⁶⁾。

$$T_1(P, Q) = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{1}{r} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_1(P, Q)}{\partial n} = -\frac{1}{2\pi r} \frac{\partial r}{\partial n} \quad (8)$$

$$T_2(P, Q) = \frac{r^2}{8\pi} \left[\ln \left(\frac{1}{r} \right) + 1 \right] \quad (9)$$

$$\frac{\partial T_2(P, Q)}{\partial n} = \frac{r}{8\pi} \left[2 \ln \left(\frac{1}{r} \right) + 1 \right] \frac{\partial r}{\partial n} \quad (10)$$

ただし、 r は境界上の観測点 P およびソース点 Q 間の距離である。なお、 P および Q は、内点では p, q で示す。

点状の W_3^P の数を m とし、領域 Ω の境界を Γ とすると、式 (4), (5), (7) ~ (10) およびグリーンの定理より式 (11) が得られる。

$$cW_1^S(P) = -\sum_{f=1}^2 (-1)^f \int_{\Gamma} \left\{ T_f(P, Q) \frac{\partial W_f^S(Q)}{\partial n} - \frac{\partial T_f(P, Q)}{\partial n} W_f^S(Q) \right\} d\Gamma - \sum_{m=1}^M T_2(P, q) W_{3(m)}^P(q) \quad (11)$$

ただし、なめらかな境界では $C = 0.5$ 、領域内部では $C = 1$ である。また W_2^S は同様に式 (12) で与えられる。

$$cW_2^S(P) = \int_{\Gamma} \left\{ T_1(P, Q) \frac{\partial W_2^S(Q)}{\partial n} - \frac{\partial T_1(P, Q)}{\partial n} W_2^S(Q) \right\} d\Gamma$$

$$+ \sum_{m=1}^M T_1(P, q) W_{3(m)}^P(q) \quad (12)$$

式 (11) および式 (12) を離散化し、境界に対して一定要素を用いることとする。\$W_f^S(Q)\$ を成分に持つベクトルを \$\mathbf{W}_f\$、\$\partial W_f^S(Q)/\partial n\$ を成分に持つベクトルを \$\mathbf{V}_f\$、\$W_{3(m)}^P(q)\$ を成分に持つベクトルを \$\mathbf{W}_3^P\$ とし、式 (11) を離散化すると式 (13) が得られる。

$$\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_1 = \mathbf{G}_1 \mathbf{V}_1 + \mathbf{H}_2 \mathbf{W}_2 - \mathbf{G}_2 \mathbf{V}_2 - \mathbf{G}_2^P \mathbf{W}_3^P \quad (13)$$

ただし、\$\mathbf{H}_1\$、\$\mathbf{G}_1\$、\$\mathbf{H}_2\$、\$\mathbf{G}_2\$ および \$\mathbf{G}_2^P\$ は、点 \$i\$ で離散化し、\$\Gamma_j\$ で線積分を行った場合、それぞれ式 (14) ~ (18) の成分を持つマトリックスである。

$$H_{1ij} = \frac{1}{2} \delta_{ij} + \int_{\Gamma_j} \frac{\partial T_1(P, Q)}{\partial n} d\Gamma_j \quad (14)$$

$$G_{1ij} = \int_{\Gamma_j} T_1(P, Q) d\Gamma_j \quad (15)$$

$$H_{2ij} = \int_{\Gamma_j} \frac{\partial T_2(P, Q)}{\partial n} d\Gamma_j \quad (16)$$

$$G_{2ij} = \int_{\Gamma_j} T_2(P, Q) d\Gamma_j \quad (17)$$

$$G_{2ij}^P = T_2(P, q^P) \quad (18)$$

ただし、上添え文字 \$P\$ は \$W_3^P\$ を与える点であることを示す。\$W_2^S(P)\$ に関して式 (12) より式 (19) が得られる。

$$\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_2 = \mathbf{G}_1 \mathbf{V}_2 + \mathbf{G}_1^P \mathbf{W}_3^P \quad (19)$$

ただし、\$\mathbf{G}_1^P\$ は式 (20) の成分を持つマトリックスである。

$$G_{1ij}^P = T_1(P, q^P) \quad (20)$$

また、式 (11) において、値 \$W(p^P)\$ の内点を活用すると式 (21) が得られる。

$$\mathbf{W}(p^P) = -\mathbf{H}_3 \mathbf{W}_1 + \mathbf{G}_3 \mathbf{V}_1 + \mathbf{H}_4 \mathbf{W}_2 - \mathbf{G}_4 \mathbf{V}_2 - \mathbf{G}_3^P \mathbf{W}_3^P \quad (21)$$

ただし、\$\mathbf{H}_3\$、\$\mathbf{G}_3\$、\$\mathbf{H}_4\$、\$\mathbf{G}_4\$ および \$\mathbf{G}_3^P\$ は、それぞれ式 (22) ~ (26) の成分を持つマトリックスである。

$$H_{3ij} = \int_{\Gamma_j} \frac{\partial T_1(p^P, Q)}{\partial n} d\Gamma_j \quad (22)$$

$$G_{3ij} = \int_{\Gamma_j} T_1(p^P, Q) d\Gamma_j \quad (23)$$

$$H_{4ij} = \int_{\Gamma_j} \frac{\partial T_2(p^P, Q)}{\partial n} d\Gamma_j \quad (24)$$

$$G_{4ij} = \int_{\Gamma_j} T_2(p^P, Q) d\Gamma_j \quad (25)$$

$$G_{3ij}^P = T_2(p^P, q^P) \quad (26)$$

ここで、\$\mathbf{W}_2 = \mathbf{0}\$ とおいて⁶⁾、式 (13)、(19)、(21)

より式 (27) が得られる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{G}_1 & -\mathbf{G}_2 & -\mathbf{G}_2^P \\ \mathbf{0} & \mathbf{G}_1 & \mathbf{G}_1^P \\ \mathbf{G}_3 & -\mathbf{G}_4 & -\mathbf{G}_3^P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \\ \mathbf{W}_3^P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_1 \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{H}_3 \mathbf{W}_1 + \mathbf{W}(p^P) \end{bmatrix} \quad (27)$$

式 (27) において、境界上での値 \$\mathbf{W}_1\$ と内点での値 \$\mathbf{W}(p^P)\$ を与えることにより、\$\mathbf{V}_1\$、\$\mathbf{V}_2\$ および \$\mathbf{W}_3^P\$ を求めることができる。求めた各値と式 (11) を用いて、領域内部の任意点の補間値を計算することができる。ここで、境界上の値および内点の値をそれぞれの座標での高さの値とした場合、本補間法によって得られるのは、指定された座標での与えられた高さを通る 2.5 次元のなめらかな自由曲面となる。なお、一定要素を用いて境界を \$n\$ 分割し、内点を \$m\$ 点用いた場合、\$(2n + m)\$ 行の連立方程式を解かなければならない。

2.2 画像処理への応用

デジタル画像は、通常各画素の濃度のデータを示す行列の形で表現される。本手法では、各画素の濃度のデータをその画素の座標における高さのデータと考え、画像全体を各画素の座標での与えられた高さを通る 2.5 次元のなめらかな自由曲面と考える。この場合、画像を拡大するという事は、自由曲面を拡大することになる。また、画像内にキズ領域がある場合の修復画像は、2.1 節の補間法を用いてキズ領域を除く他の画素データを元にして得られる自由曲面を修復後の画像として扱うことにより得られる。提案する手法により、画素データが壊れた \$K\$ 画素を含む \$M\$ 行 \$M\$ 列の画素からなるデジタル画像を、画素データが壊れた画素のデータを修復しながらなめらかに \$N\$ 倍に拡大する具体的な方法を以下に示す。

図 1 に示すように左上から 2 行 2 列目の画素データが壊れ、さらにそのほかにも画素データが壊れた \$(K - 1)\$ 画素を含む \$M\$ 行 \$M\$ 列の画素からなるデジタル画像があるとする。この画像を \$N\$ 倍に拡大する場合、その準備として画像の各画素間に新たにデータを持たない画素を挿入し、データを持った、またはデータが壊れた画素が \$N\$ 個おきに配置された \$\{N(M - 1) + 1\}\$ 行、\$\{N(M - 1) + 1\}\$ 列の領域を考える。ここで、原画像の中で 2 行 2 列目の画素データが壊れている画素の対応する位置、具体的には \$(N + 1)\$ 行、\$(N + 1)\$ 列目の画素は、データを持たない画素として指定しておく。さらに、画素データが壊れた残り \$(K - 1)\$ 画素についても同様の処理を行う。

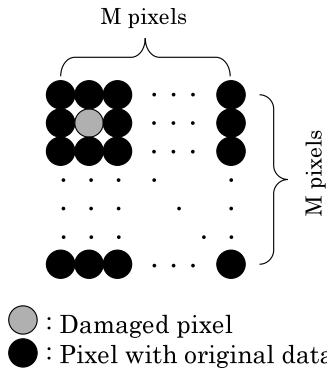
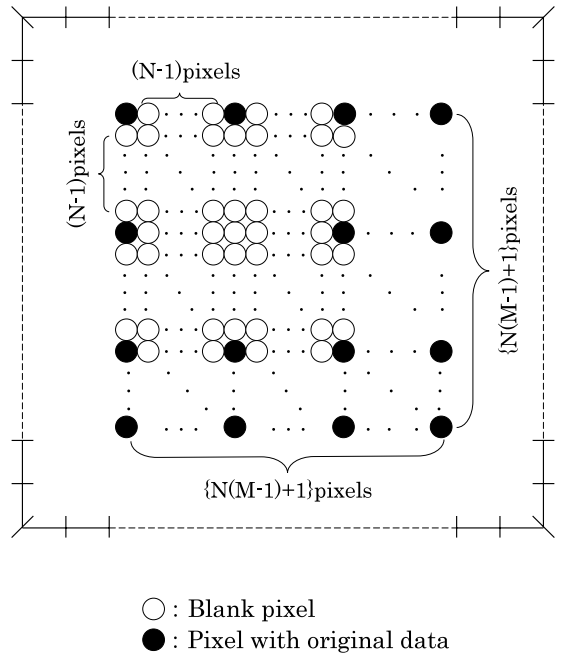


図 1 原画像の画素配列
Fig. 1 Ordering of pixels in original image.

次に、領域境界を設定してその境界を一定境界要素で分割するが、このとき画素が配置された領域より少し大きい領域を想定し、その境界を要素分割する。これは、境界要素法では、境界のごく近傍での内点値の計算結果にみだれが生じる¹²⁾ため、その影響を受ける領域に画素領域が入らないようにするためである。本研究では、拡大する倍率 N の値に関係なく、準備された画素領域から上下左右それぞれ 10 画素分外側に境界を想定し、四隅を基点として、それぞれ左回転方向に基本長 10 画素分の一定境界要素で要素分割を行った。ここで、9 画素分以下の要素長が発生する場合は、それ以上要素分割を行わず、11~19 画素分としたため、要素数は、Gauss 記号 $[]$ を用いて $4 \times [(NM - N + 20)/10]$ 要素となる。画素および境界を配置した状態を図 2 に示すが、この配置方法の場合、処理後の画像は原画像の境界の画素を除いた部分について正確に N 倍に拡大される。原画像のうち、画素データが壊れていないのは、 $(M^2 - K)$ 画素であり、この画素数が式 (27) の内点数となるため、式 (27) は $\{8 \times [(NM - N + 20)/10] + M^2 - K\}$ 行の連立方程式となる。

原画像が 8 ビットグレイ・スケールの場合には、画素データが壊れていない $(M^2 - K)$ の各画素データ $(0 \sim 255)$ を式 (27) において新しい配置の座標での内点値 $W(p^P)$ の値とし、境界値 W_1 についてはすべて 0 として式 (27) の連立方程式を解く。さらに、求めた V_1, V_2 および W_3^P と式 (11) を用いてデータを持たない $\{(NM - N + 1)^2 - M^2 + K\}$ 個の画素の各座標での値を各々補間計算することにより、画像の不完全な部分を自動的に修復した拡大画像を得ることができる。原画像が 24 ビット RGB カラーの場合は、RGB 各色それぞれ別々に計算を行い、3 色の計算結果を重ね合わせることによって拡大画像を得るこ



○ : Blank pixel
● : Pixel with original data
図 2 境界要素と画素の配列
Fig. 2 Arrangement of boundary elements and pixels.

とができる。なお、積分には Gauss 8 点積分公式を用いた。

3. 適用例

3.1 画像のなめらかな拡大

提案した手法を用いて画像のなめらかな拡大を行う場合は、2.2 節において、原画像にデータが壊れた画素がない場合を考えればよい。適用例として、図 3 (a) に示すデジタルカラー原画像 (200 × 200 画素) を単純にダウンサンプリングすることによって得た、縦横ともに 5 分の 1 に縮小された図 3 (b) の画像 (40 × 40 画素) のなめらかな 5 倍拡大を行う。まず、40 行 40 列のデータを持った 1,600 個の画素が、縦横それぞれ 5 個おきに配置された 196 行 196 列の画素からなる領域とその外側に 84 の一定境界要素からなる境界を想定する。次に、1,600 個のデータを持った画素のデータから、データを持たない 36,816 個の画素のデータを RGB 各色それぞれ別々に補間計算し、3 色の結果を重ね合わせて拡大画像を作成する。このような計算によって得られた画像 (196 × 196 画素) を図 3 (c) に示し、同じ縮小画像を最近隣内挿法、共 1 次内挿法、離散コサイン変換 (DCT) を用いた手法¹³⁾でそれぞれ 5 倍に拡大して得た画像を図 3 (d), (e), (f) に示す。また、各手法による拡大画像の原画像に対する PSNR 値を表 1 に示す。ここで、提案した手

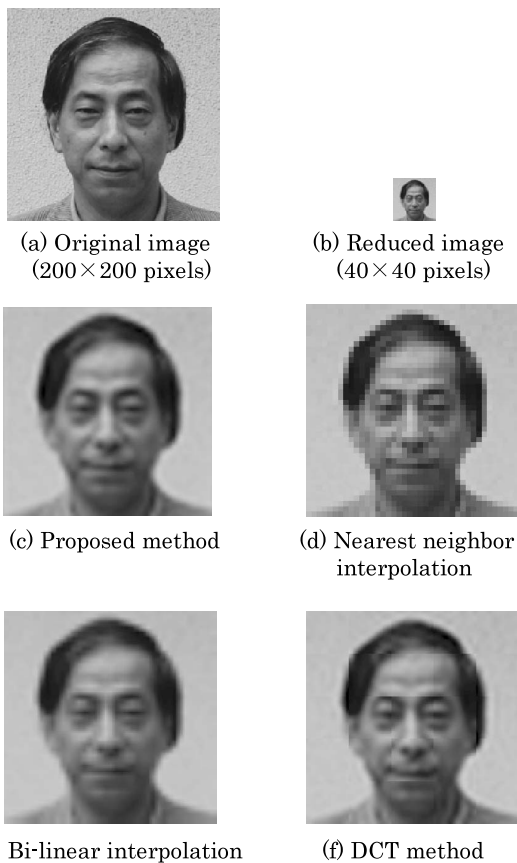


図 3 拡大画像 (5 倍)

Fig. 3 Enlarged image (five times).

表 1 画像拡大結果

Table 1 Enlargement results (PSNR[dB]).

Proposed method	26.61
Nearest neighbor interpolation	22.83
Bi-linear interpolation	23.79
DCT method	26.66

法による拡大画像は、原画像に対して周囲 2 画素分小さな画像となっているため、PSNR 値の計算には原画像から周囲 2 画素分を除いた画像を用いた。また、他の手法による拡大画像についても周囲 2 画素分を除いた画像を用いて PSNR 値を計算した。

表 1 の結果では、提案した手法よりも離散コサイン変換を用いた手法による拡大画像の PSNR 値が良くなっているが、その差は 0.05 dB であり、ほぼ同程度の結果が得られているといえる。また、図 3 (c) から分かるように、その結果は滑らかに拡大されていることから、提案した手法は、画像の拡大に有効であると判断される。なお、提案した手法による拡大処理時間は、7 分 49.6 秒 (計算環境, CPU: AMD Athlon 64 3200+

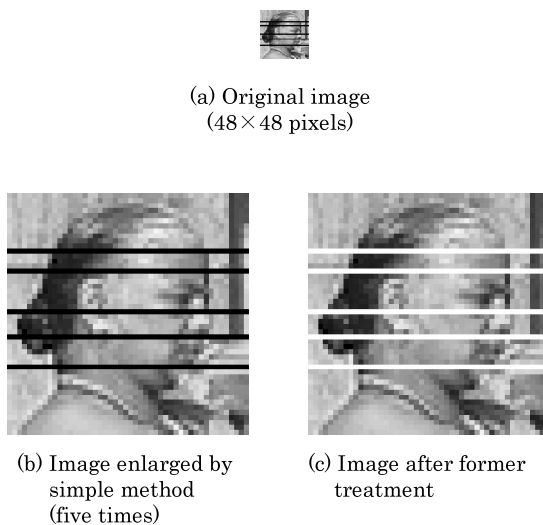


図 4 拡大のための前処理画像

Fig. 4 Former treatment image for enlargement.

2 GHz, Memory: 1 Gbyte, OS: Windows XP, プログラム言語: Microsoft Visual C++ 6.0) である。

3.2 不完全画像の修復と拡大

図 4 (a) に示すような顔の一部分に黒色の直線が入っていて、顔全体の認識を困難にしているデジタルカラー原画像 (48 × 48 画素) が存在するとする。このような場合、黒色の直線領域を取り除き、周囲の画素データを用いて取り除いた部分のデータを補間修復して拡大すれば、より認識しやすい画像が得られると考えられる。著者らが提案している手法では、黒の直線領域をキズ領域として扱うことにより、黒の直線部分を取り除いた拡大画像を得ることができる。

開発したプログラムでは、まず図 4 (a) の原画像を図 4 (b) に示すように 5 倍に単純拡大 (1 画素を同じ情報を持つ 5 行 5 列の 25 画素に置き換える拡大方法) する。次に、5 倍に単純拡大した画像上で、壊れた画素部分 (5 × 5 画素表示部分) をマウスにより指定して、その画素の RGB 各データ値をすべて 255 とする前処理を行うことにより、計算上データを持たない画素として取り扱うように初期設定 (変更可能) してある。前処理後の状態を図 4 (c) に示し、提案する手法により 5 倍に修復拡大した結果を図 5 (a) に示す。図 4 (a) に示すようなライン状のキズ領域の場合には、ラインの上下の画素値の平均値をキズ領域部分の値として前補間処理を行い、その後拡大する方法が考えられる。そこで、前述の前補間処理後、最近隣内挿法、共 1 次内挿法、離散コサイン変換を用いた手法でそれぞれ 5 倍に拡大し、得た画像を図 5 (b) ~ (d) に示す。

ここでは、提案した手法の評価に主観評価を用いた。

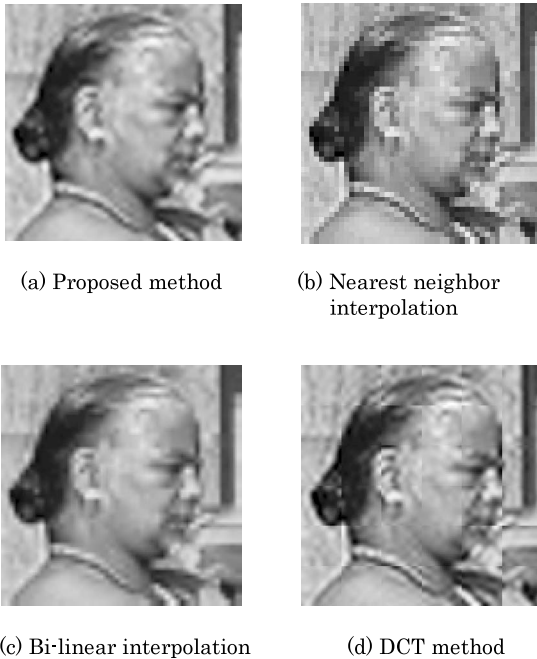


図 5 修復拡大した画像 (5 倍)

Fig. 5 Image after restoration and enlargement (five times).

表 2 主観評価結果

Table 2 Subjective evaluation.

Proposed method	1.30
Nearest neighbor interpolation	3.84
Bi-linear interpolation	1.88
DCT method	2.98

図 4 (a) の原画像と図 5 (a) ~ (d) の 4 つの拡大画像をパソコンのディスプレイに表示させ、拡大方法を伏せて大学 4 年生、および大学院生計 50 名によって、主観評価を行った。主観評価は 4 つの方法での修復拡大画像に対して“人物が認識しやすい順”に順位をつけてもらうものである。得られた結果から、各方法の平均順位を算出し、その結果を示したものが表 2 である。

表 2 の結果では、提案した手法による拡大画像が、4 つの方法による拡大画像の中で最も“人物が認識しやすい”と判断されている。また、同手法の結果の順位を 1 位にした 37 名の評価者からは、共 1 次内挿法に比べて「輪郭がよりはっきりしているように感じる」といった意見が聞かれた。これらのことから、提案手法を用いた画像処理により、原画像の画像認識を困難にしていた黒い直線が取り除かれた、人物が認識しやすい拡大画像が得られたと判断される。

3.3 応用例

ある人物がめがねをかけた状態での顔画像から、そ

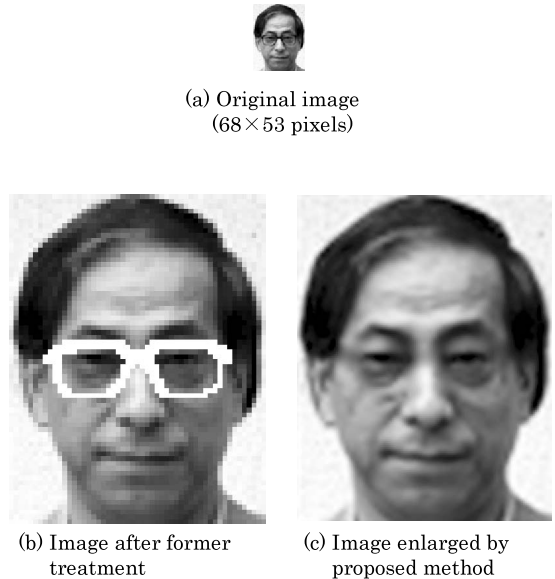


図 6 めがねのわくを取り除いた顔画像 (5 倍拡大)

Fig. 6 Image of face without glasses frame (enlarged five times).

の人物がめがねをはずした状態での顔の推定画像が必要となる場合がある。提案した手法を用いれば、めがねのわく部分をキズ領域として処理することにより、めがねのわく部分を取り除いた顔画像を自動的に作成しながらなめらかな拡大処理をすることが可能である。しかし、他の手法では、このようにキズ領域が不規則な場合、前補間処理を簡単に行うことは困難である。

図 6 (a) のめがねをかけた人物の顔のデジタルカラー原画像 (68 × 53 画素) から、めがねのわく部分を取り除いた顔を 5 倍に拡大した画像を作成する。原画像が 5 倍に単純拡大された画像中、めがねのわく部分と考えられる領域の画素を、すべてデータが壊れた画素として前処理した状態を図 6 (b) に示し、これを用いて修復拡大した結果を図 6 (c) に示す。ここで、得られた拡大画像の評価に主観評価を用いた。主観評価は、図 6 (a), (c) をパソコンのディスプレイに表示させ、3.2 節と同じ学生 50 名に対して、図 6 (c) の画像が、図 6 (a) のめがねをかけた人物の“めがねをはずした顔の推定画像として有効であるかどうか”に対する 5 段階評価 (5. 非常に良い, 4. 良い, 3. 普通, 2. 悪い, 1. 非常に悪い) で判定してもらうものであり、得られた結果の平均値は 3.7 であった。この結果から、提案した手法は、めがねをかけた人物の、めがねをはずした顔の推定画像作成にも有効であると考えられる。

4. おわりに

本論文では、多重調和関数を用いた補間法を画像処理に応用する手法を提案した。提案した手法は、画像の一部にキズ領域や取り除くべき領域が存在する場合、その領域を除く他の領域の画像データを用いて、キズ領域部分や、取り除いた領域部分の画像データを補間修復することができる。さらに、画像の修復となめらかな拡大を同時に行うこともできるが、これは従来の方法では困難なことである。本手法を、画像のキズ領域を修復しながらの拡大、めがねをかけた顔画像からめがねのわくを取り除きながらの拡大等の具体的な画像処理に適用し、本手法が不完全画像の修復と拡大に有効であることを確認した。また、本手法は、処理後の画像に個人差のない一意性が得られていることから、犯罪捜査にも有効であると考えられる。

謝辞 本研究の画像評価のアンケート調査等にご尽力いただいた、大阪産業大学工学部情報システム工学科の神谷卓之講師に謝意を表します。なお、本研究の一部は科学研究費補助金奨励研究(B)13919087の補助を受けている。

参 考 文 献

- 1) 高木幹雄, 下田陽久(監修): 画像解析ハンドブック, pp.441-444, 東京大学出版会(1991).
- 2) Greenspan, H. and Anderson, C.H.: Image enhancement by non-linear extrapolation in frequency space, *SPIE*, Vol.2182, Image and Video Processing II, pp.2-13 (1994).
- 3) 田中 章, 今井英幸, 宮腰政明, 伊達 惇: 多重解像度解析を用いたデジタル画像の拡大, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J79-D-II, No.5, pp.819-825 (1996).
- 4) 関和大介, 田口 亮, 村田 裕: ニューラルネットワークを用いたラプシアンピラミッドに基づくデジタル画像の拡大, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J80-A, No.9, pp.1499-1508 (1997).
- 5) 浅野哲夫, 木村宗市, 嶋津茂昭: 画像の等高線表現とその応用, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.12, pp.3242-3251 (1998).
- 6) 落合芳博: 多重調和関数を用いた補間および数値積分法, 日本応用数学会論文誌, Vol.8, No.4, pp.457-468 (1998).
- 7) Ochiai, Y. and Sekiya, T.: Steady heat conduction analysis by improved multiple-reciprocity boundary element method, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Vol.18, pp.111-117(1996).
- 8) 落合芳博: 金型用 CAD のための自由曲面の創成法, 精密工学会誌, Vol.61, No.8, pp.1087-1091

(1995).

- 9) 川島成平, 落合芳博: 体分布多重調和関数を用いた中空立体形状モデリング, 設計工学, Vol.37, No.3, pp.108-114 (2002).
- 10) Ochiai, Y. and Kobayashi, T.: Initial stress formulation for elastoplastic analysis by improved multiple-reciprocity boundary element method, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Vol.23, No.2, pp.167-173 (1999).
- 11) Ochiai, Y. and Kobayashi, T.: Initial strain formulation without internal cells for elastoplastic analysis by triple-reciprocity BEM, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.50, pp.1877-1892 (2001).
- 12) 沢田孚夫: 境界要素法を利用するにあたって, 塑性と加工, Vol.30, No.342, pp.921-928 (1989).
- 13) 酒井幸市: Visual Basic & Visual C++によるデジタル画像処理入門, pp.178-183, CQ 出版社(2002).

(平成 15 年 12 月 24 日受付)

(平成 16 年 12 月 1 日採録)



小林 正(正会員)

1959 年生。1983 年大阪府立大学工学部機械工学科卒業。1984 年から京都府警科学捜査研究所物理科に勤務、現在に至る。工学関係の鑑定、研究業務に従事。計算力学、画像処理関係に興味を持つ。日本機械学会、日本計算工学会、日本鑑識科学技術学会等の会員。博士(工学)。



川口 貴史

1960 年生。1983 年大阪府立大学工学部航空工学科卒業。新日本工機株式会社、光洋精工株式会社において工作、設備機械の設計に従事。退職後家業のシューズショップを営む。2001 年川口デジタルメディア研究所を設立。ネットワーク、マルチメディア情報関係に興味を持つ。



落合 芳博(正会員)

1951年生。1977年大阪府立大学大学院機械工学専攻修士課程修了。埼玉県庁、大阪府立産業技術総合研究所を経て、1994年近畿大学理工学部機械工学科講師。2002年同大学理

工学部機械工学科教授。現在、メッシュレスCAE、自由曲面、数値積分法の研究に従事。著書に『境界要素法による熱応力解析』(森北出版)等がある。日本機械学会、日本計算工学会、精密工学会等の会員。博士(工学)。



川島 成平(正会員)

1950年生。1972年大阪府立大学工学部機械工学科卒業。1978年同大学大学院博士課程修了。同年大阪産業大学短期大学部講師、1989年より同大学教授。1988年8月～1989年

3月の間米国バージニア大学客員研究員。現在、CAD、CAEの研究に従事。著書に『CAD概論』(共立出版)、『モデリング工学入門』(培風館)等がある。日本機械学会、日本計算工学会、シミュレーション学会、精密工学会等の会員。工学博士。