Resolution Conversions for Coding Images

Keisuke Nakai Non-member (Osaka Prefecture University, nakai@sig.cs.osakafu-u.ac.jp)

Michifumi Yoshioka Member (Osaka Prefecture University, yoshioka@cs.osakafu-u.ac.jp)

Shigeru Omatu Member (Osaka Prefecture University, omatu@cs.osakafu-u.ac.jp)

Kouji Kita Non-member (Noritsu Koki Co. LTD., k-kita@nkc.noritsu.co.jp)

Takeru Murai Non-member (Noritsu Koki Co. LTD., t-murai@nkc.noritsu.co.jp)

Keywords : JPEG image, discrete cosine transformation, image resolution conversions

Resolution conversions for digital images are used for photographs development. These images are usually decoded by JPEG. In traditional method, resolution conversions for coding images are processed after decoding. However, the method require large memory and computational costs. Therefore, resolution conversion methods for coded images are actively studied on the field of information compression. For example, there is a method of cutting or extending high frequency for each block. It can convert resolution faster than the method to convert after decompression of coding images. However, the images converted by this method are uncompressible because the block size is changed. Recently, the methods to solve this problem are proposed. However, these methods generate ringing effect by edge side. To suppress it, a method to use controlled parameters is proposed. However, it is difficult to tune them.

To resolve those difficulties, we propose the method to decode images and to convert resolution simultaneously. As mentioned above, DCT is used for transformation into frequency domain and formulated using a matrix. In order to process image decoding and resolution conversion simultaneously, we also formulate two resolution conversion methods (bicubic and linear interpolation methods) using a matrix. Then these resolution conversion matrices are multiplied by DCT matrix. Using this product matrix,

we can achieve image decoding and resolution conversion simultaneously.

In order to evaluate the performance of proposed methods, we have some simulations. The simulation results are shown in Figs.1 and 2. Those figures show the processing time to shrink or expand 2 Mega pixel images respectively. In those figures, methods 1,2,3,4 denote bicubic and linear interpolation, frequency domain conversion and after decoding conversion, respectively. The results of simulations show the effectiveness of proposed methods. Finally, Fig.3 shows the example of the down sampling image.

Fig. 1. Comparison of processing time (down scaling)

Fig. 2. Comparison of processing time (up scaling)

(a) Method 1.

(b) Method 3.

Fig. 3. Down scaling results

符号化画像に対する解像度変換法

非会員 中井 啓輔* 正 員 吉岡 理文*
 正 員 大松 繁* 非会員 北 耕次**
 非会員 村井 猛**

Resolution Conversions for Coding Images

Keisuke Nakai*, Non-member, Michifumi Yoshioka*, Member, Shigeru Omatu*, Member, Kouji Kita**, Non-member,
 Takeru Murai**, Non-member

Recently, resolution conversion methods for coded images are actively studied on the field of information compression. In traditional methods, resolution conversion is performed after decoding. However, this method requires large memory and computational costs. We propose a method to decode images and to convert resolution simultaneously for improving this. Finally, we confirm effectiveness of our proposed method by simulations.

キーワード : JPEG 画像, 離散コサイン変換, 画像解像度変換

Keywords : JPEG image, discrete cosine transformation, image resolution conversions

1. はじめに

現在デジタル画像の情報圧縮に関する研究が盛んに行われている。代表的な方法として離散コサイン変換(DCT)を用いて周波数成分に変換し、高周波成分を削減する方法が知られており、静止画像と動画像圧縮の国際標準規格である JPEG(Joint Photographic Experts Group), MPEG(Moving Picture Experts Group)等に用いられている。一方、画像の解像度変換は、表示時や各種アプリケーション、画像のネットワークを介した送受信、本研究が対象とするデジタルカメラで撮影された写真の現像時等さまざまな場合で行われている。これらを背景として、符号化画像の解像度変換法が画像圧縮の分野を中心に盛んに研究されており、さまざまな方法が提案されている。例えば DCT ブロック単位で DCT 係数の高周波成分の一部を削除、補間する方法⁽¹⁾⁽²⁾では、JPEG を展開後変換する場合に比べ、高速な変換を実現している。しかし、ブロックサイズが変化するため、解像度変換後、そのまま JPEG に変換することはできない。近年ではこれらの問題点を解消した方法も提案されており^{(3)~(6)}、これらの方法では変換後もブロックサイズは変わらない。

しかし、縮小時にエッジ付近でリングングが生じることが報告されている⁽⁴⁾。これを抑えるために画質制御パラメータを導入している方法⁽⁶⁾もあるが、その場合画像毎にその画像に適したパラメータを計算する必要がある。

一方、これらの方法では符号化画像から符号化画像への変換を行っているが、本研究では符号化状態を展開した結果を得る必要がある。これは、本研究が対象としている写真の現像時において、解像度変換後に濃度補正等の処理が行われており、この処理は符号化状態では困難であるためである。現在、デジタルカメラ等で撮影された写真の多くは JPEG 形式であり、現状では展開処理後に解像度変換がなされている。そのため、メモリ量、計算時間共に無駄が生じており、高解像度画像を複数枚同時に現像する際にはその影響は多大なものとなる。

そこで本研究では、JPEG 展開処理に解像度変換処理を組み込むことによる計算時間、メモリ量の削減、従来手法の問題点である縮小時のリングングの抑制を目指す。4 章で、シミュレーションにより従来手法と比較し、提案手法の有効性を確認した。

2. 従来手法

本章ではまず JPEG 圧縮について簡単に説明し、その後従来手法として JPEG 形式の画像に対応した代表的な解像度変換法として小島らの手法⁽⁶⁾を紹介する。

〈2・1〉 JPEG 圧縮 JPEG 圧縮ではまず RGB 表色系の画像を YUV 表色系に変換⁽⁷⁾する。その後、8×8 サイズの

* 大阪府立大学大学院工学研究科
 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1
 Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University,
 1-1 Gakuentyou, Nakaku, Sakai, Osaka 599-8531

** ノーリツ鋼機 (株)
 〒640-8452 和歌山県和歌山市梅原 579-1
 Noritsu Koki Co., Ltd.
 579-1 Umehara, Wakayama Wakayama 640-8452

図1 変換の周波数領域処理 (U=1,D=1) ⁽⁶⁾Fig. 1. The method for image resolution conversion with arbitrary rational values in frequency domain when U=1 and D=1⁽⁶⁾.

ブロックに分割し、その各ブロックに(1)式に示す DCT 処理を行い、周波数成分へと変換する。

$$S_{vu} = \frac{1}{4} k_u k_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 s_{yx} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

$$k_u, k_v = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}, 0 \leq u, v < 7$$

.....(1)

ここで、 s_{yx} は変換前の y 行 x 列目の画素値であり、 s_{vu} は変換後の v 行 u 列目の値を表す。DCT 処理を行った各ブロックに対して量子化を行い、値を抑制した後ハフマン符号化によりビット列への変換を行う。JPEG 圧縮で用いられるハフマンテーブルは定められておらず、そのためビット列に対する解像度変換はハフマンテーブルを参照する必要がある。この処理は複雑となることが予想されるため、DCT 係数で画像が表現されている状態での解像度変換が提案されている。

〈2・2〉 解像度変換 ここでは小島らによる解像度変換法を紹介する。この手法では解像度変換法として、時間領域における対称畳み込みを用いている。処理の概要を図1示し、U/D 倍を行う場合の処理の具体的な手順を以下に説明する。

STEP1: 長さ 8 の DCT 係数列が D 個ある信号を取り出し、各 DCT 係数列に対し逆 DCT 処理を行う。その後この信号全体に対して DCT を施し、DCT 係数列 $x(n)$ を得る。

STEP2: $x(n)$ に零挿入による 2U 倍を施し、その後、時間シフト処理を行う。その結果、 $16UD+1$ の長さを持つ信号が得られ、これを $w(n)$ とする。

STEP3: 上記の信号を対称周期数列に拡張しこれを $\tilde{w}(n)$ とする。この $\tilde{w}(n)$ と直線位相フィルタ⁽⁶⁾ $h(n)$ との対称畳み込みを行い、信号 $\tilde{v}(n)$ が求められる。

STEP4: 信号 $\tilde{v}(n)$ から STEP3 で拡張されていない部分に対応する点を取り出し、 $v(n)$ とする。

STEP5: STEP2 の場合とは逆の時間シフト処理、間引き処理を行い、長さが 8U である出力信号 $y(n)$ を求める。

これらの処理はすべて行列化が可能であり、文献(6)ではこの処理を 1 つにまとめた行列が求められている。この解像度変換行列を G とすると、D 個の DCT 係数ブロック

図2 DCTに基づく有理数倍変換

Fig. 2. The method for image resolution conversion with arbitrary rational values based on DCT.

$(X_0^{\text{II}}, \dots, X_{D-1}^{\text{II}})$ から U 個のブロック $(Y_0, \dots, Y_{U-1})$ への変換は次式で表され、画素列 $(y_0, \dots, y_{U-1})$ を得る処理は図2となる。ここで C_8^{II} は 8 点の DCT を施す行列である。

$$\begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_{U-1} \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} X_0^{\text{II}} \\ X_1^{\text{II}} \\ \vdots \\ X_{D-1}^{\text{II}} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

この手法の特徴として、STEP3 である程度自由度のある直線位相フィルタと畳み込みを行うことで画像に応じて最適なフィルタを作成出来ることがあげられる。縮小時の理想的な直線位相フィルタ $h(n)$ の行列表示形 $\hat{H}$ は(3)式で与えられる。

$$\hat{H} = \begin{bmatrix} I_8 & o_{8,16D-7} \\ o_{16D-7,8} & o_{16D-7,16D-7} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

このとき解像度変換フィルタは文献(4)のフィルタと同一となる。しかし、この解像度変換行列を用いるとエッジ付近にリンギングが生じる。これはこの行列が理想帯域フィルタであり、その通過特性がシャープ過ぎるためである。この手法では直線位相フィルタを操作することで画像に適した解像度変換行列の作成が可能である。しかし、画像内の各ブロック特性は一定ではないため、作成にかかる計算の複雑化、処理時間の増大が考えられる。これに対し、本研究ではリンギングが生じず、高速な処理時間を実現する手法を提案する。

3. 提案手法

本研究では、逆 DCT と解像度変換処理を組み合わせ、それらを同時に行う手法を提案する。符号化画像を展開後、解像度変換を行うと、計算時間、メモリ量等に無駄が生じる。この問題を解消するため、逆 DCT が行列で表されることに着目し解像度変換処理を行列で表すことで、逆 DCT と解像度変換を同時に行う変換行列を作成する。

〈3・1〉 離散コサイン変換の行列化 DCT 処理は(1)式で実行され、この処理を行列化したものを C 、 8×8 のサイズの画素値のブロックを X 、これの 2 次元 DCT 処理結果を X^{II} とすると、2 次元 DCT 処理は(4)式となる。

$$X^{\text{II}} = CXC^t$$

$$[C]_{mn} = \frac{1}{2} k_m \cos\left(\frac{(2n+1)m\pi}{16}\right), 0 \leq m, n \leq 7$$

$$k_m = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & m=0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

DCT 行列は正規直交であるため、2 次元逆 DCT 処理は(5)式のような行列式で表される。

$$X = C^t X^{\text{II}} C \quad (5)$$

有理数倍の解像度変換の場合、 U/D 倍を行うとすると、 D 個のブロックから U 個のブロックへの変換を行う。そのため、逆 DCT は複数ブロックに対応するように拡張する必要がある。このとき、 D 個のブロックに対する逆 DCT は(6)式で表される。

$$X_D = B_D^t X_D^{\text{II}} B_D$$

$$X_D^{\text{II}} = [X_0^{\text{II}}, \dots, X_{D-1}^{\text{II}}]^t$$

$$B_D = \begin{bmatrix} C & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & C \end{bmatrix} 8 * D \quad (6)$$

次に、解像度変換行列を考える。

〈3・2〉 解像度変換 逆 DCT が行列表示可能であることから、解像度変換処理も行列で表現すれば、結合法則より事前の計算が可能となる。また(5)式より、2 次元逆 DCT は 1 次元の変換に分解できる。そのため、1 次元での解像度変換を考え、逆 DCT 行列との乗算を事前に行うことで変換行列を作成する。符号化画像において周波数変換はブロックごとに行われる。本研究では最終的に展開後の画像を求めるためブロックにこだわる必要はない。しかし、汎用性を考慮し符号化画像から符号化画像への変換も可能にするため解像度変換結果もブロックで得られる手法を提案する。(1)、(2)で符号化画像から展開された画像への変換方法を、(3)でこれらの方法を拡張し符号化状態のまま変換する方法を示す。

(1) 線形補間 単純で、かつ縮小時に効果的な手法である線形補間の行列表示を考える。 U/D 倍の線形補間は次式で表される。

$$x'_m = px_n + (1-p)x_{n+1}$$

$$n = \lfloor m * D/U \rfloor, \quad p = m * D/U - n \quad (7)$$

ここで、 x'_m は変換後の m 番目の画素値であり、 $\lfloor a \rfloor$ は実数値 a の小数点以下を除去し、整数値にする処理を表す。この式を行列表示すると以下の式に変形できる。

$$[L]_{mn} = \begin{cases} \frac{m * D}{U} - n & n = \lfloor \frac{m * D}{U} \rfloor \\ 1 - \left(\frac{m * D}{U} - n \right) & n = \lfloor \frac{m * D}{U} \rfloor + 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

このことから、解像度変換と逆 DCT を同時に行う行列 G_i は(9)式で求められ、DCT 係数行列 X_D^{II} の変換処理は、処理結果を Y_U としたとき、(10)式となる。

$$G_i = LB_D^t \quad (9)$$

$$Y_U = G_i X_D^{\text{II}} G_i^t \quad (10)$$

(2) バイキュービック 線形補間では拡大時良好な結果は得られない。そこで、解像度変換で良く使われるバイキュービック⁽⁷⁾の行列表示形を考える。通常バイキュービックは 2 次元上での補間であるが、原理的には 1 次元での変換を縦横 2 度行っているため、1 次元上での行列表示でも問題はない。

$$x'_m = f_{-1}(p)x_{n-1} + f_0(p)x_n + f_1(p)x_{n+1} + f_2(p)x_{n+2}$$

$$\begin{cases} f_{-1}(p) = (-p^3 + 2p^2 - p)/2 \\ f_0(p) = (3p^3 - 5p^2 + 2)/2 \\ f_1(p) = (-3p^3 + 4p^2 + p)/2 \\ f_2(p) = (p^3 - p^2)/2 \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 m, n, p は(1)と同様である。これを変形し、行列表示すると(12)式となる。

$$[B_i]_{mn} = \begin{cases} 1 - 2d^2 + d^3 & d < 1 \\ 4 - 8d + 5d^2 - d^3 & 1 \leq d < 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d = \lfloor m * D/U - n \rfloor$$

$$0 \leq m < 8 * U, \quad 0 \leq n < 8 * D \quad (12)$$

(12) 式は、例えば $m=0, n=-1$ や $m=8U-1, n=8D+1$ ($U > D$) の場合でも成立する。そのため入力行列である周波数行列を前後に 2 つ拡張する必要がある。拡張行列を(13)

式に示す。

$$D = \left[\begin{array}{cccc} \overbrace{\begin{matrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 0 & \cdots & 0 \end{matrix}}^{8*U} & & & \\ & I & & \\ & & & \\ 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 \end{array} \right] \left. \vphantom{\begin{matrix} 1 \\ 1 \\ I \\ 0 \\ 0 \end{matrix}} \right\} 8*U + 4 \cdots (13)$$

よって解像度変換+逆DCTを行う行列 G_b は(14)式で求められ、周波数行列 X_D^H を、これを用いて(15)式のように変換できる。

$$G_b = B_i D B_D^t \cdots (14)$$

$$Y_U = G_b X_D^H G_b^t \cdots (15)$$

(3) 符号化状態への変換 (1), (2)の方法を拡張し、符号化状態のまま変換する行列を示す。(1), (2)では演算結果が画素値である。そのため、ブロックごとにDCTを行う行列を(9), (14)式に追加すればよい。その式を(16)~(19)式に示す。

線形補間

$$G_l' = B_U L B_D^t \cdots (16)$$

$$Y_U = G_l' X_D^H G_l'^t \cdots (17)$$

バイキュービック

$$G_b' = B_U B_i D B_D^t \cdots (18)$$

$$Y_U = G_b' X_D^H G_b'^t \cdots (19)$$

4. シミュレーションと考察

本論文では高解像度画像の解像度変換処理を高速かつ低メモリ量で実現することを目的としている。また、写真を一般的な大きさであるL版(89×127mm)で印刷する際、どのようなサイズの画像に対しても200万画素へと解像度変換を行う。そのため、拡大、縮小の各シミュレーションではJPEG形式の入力画像を200万画素へと変換する。バイキュービックを用いた手法(手法1)、線形補間を用いた手法(手法2)でそれぞれ処理を行い、比較手法として、2章で従来手法として紹介した手法(手法3)、現在行われているJPEGを展開後バイキュービックにより解像度変換する手法(手法4)を用いた。なお、逆DCTには多数の高速化手法が提案されており、今回はChenの高速算法⁽⁸⁾を用いた。

〈4・1〉 縮小処理 入力画像として、300万画素~1300万画素のJPEG画像を用い、これらを各手法により200万画素へ縮小した。そのときの処理時間の結果を図3に示す。

提案手法は従来手法である手法3, 4に比べ明らかに高速

に変換可能であると言える。また、手法4は手法1~3に比べ、処理時間の入力画像の解像度に対する変化が小さい。これはJPEG展開処理において時間のかかる逆DCTに高速化手法を用いており、入力画像の解像度が増すごとにその効果が現れるためであると考えられる。しかしメモリ量に関しては、一度展開しているため展開した画像分メモリを確保する必要があり、展開と解像度変換を同時におこなう提案手法ではその分のメモリ量が削減できると考えられる。手法1,2を比べると、解像度変換行列の作成ステップに差があるため、若干線形補間が高速であった。また、従来手法の問題点である、縮小時のリングングは提案手法を用いることで解消できている(図4 先端部等のエッジ付近参照)。

〈4・2〉 拡大処理 拡大時の画質劣化と処理時間についての検討を行う。原画像として200万画素のものを用い、これを縮小した画像を入力画像とし、この入力画像に対し再び200万画素へと拡大処理を行った。また、教師画像として原画像を用い画質評価を行った。比較手法として〈4・1〉節の手法を用い、PSNR⁽⁷⁾により評価を行った。これは、画素単位の平均2乗誤差の逆数に対し、対数を取ったものである。各手法に対する処理時間、評価結果をそれぞれ図5, 6に、また実際に拡大した結果を図7に示す。

図5では拡大倍率が上がるに従って処理時間が減少して

図3 処理時間の比較(縮小時)

Fig. 3. Comparison of processing time (down scaling).

(a) Method 1.

(b) Method 3.

図4 縮小結果

Fig. 4. Down scaling results.

図 5 処理時間の比較 (拡大時)

Fig. 5. Comparison of processing time (up scaling).

図 6 評価結果

Fig. 6. Simulation results.

いる。これは拡大倍率が低いほど入力画像のサイズが大きく、そのため、JPEG の読み込みに時間がかかるためであると考えられる。画質評価の比較結果では手法 3 が最も良好であった。しかし、手法 2 との差は小さく、実際図 7 を見てもさほど違いが見られない。また、図 6 から、この提案手法と展開後解像度変換する手法とでは共にバイキュービックを用いているにもかかわらず評価値に差が見られた。これは提案手法ではブロックごとに適用しているのに対し、展開後解像度変換する手法では全体に適用しているため挿入点異なることが原因と考えられる。そのため、この傾向は画像に依存し、複雑な画像ほどこの傾向が見られた。

提案手法の問題点として、拡大倍率を上げていくと、U 個のブロックごとにブロックノイズが発生することがあげられる (図 8 参照)。これは複数ブロックごとに解像度変換をおこなっているため、拡大したブロック間で計算誤差が発生することが原因と考えられる。この傾向は従来手法でも確認された。

(a) Method 1.

(b) Method 3.

図 7 拡大結果

Fig. 7. Up scaling results.

(a) Before up scaling

(b) After up scaling

図 8 拡大結果

Fig. 8. Up scaling results.

5. おわりに

本論文では、JPEG 展開時逆 DCT に解像度変換処理を組み込むことで、現在使用されている手法より高速かつメモリ量の少ない変換法を提案した。従来法の問題点である縮小時のリングングを、バイキュービック等の補間手法を解像度変換に組み込むことで抑制することも可能となった。また、実際に各解像度の画像に対し解像度変換処理を行うことで、本手法の有効性を確認した。以上の結果から縮小時はより高速な線形補間を用いる方法を、拡大時はバイキュービックを適用した提案手法を使用することが望ましいと考えられる。今後の課題として、拡大時に見られるブロックノイズの抑制があげられ、この解決法として計算済みの上と左のブロックの値を計算に組み込むことが考えられる。

(平成 18 年 10 月 25 日受付, 平成 19 年 2 月 26 日再受付)

文 献

- (1) 花村 剛:「スケーラブルビデオ符号化」, テレビ技報, Vol.17-57, pp.25-30 (1993)
- (2) M. Iwahashi, N. Uebayashi, and H. Kiya: "A Motion Compensation of Scalable Decoder for Drift Reduction", *IEICE Trans.*, Vol.J79-A, No.1, pp.125-134 (1996) (in Japanese)
岩橋政宏・上林紀嘉・貴家仁志:「スケーラブル符号化におけるドリフト誤差低減のための動き補償」, 信学論(A), **J79-A**, 1, pp.125-134 (1996)
- (3) Y. Miyamoto and M. Ota: "Down Sizing of Images on DCT Compressed

Data”, Proc. Of IEICE (1997) (in Japanese)

宮本義弘・太田 睦：「DCT 係数上での画像縮小変換」，信学総大 (1997)

- (4) Y. Miyamoto and Y. Akaiwa : “Image Size Conversion on DCT Compressed Data”, PCSJ97, P-1.2, pp.11-12 (1997) (in Japanese)
宮本義弘・赤岩芳彦：「DCT 係数上での符号化画像のサイズ変換」，PCSJ97, P-1.2, pp.11-12 (1997)
- (5) K. Kojima and H. Kiya : “Generalizations of the Image Resolution Conversions in DCT-Domain using 8”, IEICE Technical Report, DSP98-2 (1998) (in Japanese)
小島一浩・貴家仁志：「8 点逆 DCT を用いる DCT 領域における画像解像度変換法の一般化」，信学技報, DSP98-2 (1998)
- (6) K. Kojima and H. Kiya : “Generalizations of the Image Resolution Conversions Using 8 Points Inversed DCT”, *IEICE Trans*, Vol.J82-A, No.5, pp.599-608 (1999) (in Japanese)
小島一浩・貴家仁志：「8 点逆 DCT を用いる画像解像度変換法の一般化」，信学論, **J82-A**, 5, pp.599-608 (1999)
- (7) 高木幹雄・下田陽久 監修：「新編 画像解析ハンドブック」，東京大学出版 (2004)
- (8) W. H. Chen, C. H. Smith, S. C. Fralick : “A fast computation algorithm for the discrete cosine transform”, *IEEE Trans. COM.*, Vol.25, No.9, pp.1004-1009 (1977)

中 井 啓 輔

(非会員) 1982 年 12 月 21 日生。2007 年 3 月大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了。現在画像処理の研究に従事。

吉 岡 理 文

(正員) 1968 年 12 月 10 日生。1996 年 3 月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年 4 月大阪府立大学工学部助手。1998 年 11 月同講師，2004 年 4 月同助教授となり現在に至る。画像処理等の研究に従事。工学博士，情報処理学会，計測自動制御学会会員。

大 松 繁

(正員) 1946 年 12 月 16 日生。1974 年大阪府立大学大学院工学研究科博士課程修了。同年徳島大学工学部助手，1988 年同知能情報工学科教授。1995 年より大阪府立大学工学部情報工学科教授となり，現在に至る。ニューラルネットワークなどの研究に従事。1991 年電気学会論文賞，1995 年計測自動制御学会論文賞各受賞。*IEEE Trans. on Neural Networks* の Associate Editor。工学博士。計測自動制御学会，SIAM，IEEE 会員。

北 耕 次

(非会員) 1989 年 3 月大阪電気通信大学電子物性工学科卒業。同 4 月，ノーリツ鋼機 (株) 入社，写真処理機器の画像補正アルゴリズム開発に従事，現在に至る。

村 井 猛

(非会員) 2004 年 3 月和歌山大学システム工学研究科卒業。同 4 月，ノーリツ鋼機 (株) 入社，写真処理機器の画像補正アルゴリズム開発に従事，現在に至る。