JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	JPEG2000プロセスに適応させたWavelet変換による顔画像認識
Author(s)	中村,一也; 剣持,雪子; 小谷,一孔
Citation	情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2002(120): 165-170
Issue Date	2002-12
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/3284
Rights	社団法人 情報処理学会, 中村一也／剣持雪子／小谷一孔, 情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2002(120), 2002, 165-170. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

オーディオビジュアル複合情報処理　39－32
(2002. 12. 17)

JPEG2000プロセスに適応させたWavelet変換による顔画像認識

中村　一也†　剣持　雪子†　小谷　一孔†

† 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
E-mail: {k-nakamu, kenmochi, ikko}@jaist.ac.jp

あらまし　顔画像からの個人識別は，柔軟なインターフェイスとしての利用が期待できる．特に，既存の画像処理プロセスに識別プロセスを組み込むことで処理速度やコストにメリットが生じる．既存の手法としてはJPEGプロセス中のDCT係数を用いた顔画像認識が提案されている．しかしながら，この手法は，低ビットレートでの認識精度が急激に低下する問題があった．本研究は，符号化のアルゴリズムとしてWavelet変換を採用しているJPEG2000に着目し，ビットストリーム中のWavelet係数を用いた顔画像認識を試みる．また，識別実験を行い，本手法の有効性を定量的に示す．

キーワード　JPEG2000，Wavelet変換，符号化歪み，個人識別

Face recognition by wavelet transform in JPEG2000 process

Kazuya NAKAMURA†, Yukiko KENMOCHI†, and Kazunori KOTANI†

† School of Information Science, Japan Advance Institute of Science and Technology
Asahidai 1-1, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa-ken, 923-1292 Japan
E-mail: {k-nakamu, kenmochi, ikko}@jaist.ac.jp

Abstract　Eickeler et al. have proposed a face recognition system for compressed images such as DCT coefficients of JPEG. It is pointed out, however, that recognition rates become low when compression ratio are high. Because encoding errors of JPEG2000-compressed images are smaller than those of JPEG-compressed images, we propose a face recognition system for JPEG2000-compressed images which are obtained by wavelet transform. We also show some experimental results comparing with those of Eickeler's system.

Key words　JPEG2000, wavelet tranform, encoding errors, individual identification

1. まえがき

顔画像からの個人識別は，セキュリティとしての頑健さはないもののユーザへの負担が少ない柔軟なインターフェイスとしての利用が期待できる．特に，既存の画像処理プロセスを利用して識別処理を行うことによって処理速度やコストに大きなメリットが期待できる．中でも，画像圧縮プロセスに組み込むことは，適用範囲の広さや，辞書画像の復元が可能なことによる類似画像検索への応用，そして辞書画像のデータベースの容量を削減できる点から，独立した識別プロセスを構成するより有効であると考えられる．

これまでに，画像圧縮プロセスに識別プロセスを組み込んだ手法として，Eickelerらにより JPEG プロセス中の離散コサイン変換 (Discrete Cosine Transform : DCT) の係数を用いた顔画像認識が提案されている [1]．図 1 に Eickeler らの手法のブロック図を示す．この手法は，入力画像が JPEG 画像 (JPEG で圧縮された画像) であるときに，JPEG 画像を原画像に復元してから特徴量を抽出し，個人識別を行う手法に比べ，逆 DCT を行わずに特徴量 (DCT 係数) を抽出し，それを用いて個人識

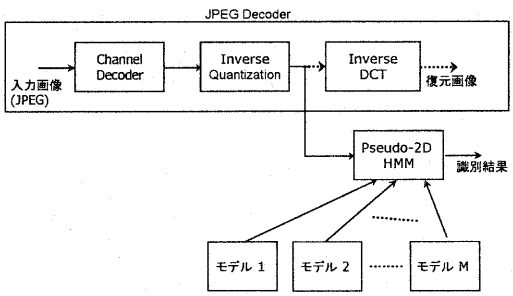


図 1　Eickeler らの手法 [1] のブロック図
Fig. 1　Block diagram of Eickeler's method [1]

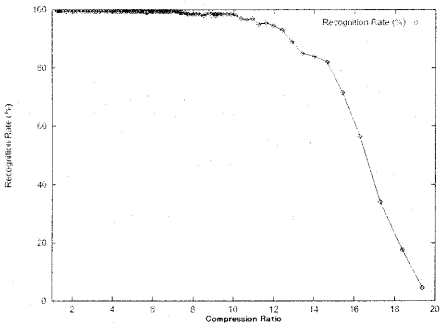


図 2　Eickeler らの手法の圧縮率に対する識別特性 [1]
Fig. 2　recognition characteristic to compression ratio of Eickeler's method

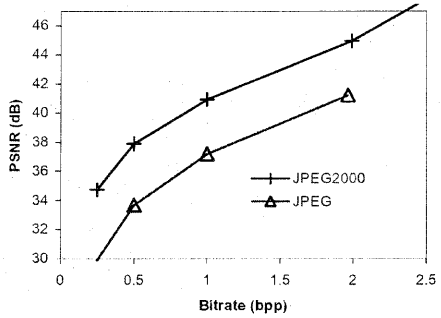


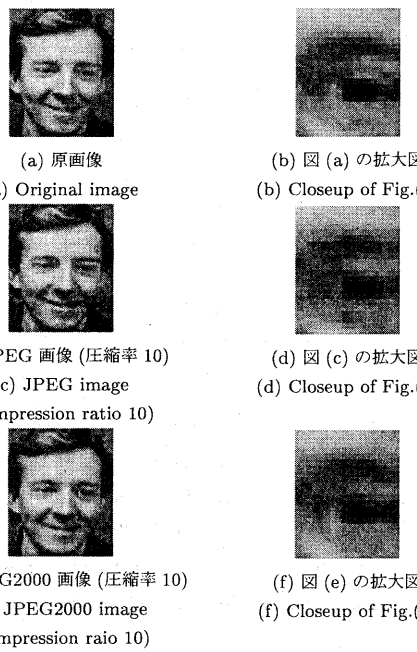
図 3　自然画像を対象とした JPEG 画像と JPEG2000 画像のビットレートに対する PSNR の比較 [3]
Fig. 3　Rate-distortion results for the JPEG2000 versus the JPEG for a natural image [3]

別することで，特徴抽出に掛かる処理コストを小さくでき，顔画像認識を高速に行うことができる．また，既存の JPEG システムへの組み込みが容易で，JPEG で構成されたデータベースへ適用しやすく実用性が高い．しかしながら，低ビットレートの JPEG 画像の DCT 係数を用いた場合において，圧縮によるブロックノイズなどの画像歪みの影響が強くなることに加え，Eickeler らは 8 × 8 ブロックの低周波成分の DCT 係数 15 個を用いて個人識別を行っているため，符号化歪みが低周波成分まで及んだ際の影響が大きくなる．このため，低ビットレートにおける識別精度が高ビットレートに比べて著しく低下している (図 2)．通常 JPEG 画像は圧縮率が 10〜20 の中・低ビットレートで利用されることが多いため，低ビットレートでの識別精度の低下による影響は大きい．また，JPEG アルゴリズムでは，画像を 8 × 8 画素のブロックに分割して符号化するため，顔画像の位置の正規化誤差による影響が大きいと考えられる．

一方，JPEG2000 は符号化のアルゴリズムとして Wavelet 変換 [2] を採用しており，可逆圧縮が可能なことや，JPEG 画像に比べて PSNR が高く，圧縮による PSNR の低下も小さいという特徴がある [3]．図 3 に JPEG 画像と JPEG2000 画像 (JPEG2000 で圧縮された画像) のビットレートに対する PSNR を比較した図を，また，図 4 に原画像 (図 4(a)) を JPEG 圧縮した画像 (図 4(b)) と JPEG2000 圧縮した画像 (図 4(c)) を示す．図 4 より JPEG2000 画像では JPEG 画像の様なブロック歪みが生じていないことが分かる．このように JPEG2000 画像は JPEG 画像よりも高画質が得られるため高精度な顔画像認識が期待できる．また，多重解像度解析により複数の解像度に分解し，識別を行うことでノイズや正規化誤差に頑健な顔画像認識も期待できる [4]．本稿では，低コストで高速・高精度な顔画像認識システムの構築を目指し．JPEG2000 画像から得られるビットストリーム中の Wavelet 係数により顔画像認識を試みる．

2. JPEG2000 プロセスに適用する顔画像認識手法の構築

JPEG2000 は国際基準として 2001 年 1 月に標準化されたカラー静止画像の符号化方式 [5] で，符号化アルゴリズムには



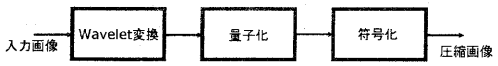
(a) 原画像　(b) 図 (a) の拡大図
(a) Original image　(b) Closeup of Fig.(a)
(c) JPEG 画像 (圧縮率 10)　(d) 図 (c) の拡大図
(c) JPEG image (compression ratio 10)　(d) Closeup of Fig.(c)
(e) JPEG2000 画像 (圧縮率 10)　(f) 図 (e) の拡大図
(e) JPEG2000 image (compression raio 10)　(f) Closeup of Fig.(e)

図 4　JPEG 画像と JPEG2000 画像の比較
Fig. 4　Comparison of the JPEG image and the JPEG2000 image

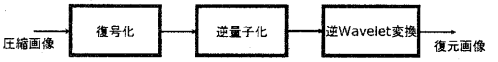
Wavelet 変換が採用されている (図 5(a)，(b))．Wavelet 係数を特徴量として画像認識を行うことで，JPEG2000 プロセスの特徴抽出部への組み込みが容易になる．

2.1 JPEG2000 プロセスに組み込んだ顔画像認識システム

JPEG2000 では離散 Wavelet 変換による多重解像度解析をフィルタバンクに基づいて実現している．変換フィルタは用途別に 2 種類用意されている．可逆，非可逆圧縮をサポートする (5, 3) 可逆フィルタと非可逆符号化を，より高いレート対歪み特性で実現するための (9, 7) 非可逆フィルタである．JPEG2000 Part 1 では，水平方向，垂直方向にそれぞれ処理を施すことで，画像を 4 つの帯域 (LL(低域) 成分・HL(水平方向高周波)



(a) JPEG2000 エンコーダ
(a) JPEG2000 encoder



(b) JPEG2000 デコーダ
(b) JPEG2000 decoder

図 5 JPEG2000 プロセスのブロック図
Fig. 5 Block diagram of JPEG2000 process

成分 · LH(垂直方向高周波) 成分 · HH(対角方向高周波) 成分) に分割し，多重解像度解析と同様に，最低域 (LL) に対して再帰的に Wavelet 変換を施す (オクターブ分割 [7])．一方，復号側では，シンセシスバンクを用いて分解と逆の手順で合成を繰り返し行う．JPEG2000 ではこれらの処理をリフティングスキーム [6] を用いて実行する．上述のように，JPEG2000 は符号化のアルゴリズムとしてオクターブ分割による Wavelet 分割を採用しているため，容易に JPEG2000 プロセス中より多重解像度解析と等価な Wavelet 係数を抽出することができる．特に，JPEG2000 画像から直接 Wavelet 係数を抽出することで，復号化せずに Wavelet 係数を利用でき，汎用性が高いといえる．しかしながら，Eickeler らの手法と同様に，識別精度が JPEG2000 画像の圧縮率に依存すると考えられ，本稿では，圧縮率に対する識別特性について識別実験を行い検討する．図 6(a), (b) に本研究が目指す JPEG2000 プロセスに組み込んだ顔画像認識のブロック図を示す．

2.2 Wavelet 係数の識別アルゴリズム

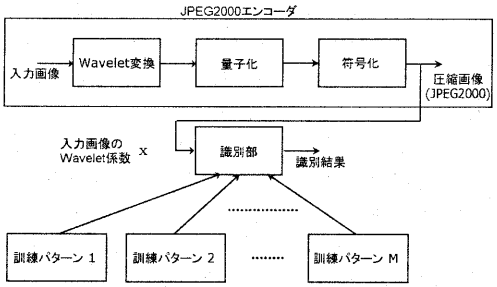
まず，今節で識別アルゴリズムの説明のために使用する記号について示す．

$d_i(m,n)$:
点 (m,n) の輝度値が $d_i(m,n)$ の辞書画像 ($\in$ クラス i)
$f(m,n)$: 点 (m,n) の輝度値が $f(m,n)$ の入力画像
$h(g(m,n))$:
画像 $g(m,n)$ に対して JPEG2000 プロセス中の Wavelet 変換前までの処理を行ったデータ
$\mathbf{p}_i^{(j,\mathrm{s})}$, $\mathbf{p}_i^{(j,\mathrm{h})}$, $\mathbf{p}_i^{(j,\mathrm{v})}$, $\mathbf{p}_i^{(j,\mathrm{d})}$:
クラス i の訓練パターン (Level j Wavelet 係数)
$\mathrm{T}^{(j,k)}$, $\mathrm{T}^{(j,h)}$, $\mathrm{T}^{(j,v)}$, $\mathrm{T}^{(j,d)}$:
$\mathrm{T}^{(j,k)} = \{\mathbf{p}_i^{(j,k)}\}$, $k = \mathrm{s,h,v,d}$
$\mathbf{x}^{(j,\mathrm{s})}$, $\mathbf{x}^{(j,\mathrm{h})}$, $\mathbf{x}^{(j,\mathrm{v})}$, $\mathbf{x}^{(j,\mathrm{d})}$:
入力画像の Level j Wavelet 係数

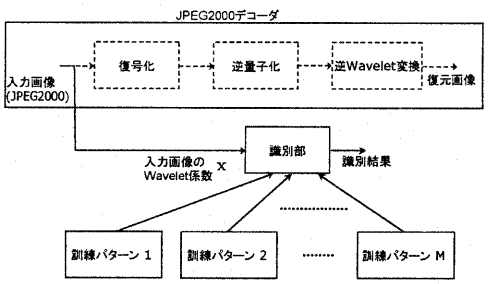
式 (3)〜(6) に，実験で用いた (5, 3) 可逆フィルタのリフティングスキームを用いて点 (m,n) の輝度値が $g(m,n)$ の画像データから Wavelet 係数を抽出する式を示す [8]．ただし，$w_{m,n}^{(0,\mathrm{s})} = h(g(m,n))$ とする．

$$H_{m,n}^{(j)} = w_{2m+1,n}^{(j-1,s)} - \lceil (w_{2m,n}^{(j-1,s)} + w_{2m+2,n}^{(j-1,s)} - 1)/2 \rceil \quad (1)$$

$$L_{m,n}^{(j)} = w_{2m,n}^{(j-1,s)} + \lfloor (H_{m-1,n}^{(j)} + H_{m,n}^{(j)} + 2)/4 \rfloor \quad (2)$$



(a) エンコーダに組み込んだ顔画像認識システム
(a) Our face recognition system in JPEG2000 encoder



(b) デコーダに組み込んだ顔画像認識システム
(b) Our face recognition system in JPEG2000 decoder

図 6 JPEG2000 プロセスに組み込んだ顔画像認識システム
Fig. 6 Our face recognition system in JPEG2000 process

とするとき，

$$w_{m,n}^{(j,\mathrm{v})} = L_{m,2n+1}^{(j)} - \lceil (L_{m,2n}^{(j)} + L_{m,2n+2}^{(j)} - 1)/2 \rceil \quad (3)$$

$$w_{m,n}^{(j,\mathrm{s})} = L_{m,2n}^{(j)} + \lfloor (w_{m,n-1}^{(j,\mathrm{v})} + w_{m,n}^{(j,\mathrm{v})} + 2)/4 \rfloor \quad (4)$$

$$w_{m,n}^{(j,\mathrm{h})} = H_{m,2n+1}^{(j)} - \lceil (H_{m,2n}^{(j)} + H_{m,2n+2}^{(j)} - 1)/2 \rceil \quad (5)$$

$$w_{m,n}^{(j,\mathrm{d})} = H_{m,2n}^{(j)} + \lfloor (w_{m,n-1}^{(j,\mathrm{h})} + w_{m,n}^{(j,\mathrm{h})} + 2)/4 \rfloor \quad (6)$$

ここで

$w_{m,n}^{(j,s)}$, $w_{m,n}^{(j,h)}$, $w_{m,n}^{(j,v)}$, $w_{m,n}^{(j,d)}$:
点 (m,n) の Level j Wavelet 係数
$L^{(j)}(m,n)$:
$w_{m,n}^{(j-1,s)}$を横方向に Wavelet 変換したときの低周波成分
$H^{(j)}(m,n)$:
$w_{m,n}^{(j-1,s)}$を横方向に Wavelet 変換したときの高周波成分
$\lceil\ \rceil$: 切り捨て演算
$\lfloor\ \rfloor$: 切り上げ演算

ただし，s, h, v, d は，それぞれ LL, HL, LH, HH 成分に対応する．本手法の識別アルゴリズムは，次の 3 つの過程に分けることができる．

Step 1 : 訓練パターンの集合の作成

まず，識別の前準備として訓練パターンを作成する．訓練パターン $\mathbf{p}_i^{(j,k)}$ は，属するクラス i が既知である辞書画像 $d_i(m,n)$ から，$w_{m,n}^{(0,s)} = h(d_i(m,n))$ として，式 (3)〜(6) を用いて作成する．今回は辞書画像として，Eickeler らと同様に非圧縮の画像を用いる．まず，辞書画像 $d_i(m,n)$ から Wavelet

係数 $w_{m,n}^{(j,k)}, k = \mathrm{s,h,v,d}$ を抽出し，ラスタスキャンオーダに従って縦ベクトルに整列させ，$\mathbf{p}_i^{(j,s)}, k = \mathrm{s,h,v,d}$ を得る．これをすべての辞書画像に対して行い，訓練パターンの集合 $\mathrm{T}^{(j,k)}, k = \mathrm{s,h,v,d}$ を作成する．

Step 2：JPEG2000 プロセス中の Wavelet 係数の抽出

次に入力画像 $f(m,n)$ から特徴量である Wavelet 係数を抽出する．一枚の画像から，$w_{m,n}^{(0,s)} = h(f(m,n))$ として式 (3)〜(6) を用いて識別に用いる Wavelet 係数 $w_{m,n}^{(j,k)}, k \in \{s,h,v,d\}$ を抽出する．次に抽出した $w_{m,n}^{(j,k)}$ をラスタスキャンオーダに従って縦ベクトルに整列させ，特徴ベクトル $\mathbf{x}^{(j,k)}$ を得る．

Step 3：Step 1 で作成した訓練パターンと Step 2 で抽出した Wavelet 係数を用いた個人識別

特徴ベクトル $\mathbf{x}^{(j,k)}$ の属するクラスの決定には最近隣法 [9] を用いる．パターン間の距離尺度には，式 (7) のユークリッド距離を用いる．

$$D^2\left(\mathbf{x}^{(j,k)}, \mathbf{p}_i^{(j,k)}\right) = \left(\mathbf{x}^{(j,k)} - \mathbf{p}_i^{(j,k)}\right)^T \left(\mathbf{x}^{(j,k)} - \mathbf{p}_i^{(j,k)}\right) \quad (7)$$

入力パターンが属するクラスの決定式は式 (8) となる．

$$\min_{\mathbf{p}_l^{(j,k)} \in \mathrm{T}^{(j,k)}} D\left(\mathbf{x}^{(j,k)}, \mathbf{p}_l^{(j,k)}\right) = D\left(\mathbf{x}^{(j,k)}, \mathbf{p}_i^{(j,k)}\right) \Rightarrow \mathbf{x}^{(j,k)} \in \text{クラス } i \quad (8)$$

ただし，$k \in \{\mathrm{s,v,h,d}\}$ である．次に，この識別アルゴリズムを用いて識別実験を行い，識別特性について検討する．

3. 本手法による顔画像識別実験

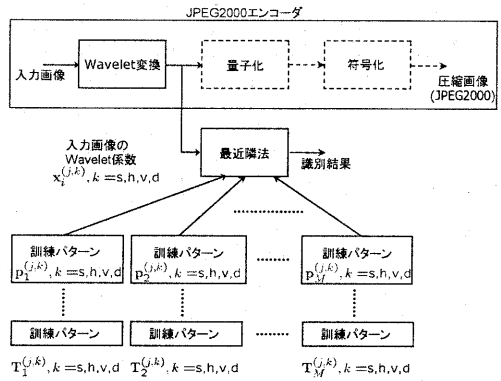
ここでは，量子化前と後の Wavelet 係数による識別精度の比較実験を行い，符号化による圧縮に対して頑健な識別特性を実現するための Wavelet 係数について検討する．更に，Eickeler らの手法との比較実験を行う．

本手法の識別特性を調べるため，2.2. 節の識別アルゴリズムを用いた識別実験を行った．図 7(a), (b) に，本稿で実験に用いた識別アルゴリズムのブロック図を示す．実験に用いた画像は，Eickeler らの手法と比較するため文献 [1] の実験で用いられた ORL Face Database [10] を使用した．ORL Face Database の主な特徴は以下の通りである．

- PGM フォーマット (グレースケール 256 階調)
- 画像サイズは 92×112[pixels]
- 異なる人物 40 人各 10 枚の計 400 枚で構成
- 正面顔画像 (ただし，横方向に関しては傾きあり)
- 目の開閉，笑顔・無表情，眼鏡の有無により同一人物でも顔の特徴が変化

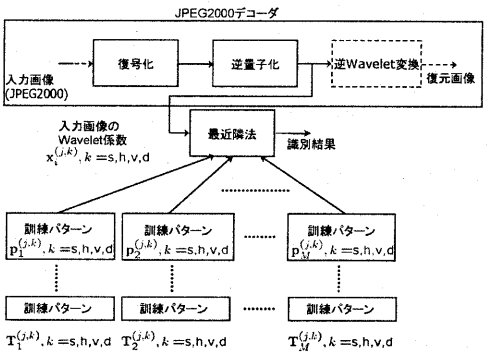
3.1 実験条件

前章の識別アルゴリズムを適用して，符号化による識別精度への影響を検討するために，Closed Data に対して識別実験を行い，量子化前の Wavelet 係数を用いた識別との比較を行った．また，各周波数帯域，Level の Wavelet 係数の識別精度を調べ，Eickeler らの手法と比較するため Open Data に対しても識別実験を行った．Closed Data，Open Data については以下の通りである．



(a) エンコーダに組み込んだ識別方法

(a) Recognition method in JPEG2000 encoder



(b) デコーダに組み込んだ識別方法

(b) Recognition method in JPEG2000 decoder

図 7 実験に用いた識別方法

Fig. 7 Recognition mehtod used for the experiments

- Closed Data -入力画像が辞書画像に含まれる場合-
  - 一人につき 5 枚の計 200 枚を辞書画像として使用
  - 辞書画像を入力画像として使用
- Open Data -入力画像が辞書画像に含まれない場合-
  - 訓練パターンは Closed Data と同じものを使用
  - 残りの 200 枚を入力画像として使用

ただし，$f(m,n)$ が辞書画像 $d_i(m,n)$ を JPEG2000 で圧縮した画像の場合は，Closed Data に分類する．入力画像として，圧縮率 2〜20 の間で変化させた JPEG2000 画像と識別特性を比較するために ORL Face Database の原画像を使用し，Level 1〜5，LL，HL，LH，HH 成分について実験を行った．本稿では，特に明記しない限り式 (9) で定義したものを圧縮率とする．

$$\text{圧縮率} = \frac{\text{圧縮前の画像のファイルサイズ}}{\text{圧縮後の画像のファイルサイズ}} \quad (9)$$

図 8 に実験に用いた入力画像の一例を示す．

3.2 実験結果と考察

Closed Data の実験結果を図 9 に，Open Data の実験結果を図 10 に示す．ここでは量子化前と後の Wavelet 係数による識別特性を同一の図で比較するため，原画像を圧縮率 1 の画像として扱う．

これらの識別特性から以下のようなことが分かる．

(a) ORL Face Database の原画像
(a) original image
of ORL Face Database

(b) JPEG2000 画像 (圧縮率 2)
(b) JPEG2000 image
(Compression ratio 2)

(c) JPEG2000 画像 (圧縮率 4)
(c) JPEG2000 image
(Compression ratio 4)

(d) JPEG2000 画像 (圧縮率 20)
(d) JPEG2000 image
(Compression ratio 20)

図 8　実験に使用した画像の一例
Fig. 8　Example of the image used for experiments

- LL 成分では圧縮率に対する識別率の変化が最も小さい (図 9(a))
- HL, LH, HH 成分では高い Level の Wavelet 係数ほど圧縮率に対する識別率の変化が小さい (図 9(b), (c), (d))

これは JPEG2000 プロセスの量子化において圧縮率を高くした場合，高周波成分を優先的に削減するため，符号化歪みによる LL 成分への影響が最も小さく，圧縮率に対する識別精度の低下が他の周波数帯域に比べ小さくなったものと考えられる．

次に，Open Data を用いた実験結果から，周波数帯域，Level の Wavelet 係数による識別精度について検討すると，図 10 より，

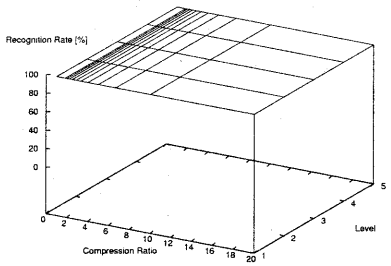
- LL 成分による識別率が最も高い (図 10(a))
- Level を高くすることで識別率が高くなる傾向がある (図 10(b)(c)(d))

これは，LL 成分が顔の傾きや眼鏡の影響に頑健なためだと考えられる．HL, LH, HH 成分については，解像度が高いときは影響の強かったノイズや眼鏡，顔の位置ずれの影響が，解像度を低くすることで小さくなり，識別率の低下を抑えることに寄与したものと考えられる．

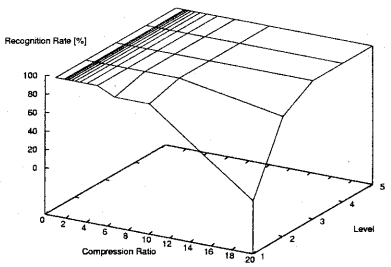
最後に，上記の特性を持つ LL 成分を用いた本手法と Eickeler らの手法を圧縮率に対する識別特性で比較する．なお，LL 成分による識別において Level の変化による識別特性への影響があまり顕著でなかったため，識別特性の一例として Level 1 についてのみ比較する．図 11 に圧縮率に対する本手法と Eickeler らの手法の識別率を比較した図を示す．Eickeler らの手法と比較した場合，圧縮率が 13 より高い低ビットレートにおいて，本手法の識別率の方が高くなり，Eickeler らの手法よりも圧縮に対して頑健であるといえる．

4. おわりに

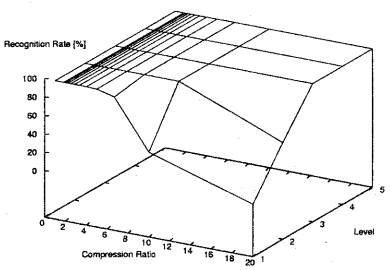
特徴抽出部に JPEG2000 プロセスを組み込んだ顔画像認識手法を構築し，識別実験を行った，その結果，LL 成分を用い



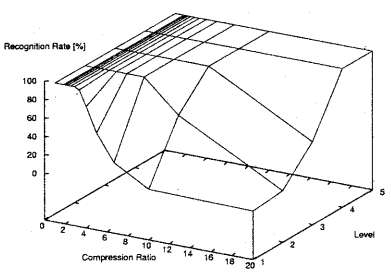
(a) LL 成分
(a) LL band



(b) HL 成分
(b) HL band

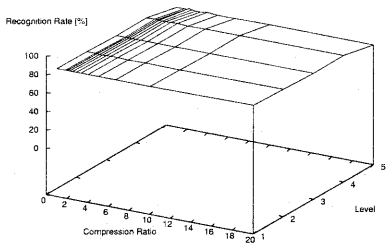


(c) LH 成分
(c) LH band

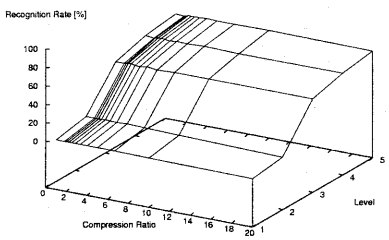


(d) HH 成分
(d) HH band

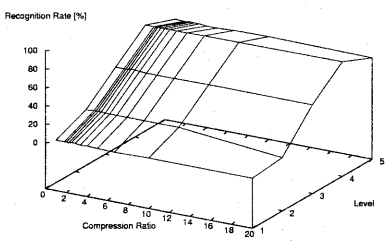
図 9　圧縮率，Level に対する識別率の特性 (Closed Data)
Fig. 9　Characteristic of recognition rate to compression ratio and Level(Closed Data)



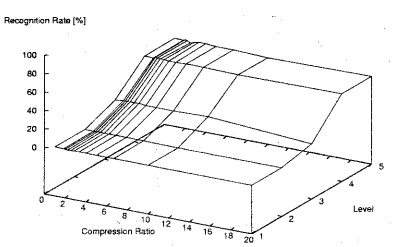
(a) LL 成分
(a) LL band



(b) HL 成分
(b) HL band



(c) LH 成分
(c) LH band



(d) HH 成分
(d) HH band

図 10　圧縮率，Level に対する識別率の特性 (Open Data)
Fig. 10　Characteristic of recognition rate to compression ratio and Level(Open Data)

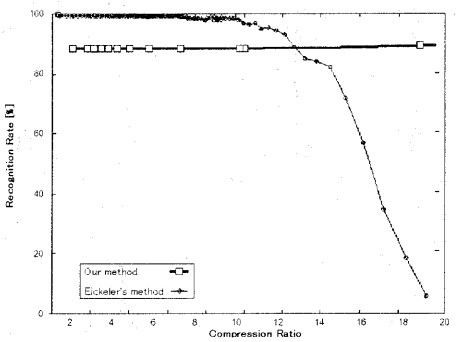


図 11　圧縮率に対する本手法 (Level 1，LL 成分) と Eickeler らの手法の識別率の比較
Fig. 11　Comparison of recognition rate to compression ratio of the our method(Level 1, LL band) and the Eickeler's method

て識別を行うことで，Eickeler らの手法よりも圧縮に対して頑健な顔画像認識を行うことができ，本手法の有効性を示すことができた．今後の課題は，高ビットレートにおける識別精度の改善，画像サイズの大きな顔画像やカラーの顔画像への適用を考えている．

文　献

[1] S. Eickeler, S. Müller, G. Rigoll, "High Quality face Recognition in JPEG Compressed Images, " Proc International Conference on Image Processing, Vol. 1999, No. Vol. 1, pp. 672-676, 1999.

[2] 中野 宏毅, 山本 鎮男, 吉田 靖夫, ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版株式会社, 1999.

[3] A. N. Skodras, C. A. Chiristopoulos, T. Ebrahimi, "JPEG2000: The Upcoming Still Image Compression Standard, " Pattern Recognition Letters, Vol. 22, pp. 1337-1345, 2001.

[4] 金森 証, 小谷 一孔 "Wavelet 変換を用いた顔距離顔画像の特徴解析に関する研究 - 顔距離画像の Wavelet 係数による個人識別の抽出 - , " 電子情報通信学会技術報告書, CS2001-118, pp41-46, Dec.2001.

[5] ISO/IEC 15444-1, "Information technology -JPEG2000 image coding system- Part 1:Core coding system, " ISO/IEC JTC 1/SC29/WG1, Jan. 2001.

[6] W.Sweldens, I.Daubechies,"Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps," J.Fourier Anal. Appl. , Vol.4, No.3, pp247-269, 1998.

[7] S. G. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition : The Wavelet Representation, " IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11, pp. 674-693, July. 1989.

[8] 上野 幾朗, 渥美 栄司, 小野 文孝, "静止画符号化の新国際標準方式 (JPEG2000) の概要, " 映像情報メディア学会誌, Vol54, No. 2, pp164-171, 2000.

[9] T. M. Cover, P. E. Hart, "Nearest Neighbour Pattern Classification, " IEEE Transactions in Information Theory, Vol. IT-13, No. 1, pp21-27, 1967.

[10] AT&T Laboratories Cambridge, http://www.uk.research.att.com/ .