

ハイブリッド顔認識システムのための3点指定による顔画像正規化

橋本 麻子^{*,**}・小館香椎子^{*,***}

*日本女子大学大学院理学研究科 〒112-8681 東京都文京区目白台 2-8-1

**現在： キヤノン株式会社オプティクス技術研究所 〒321-3292 宇都宮市清原工業団地 20-2

Normalization of Facial Images for Hybrid Face Recognition System Using Three Feature Point Extraction

Asako HASHIMOTO^{*,**} and Kashiko KODATE^{*,***}

*Faculty of Science, Japan Women's University, 2-8-1, Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681

**Present address: Optics Technology Research Center, Canon Inc., 20-2, Kiyohara Kogyo Danchi, Utunomiya-shi 321-3292

The performance improvement has been investigated by the authors' group of a hybrid face recognition system composed of a computer and a parallel joint transform optical correlator (JTC), employing the binary zone plate array. In this paper, we propose a novel method of pre-processing by extracting 3 feature points (the central edges of eyes and the low end of nose) to normalize and to frame the face image which should improve the processing speed, reproducibility and handling simplicity. Because the computer controls the sequence of discrimination processes, the general users can easily operate the system. We made a series of experiments to simulate the users' operation, and a satisfactory performance was obtained.

1. はじめに

社会の情報化の進展に伴い、顔画像からの個人識別はセキュリティやヒューマンインターフェイスなどの多くの応用が考えられるので、近年盛んに研究されている¹⁾。従来の電子的画像処理としては、顔画像そのものをパターンとして扱い、統計的パターン認識手法を適用した方法についていくつかの提案がある。固有顔 (eigenface) 法や等濃度分布にもとづく識別、粗密濃淡モザイクを用いた識別などがあり、一定の撮影条件では認識率・排他率ともに90%以上と実用レベルまで達しているが^{2,3)}、グレースケールの濃淡画像により認識を行っている手法が多く、ロバスト性が弱められている。

これら電子的デジタル処理のみによるアプローチ以外に光によるパターン認識技術がある⁴⁾。レンズのフーリエ変換機能を用い、画素数に関係なく2次元画像の演算を瞬時・並列に処理することが可能で、この点では電子的なシリアル演算より原理的にすぐれている。最近ではフィルタ

リング機能をもった液晶空間光変調器の開発が進み、国内外で指紋センサーや軍用機の追尾などにも使用されている^{5,6)}。

筆者らは、これまで結合変換相関 (JTC) 方式によって顔認識ができることを実験的に示した⁷⁾。さらに、フーリエ変換素子として高効率、平板構造などの特徴をもつバイナリーゾーンプレートアレイ (binary zone plate array)⁸⁾を用いた光並列相関器を提案し、スループットの向上をはかるとともに、システムのフレキシビリティを高めるため、これにパーソナルコンピュータによる前後処理を付け加えた、光・電子ハイブリッドシステムを構築した。光並列処理の原理的な有効性は東京大学グループによる文字認識の実験⁹⁾および日本女子大学グループによる顔認識の実験¹⁰⁾によって示された。認識率向上のための前処理と経時変化、表情変化した正面平常顔についてシステム評価実験を行い、登録者・未登録者の識別および本人同定について90%を超す認識率が実現できることを確かめている^{10,11)}。また、写真取得の照明条件や写真サイズに対して高いロバスト性があることを確かめ、膨大なファイ

***E-mail: kodate@sakura.jwu.ac.jp

ルから特定人物を検索する犯罪捜査への適用実験なども検討している¹²⁾。

顔画像認識システムをさらに実用性の高いものとするには (1) 信頼性が高いこと, (2) 手軽に操作できること, (3) 迅速な処理ができること, を同時に満たすことが要求される。これらの要求は不特定多数の人がシステムを利用し操作を行うために重要である。しかし, サイズ・位置がさまざまである顔の原画像を自動的に取り込んで認識することは簡単でなかった。これまで肌色分布のような色情報を用いた顔領域の自動抽出¹³⁾や, 顔の特徴点をもとにした顔の位置検索に関する研究¹⁴⁾などが報告されているが, 実用に耐える成果には至っていない。したがって比較的簡単な前処理によって光学的な認識処理部に適した顔画像の正規化, 切り出しを連続的に実行する技術を確認することは, きわめて重要な課題である。

本論文ではまず, 構築したハイブリッド顔認識システムについて述べる。次に従来の前処理操作に加えて, 新たに考案した3点指定による顔画像の正規化と切り出し処理について述べる。さらにこれらを取り込んだ顔画像認識システムにおける有効性を確かめるために行った登録者・未登録者の識別実験結果について述べる。また, 表情変化を伴った入力顔画像に対する依存性について検討し, 最後に5人の被験者による, コンピューターへのログイン想定実験によるシステム評価について記述する。

2. ハイブリッド顔認識システム

2.1 ハイブリッド顔認識システムの構成

Fig. 1に構築したハイブリッドシステムを示す。電子処理では時間を要する2次元空間パターンマッチング処理を光並列演算による結合変換相関器 (JTC) で置き換え, その前後の処理をコンピューターに担わせた3層構造になっている。デジタルカメラで撮影された顔画像をコンピューターに取り込み, 顔領域のみを切り出し, 大きさを正規化し, 二値化などの前処理を施す。この画像を入力画像として光並列相関器に送り, あらかじめ同様の前処理を施したデータベースから読み出した参照画像と並べて光相関演算を行う。光並列相関器は光源として He-Ne レーザー ($\lambda=633\text{ nm}$) を用い, コンピューターから電気書き込み型空間光変調器 (TNL-SLM) に送られた5組の入力・参照顔画像を平行光で読み出し, 5チャンネルのバイナリーゾーンプレートアレイ (BZPA 1) で同時にフーリエ変換し, 得られた干渉縞 (ジョイントパワースペクトラム) を光書き込み型空間光変調器 (PAL-SLM) に書き込む。これらの像を PAL-SLM の反対側から読み出し, BZPA 2

で再びフーリエ変換し CCD カメラで同時に5個の相関信号を検出する。順次参照画像を入れ替えて光相関演算を繰り返す。すべての組み合わせに対する相関値を測定しコンピューターのメモリー上に蓄積する。

2.2 識別処理

再びコンピューター上で識別のための後処理を加え, 式 (1) で定義する比較値 C_i を求めこの値により登録者であるか未登録者であるかの識別を行う¹⁰⁾。

$$C_i = \left(\sum_{j=1}^N P_{ij} / P_{i\max} - 1 \right) / N - 1 \quad (1)$$

ここで, N はデータベース中の参照画像の数, P_{ij} は code # i と code # j の相関強度値, $P_{i\max}$ は $P_{ij} \sim P_{iN}$ の相関強度値の中での最大値を示す。

C_i がはじめに設定された閾値よりも高ければ入力画像 code # i は未登録者, 低ければ入力画像 code # i は登録者と識別され, $P_{i\max}$ の値を示す参照画像が本人であると同定する。

2.3 入力画像正規化の必要性

JTC 法による相関信号は参照画像と入力画像の相対位置変化に対して許容度大きい (シフト不変性) が相対的な大きさの変化には敏感である (相似則)。これまでの顔認識実験から, 本システムにおける大きさの許容範囲は $\pm 3\%$ であることがわかっている。また, 顔画像を切り出すときの正規化は認識の信頼性の向上に有効である。したがって, 本システムの信頼性の向上のためには従来からのハイブリッド顔認識システムの前処理部分に, 簡単な操作で行える顔画像の正規化¹⁵⁾と切り出し処理を導入することが有効である。

3. 3点指定による顔画像の正規化と切り出し

従来は JTC による顔画像認識実験において被験者の髪型や衣服の影響をさけるために「眉の上から顎の下まで」を切り取る作業を操作者が手動で行ってきた。この操作では操作者の熟練度が必要とされ, また処理に要する時間が長くなることが欠点であった。操作者の熟練に依存せず操作が迅速に行える切り出し方として種々の試みを行った中で, 次に述べる方法が最もすぐれていることが判明した。

Fig. 2(a), (b), (c) に示すようにデジタルカメラで撮影された正面平常の顔画像から本人の意思では最も動きにくいと考えられる両目頭と鼻下点の3点を指定してクリックする。この3点を結ぶ三角形の面積 T を計算し, ある一定値 N を用いて倍率 N/T で縮小, 拡大して表示した。 N の値の選び方は 128×128 ピクセルの画面に平均的な参照画像が眉の上から顎までちょうど収まるように決め

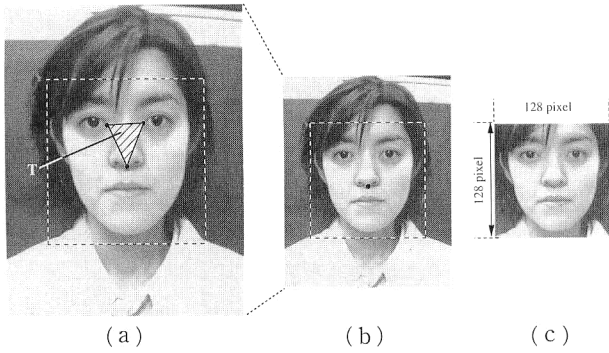


Fig. 2 Pre-processing of face image used in correlator for the improvement of performance of correlation operation. (a) Captured image from digital camera. (b) Normalized image by a scale up or down with the area of a triangle. (c) Cut image to a size of 128×128 pixel².

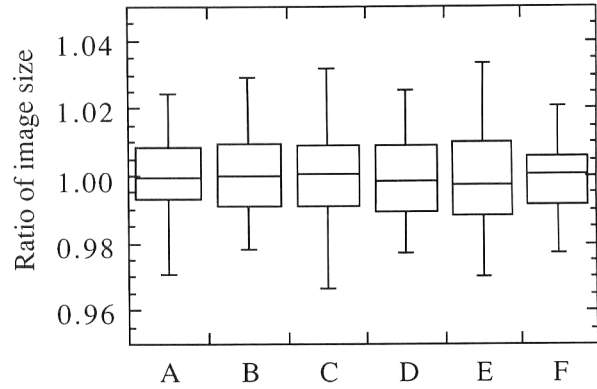


Fig. 3 Reproduction of face normalization by the method of 3-points cutting.

た。このような画像の大きさに関する正規化手続きを採用したことにより、手で輪郭切り取りをする必要がなくなり、コンピューターのシークエンス制御で連続的、迅速に識別の操作を実施することが可能となった。さらに、鼻下点の座標を基準として切り出すことで 128×128 ピクセルの顔画像を作製する。人により目の間隔・鼻高は異なるため、三角形の面積は個人情報のひとつとなるので、切り出された顔の大きさも個人により異なる。

一方、本手法の再現性の評価として3点を指定する精度を実験により評価した。6名(A, ..., F)の被験者にコンピューター画面の同一顔画像に対して50回連続で3点

を指定した切り出し実験を行ってもらい、得られた顔画像の大きさの精度を評価した。結果を Fig. 3 に示す。各ボックスはそれぞれ50回のデータのうちの50%に相当するデータの分布を囲んである。また、50回のデータの中央値をラインで、またボックスの上、下の線は各データの最大および最小値を示している。このグラフから6人のデータのうち信頼度の高い50%のデータがいずれも $\pm 1.5\%$ 以内に入っており、JTCによる認識の許容の大きさである $\pm 3\%$ 以内の条件を十分に満たしていることが確かめられた。



Fig. 4 200 images used in experiment as input images to evaluate the discrimination ability of this system.

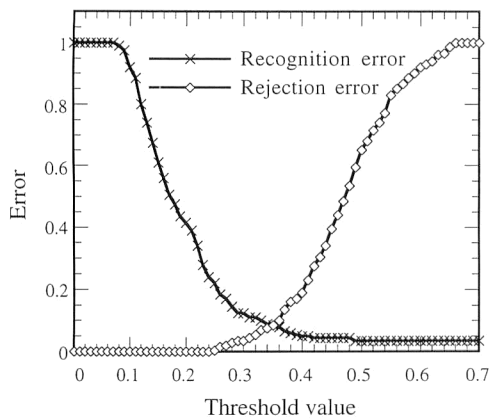


Fig. 5 Experimental result of discrimination registered person from unregistered one error rate on each threshold level.

4. 認識実験

4.1 閾値設定のための実験

3点指定切り出し方法を本認識システムに適用し迅速性、再現性、および不特定多数の人にとっての操作性を確認するために、登録者と未登録者の識別実験を行った。本手法による正規化と切り出しを行った20歳前後の女性200人の正面平常顔の大規模データベース (code # 1, ..., code # 200) を作成し、参照画像とした。入力顔画像としてデータベースに含まれる登録者 code # 11, ..., code # 20 の各20枚の画像 (code # $i-1$, ..., code # $i-20$ ($i=1, 2, 3, \dots, 20$)) (Fig. 4参照) と、同様に未登録者 uncode # 11, ..., uncode # 20 の各20枚の画像 (uncode # $i-1$, ..., uncode # $i-20$ ($i=1, 2, 3, \dots, 20$)) の40枚の画像を用いて認識実験を行った。Fig. 5に相関実験の結果を閾値に対する登録者・未登録者の各々の誤認識率として示す。横軸は閾値、縦軸は各閾値に対する誤認識の割合を示している。認識率は登録者排除率と未登録者誤認識率から評価でき、各々の割合が低い場合が最も信頼度が高い認識結果が得られる。実験結果から2つの交差する点の閾値は0.35であり、この値での登録者排除率は8.0%、未登録者誤認識率は10%であった。これは登録者認識率、未登録者排除率がいずれも90%以上であることを示しており、3点指定法による切り出しが本システムにおいて有効であることを確認した。

4.2 表情変化を伴った入力画像への適応

顔の中で動きが少ない両目頭と鼻下点3点指定による切り出し方法ではあるが、日常考えられる動きを伴った顔画像へこの3点指定を適用した場合の許容範囲について検討を加えた。

動きとしては顔の全体の動きと部分的な動きとがある。ここでは、Fig. 6(a)に示すような両者を含む(1)平常

顔、(2)微笑み顔、(3)笑い顔、(4)驚き顔、(5)目閉じ顔、(6)口開け顔、(7)目玉動き顔、(8)ウィンク顔の8種類による評価を行った。

登録者 code # 2, code # 11, code # 12, code # 13, code # 14 の5人について表情変化を伴った顔画像を入力し、3点指定法によって切り出した場合の認識実験結果を Fig. 6(b) に示す。横軸は表情変化の種類、縦軸には入力画像に対する比較値 C_i を表している。100人のデータベースとの相関演算において、入力画像を本人と同定するには相関値が一番高くする必要があった。したがって、ここでは他人との相関値が一番高くなってしまった場合には棒グラフにはプロットしていない。また、5人は登録者であるため0.35の閾値より低くなれば正しく認識されたことになる。

平常顔はもちろんのこと、目閉じ、口開き、目玉動き、ウィンクをしている顔の場合には5人のすべてがデータベースの100人との相関演算の中で本人との相関値が最も高く、比較値 C_i が0.35よりも低く登録者とみなされる結果が得られた。今回の認識実験の結果から、本システムでは顔全体での認識を行っているのだから、目閉じなどの動きのように、顔の一部のみが変化しても他に変化がなければ認識できることがわかった。すなわち本認識システムは、顔の部分変化に対して強いシステムであることが確かめられた。また、提案している3点指定で用いている両目頭の2点は目を閉じたり、ウィンクをしても動きにくい点であったことも立証された。

一方、微笑み、笑い、驚きのある顔画像の認識については本人と認められない結果も含まれている。この3種類の顔の表情の動きは、比較的顔全体が動いているもので、顔の配置も変化していることが Fig. 6(a) の顔画像からもわかる。笑いに関しては従来の切り出し手法によるシステム評価においても認識が難しかった¹⁰⁾。この結果と比較すると、3点指定の切り出し法を用いた今回は5人のうち2人は認識できているので、本手法を用いることにより幾分改善できると考えられる。

以上の結果、両目頭と鼻下点の3点指定法は本顔認識システムの顔画像の正規化と切り出しの方法として有効であることが確認された。

4.3 コンピューターへのログインを想定した認識実験

登録者である被験者5人 (code # 1, code # 2, code # 11, code # 13, code # 14) を対象として、IDと併用せず顔画像のみでの本人認識によるコンピューターへのログインを想定した実験を1か月以上にわたる期間をかけて行った。今回用いたデータベース登録者数は100人とした。

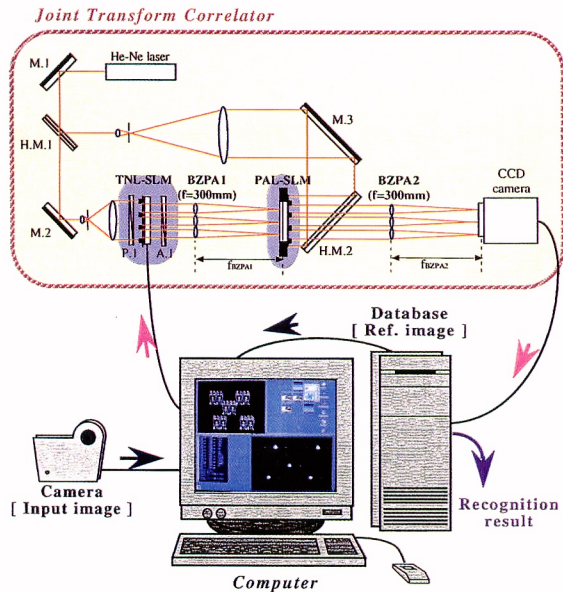


Fig. 1 The experimental setup for real-time parallel JTC using 5-channel BZPA.

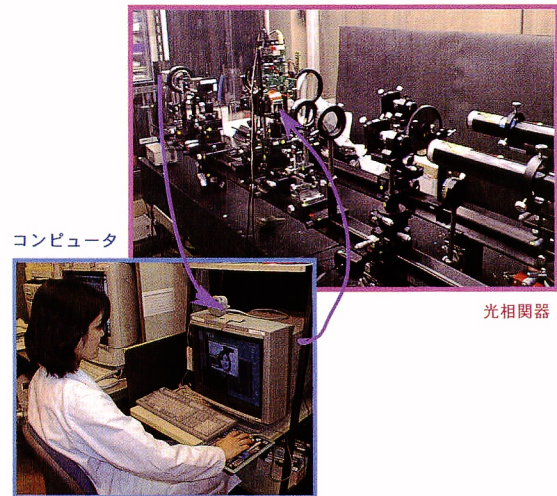


Fig. 7 The experimental scene to try to do login. A subject sits in front of computer and operates oneself this system.

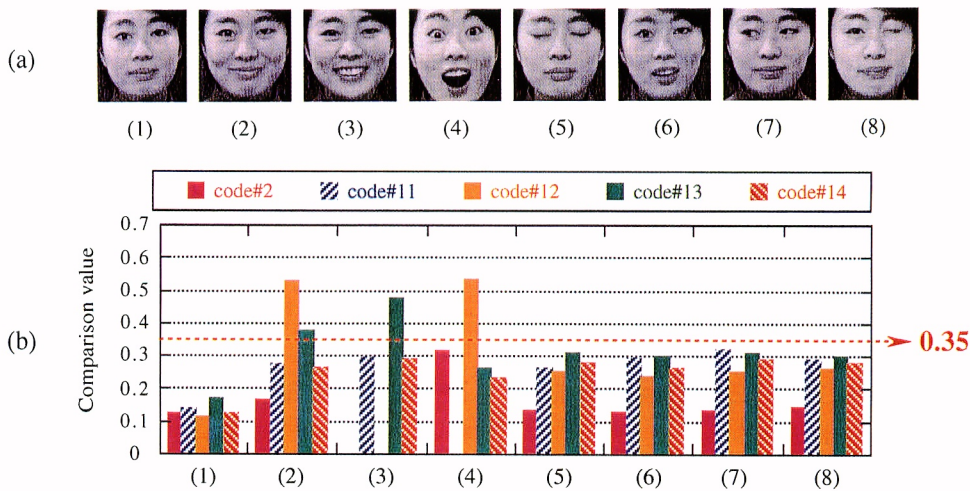


Fig. 6 Evaluation experimental result of this face recognition system for expression. (a) Facial image with expression used as a registered person in experiment. (b) Experimental result of comparison value versus 8 types of expression. (1) Ordinary, (2) smile, (3) laugh, (4) surprise, (5) closed eyes, (6) moved eyeball, (7) opened mouth, (8) wink.

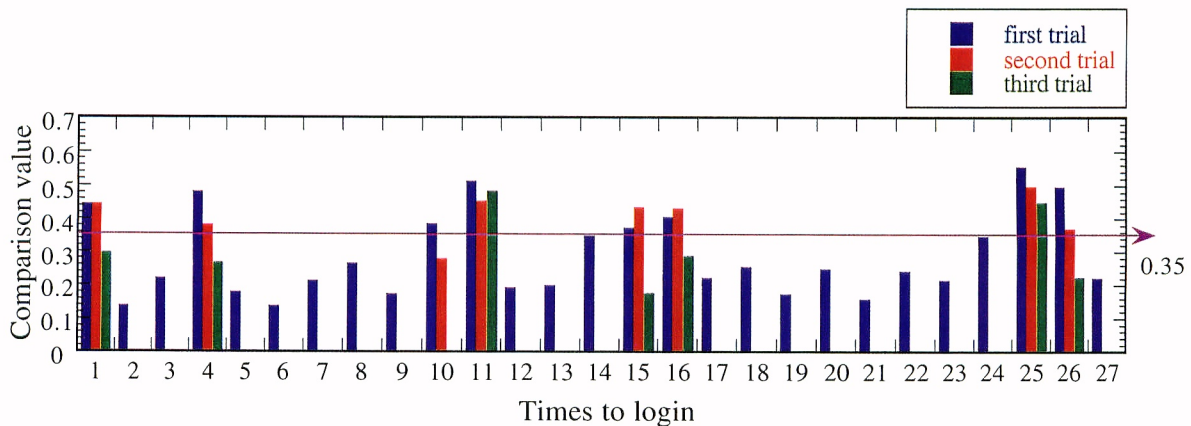


Fig. 8 The experimental results of assumption to try to do login of computer concerning code #1.

Table 1. The discrimination ratio for login experimentation about 5 persons and average of theirs.

Name of input image	First trial	Second trial	Third trial
code # 1	70.4% [19/27]	74.1% [20/27]	92.6%
code # 2	[25/27]		
code # 11	73.1% [19/26]	96.2% [25/26]	96.2%
code # 13	[25/26]		
code # 14	60.0% [15/25]	88.0% [22/25]	92.0%
Average	[23/25]		

Fig. 7の写真に示すように、被験者はハイブリッドシステムで使用するコンピューターの前に座り、本人がログインのためのすべての操作を行う。初回にはあらかじめみずからの3点指定によって切り出した本人の顔画像をデータベースに登録する。2回目からは、コンピューターにログインするたびに同様の操作で顔画像の切り出しを行い、光相関器に画像を転送し、演算結果を再びコンピューターに受け取り識別結果を得る。通常のコンピューター規約と同じように1度のログインに対して、3回の試行が許されるという条件を設けた。

code # 1の人物による27回のログインに対する結果をFig. 8に示す。横軸はログイン回数、縦軸は比較値 C_i であり、3本の棒グラフは試行回別の比較値 C_i を表している。1回目の試行で比較値 C_i が0.35の閾値より小さい値となったときは、ログインに成功したとみなしている。比較値 C_i を上回ってしまった場合には、2回目、さらに3回目の試行を行う。27回のログイン実験の結果、それぞれ1回試行で識別されたのは19回、2回試行では20回、3回試行では25回のログインに成功した。

同様に、5人の被験者に対して行った結果をTable 1にまとめて示す。1回試行における本人認識率は、平均67.5%であるが、3回試行では平均91.5%であり、5人のうち4人に対して9割以上のログイン成功率が得られた。また、ログインできた場合の相関マップでは、本人が最大値を示していることから、ログインした人のコード番号も特定することができた。さらに未登録者の5人の被験者にそれぞれ10回の試行実験を行った。その結果全50回の試行に対して比較値 C_i は0.35の閾値を上回り100%の排除率を得た。

これらの結果から、コンピューターのログインシステムとしては十分な機能があることを確かめた。さらに、これらの実験結果には日常の顔画像の変化、クリックの個人誤差が含まれており、それらを許容できるシステムであることも同時に立証することができた。

また顔画像の入力から登録者と未登録者を識別し

login, あるいはsorryと画面表示するまでの処理速度について、ワークステーション(O2)上で高速フーリエ変換(fast Fourier transform)を用いた場合と比較するベンチマークテストを行った結果、本システムが4倍の処理速度をもっていることを確認した。

5. 結 論

5チャンネルバイナリーゾーンプレートアレイ(BZPA)を用いた並列JTC(結合変換相関器)とコンピューターからなるハイブリッド顔認識システムについて入力信号に新しい前処理法を導入し、またデータ供給および出力制御を系統化することによって実用性の高いシステムを構築することができた。

顔画像の正規化と切り出しについて両目頭と鼻下点の3点指定のアルゴリズムを考案することによって入力画像を迅速に取り込み、かつJTC系に大きな許容度をあたえることが可能になった。さらに認識システムの制御を自動化し、不特定多数の利用を可能とした。これによりワークステーションによるFFT処理の約4倍の処理速度が得られることを確認した。200名の女性正面顔をデータベースとして登録し、任意の40名の被験者顔画像に対する認識率を調べた結果、登録者の認識率、未登録者の排除率ともに90%以上を得ることができた。さらに、コンピューターへ顔画像のみでログインすることを想定した認識実験を行い、3回試行で登録者5名のうちの4人に対し90%以上のログイン成功率を得ている。また、未登録者に対し、それぞれ連続10回試行した際の排除率が100%であったことから、本システムの高い安定性が確認できた。

本研究を進めるにあたり、ハイブリッドシステムの構築にご協力いただいた東京大学Roshan Thapliya氏(現富士ゼロックス(株))、日本女子大学稲葉利江子氏、研究討論および論文執筆についてご助言いただいた神谷武志氏(現学位授与機構)に深謝する。また、液晶空間光変調器を提供していただいた浜松ホトニクス(株)の原勉氏、シチズン時計(株)の橋本信幸氏、BZPAの作製にご協力いただいた(株)トプコン研究所の堀信男氏に感謝する。

文 献

- 1) 南 敏：“顔の認識—工学の立場から—”, *Medical Imaging Technology*, **12** (1994) 673-680.
- 2) M. Turk and A. Pentland: "Eigenfaces for recognition," *J. Cognit. Neurosci.*, **3** (1991) 77-86.
- 3) 赤松 茂：“コンピューターによる顔の認識—サーベイ—”, *電子情報通信学会論文誌*, **J80-D-II** (1997) 2031-2046.
- 4) Y. Ichioka, T. Imaki and K. Matsuoka: "Optical informa-

- tion processing and beyond,” Proc. IEEE, **84** (1996) 694-719.
- 5) 原 勉, 小林祐二: “光学的相関手法を用いた指紋の照合”, 応用物理, **37** (1998) 5408-5415.
 - 6) B. Javidi and C. J. Kuo: “Joint transform image correlation using a binary spatial light modulator at the Fourier plane,” Appl. Opt., **27** (1988) 663-665.
 - 7) K. Kodate, Y. Ohya, R. Thapliya and T. Kamiya: “Joint transform correlator for an optical face recognition system,” Opt. Rev., **3** (1996) 400-402.
 - 8) 小館香椎子: “デジタルブレイズ素子と光情報センシングへの応用”, 第23回光波センシング技術研究会講演論文集 (1999) pp. 31-38.
 - 9) R. Thapliya, H. Koizumi, K. Kodate and T. Kamiya: “Parallel joint transform correlator applied to Devanagari script recognition,” Appl. Opt., **37** (1998) 5408-5415.
 - 10) K. Kodate, A. Hashimoto and R. Thapliya: “Binary zone plate array for parallel joint transform correlator applied to face recognition,” Appl. Opt., **38** (1999) 3060-3067.
 - 11) 稲葉利江子, 橋本麻子, 小館香椎子: “光並列相関器による顔認識システム”, 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集 (1999) pp. 509-514.
 - 12) R. Inaba, A. Hashimoto and K. Kodate: “Discrimination of portraits using hybrid parallel joint transform correlator system,” Proc. SPIE, **3740** (1999) 529-532.
 - 13) 宮脇隆志, 石橋 聡, 岸野文郎: “色彩情報を用いたカラー画像の領域分割”, 電子情報通信学会技報, **IE89-50** (1989) 43-48.
 - 14) 福井和広, 山口 修: “形状抽出とパターン照合の組合せによる顔特徴点抽出”, 電子情報通信学会論文誌, **J80-D-II** (1997) 2170-2177.
 - 15) 永田明德, 岡崎 透, 崔 昌石, 原島 博: “主成分分析による顔画像の基底生成と空間記述”, 電子情報通信学会誌, **J79-D-11** (1996) 1230-1235.