

光並列顔画像認識装置

—垂直型面発光レーザーアレイモジュールによる小型化—

渡邊恵理子・小館香椎子

Optical Parallel Correlator for Face Recognition: Miniaturization by Using Vertical Cavity Surface Emitting Laser Array Module

Eriko WATANABE and Kashiko KODATE

We present a design procedure and trial fabrication of a new multi-light source module composed of vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) array and multi level zone plate (MLZP) array, and its application to optical parallel correlator for facial recognition (12 parallel channels, $12.2 \times 15.2 \times 23 \text{ cm}^3$). By experimentally evaluating the system through one-to-one correlation using 300 databases of front facial images, two kinds of error; False Match Rate and False Non-Match Rate are less than 1%, were obtained. Consequently, our system was proved to be robust for applications to a security apparatus such as PC log-in or entry control for network systems.

Key words: face recognition system, parallel joint transform correlator, VCSEL array, multi-level zone plate array, security application

顔認証技術の研究は、デジタルコンピューターを駆使したアルゴリズムの開発研究の形で、1970年代から進められ、すでに市販されているソフトウェアもある¹⁾。しかし、いまだに取得時の姿勢などに伴う顔画像の変動や表情、照明条件などに対するロバスト性の克服などの技術的課題も多く、高速で精度の高い顔認証技術の確立が求められている。

一方、デジタル手法の認識に対してレンズのフーリエ変換機能を用い、二次元画像を瞬時・並列に処理する光アナログ演算があり、1960年代に VanderLugt 相関器²⁾と結合変換相関器 (joint transform correlator; JTC)³⁾の2つの方法が提案され、その潜在能力の高さから数々の研究が進められている^{4,5)}。

筆者らは回折型のマルチレベルゾーンプレートアレイ (multi level zone plate array; MLZPA) を用い空間並列性を生かしたマルチチャネルの並列 JTC (parallel JTC; PJTC) を提案し、これにデジタルコンピューターによる前後処理を加え、ハイブリッドな顔画像認識システムを構

築してきている⁶⁾。この PJTC は、すべての画像を1つのレンズでフーリエ変換を行う multi object JTC⁷⁾等に比べ、参照画像同士の干渉による相関値の低下がなく、また前処理により透過光量を 20% に均一化しているので光信号強度が安定し、精度が高い。この特徴は光学式小型顔認識装置 (compact optical parallel correlator; COPac II, $20 \times 24 \times 43 \text{ cm}^3$, 6 kg, 6.6 faces/s) がバイオメトリクス認証のガイドライン⁸⁾に沿った1対1照合の実験による本人拒否率、他人受け入れ率ともに 1% 未満のエラーの割合を達成していることにより実証されている⁹⁾。また、6か月の顔貌の経時変化に対して 90% を超す高い認識率が実現でき、30 lx 以上のさまざまな照明条件下で取得された顔画像や顔の各部分に大きな変動がない程度の表情変化、およびめがねなどの付属物をつけた場合などでも認識が可能であることを確かめている¹⁰⁾。これらの結果から、試作装置はコンピューターログインや住宅エントランスへのセキュリティ応用が可能であることを確認しており、通信・放送機構展開事業の一部として日本女子大と早稲田大学間の e-

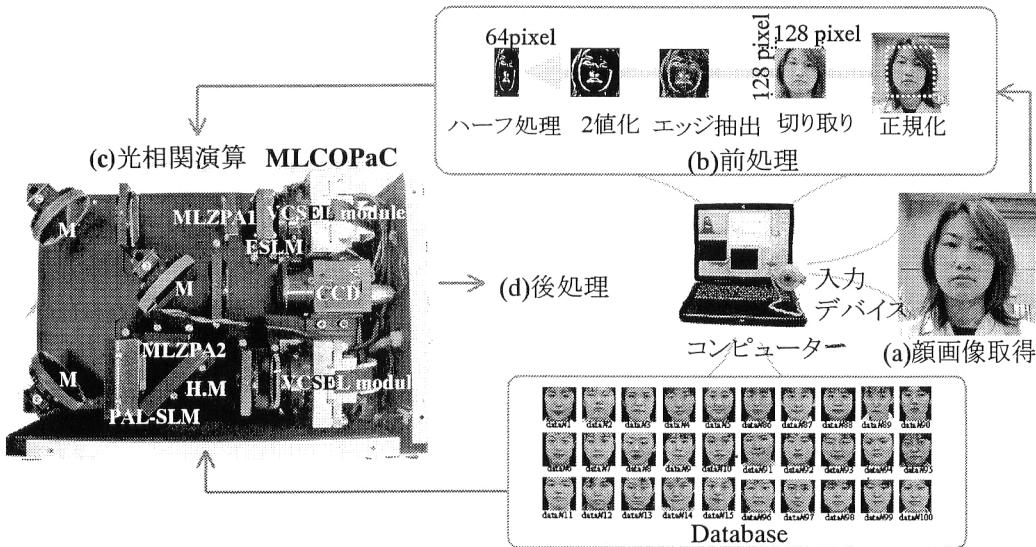


図1 光並列顔認識システム。



図2 識別可能な双子の顔画像例。

ラーニングアクセス管理システムの運用実験をモバイルにより始めている¹¹⁾。さらに、より多くのセキュリティー応用へ向け、任意の撮影条件へ対応可能な前処理¹²⁾や、識別度の向上へ向けたデータベースの検討、相関器の小型・高速化など、さまざまな方面から研究を進めている。本稿では垂直型面発光レーザー (vertical cavity surface emitting laser; VCSEL) アレイモジュールにより小型・並列化した装置を中心にシステムの紹介を行う。

1. 顔画像認識システム

光並列顔画像認識システムの処理の流れを図1に示す。デジタルカメラから取り込んだ顔画像に、特徴抽出のための3点指定による顔画像処理領域の切り取り、エッジ抽出、白領域を20%とする二値化処理等の前処理を施す。この画像を光相関器に送り、あらかじめ同様の前処理を施しておいたデータベース内の顔画像と光相関信号強度を得、後処理により相関結果を得る。このシステムでは、デジタルシステムでは識別が困難とされている人種混合や双子においても適応の可能性を得ており、より多くの被験者を集めた検討を進めている。図2に識別が可能であった双子の実験結果例を示す。人間の目では似通った人物をも識別できることがわかる。一方でまれに異なる人物において誤認識を起こす場

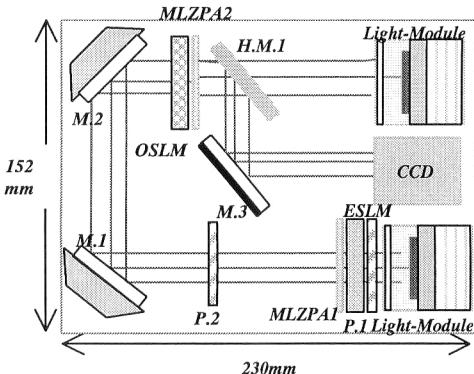


図3 多光源型光並列相関器の設計図。

合もあり、セキュリティ一度に応じた閾値の設定や後処理方法を考案し、精度向上に努めている。

2. 多光源型小型光並列相関器

单一光源を用いた相関光学系は、演算速度向上を図るための空間並列性と相関器の小型化に限界が生じていた。筆者らはVCSELアレイとMLZPAを組み合わせてモジュール化し、光並列相関器用光源として用いることで、小型・並列化を同時に実現する方式を提案している。図1(c)に写真を示した多光源型小型光並列相関器 (12.2×15.2×23 cm, 4.4 kg, 12 channel) の構成図を図3に示す。図に示すようにVCSELアレイモジュール、画像表示用の電気アドレス型液晶空間光変調器 (electronically addressable spatial light modulator; ESLM)、光書き込み型液晶空間光変調器であるPAL-SLM、CCD、MLZPAで構成されている。入力信号はXGA、出力はNTSC信号で容易に制御可能である。図4に1チャネルでの光演算過程として、(a)表示画像 (ESLM面)、(b)結合フーリエ像 (OSLM面)、

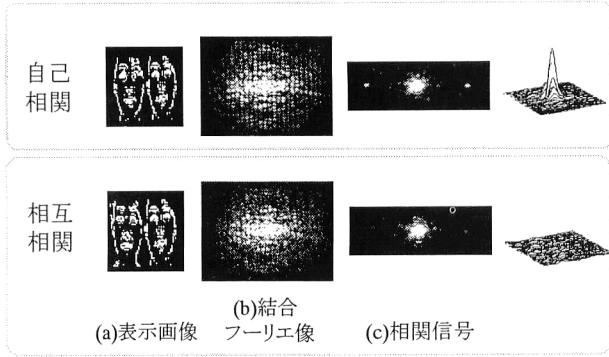


図4 PJTCの演算過程(1チャネル).

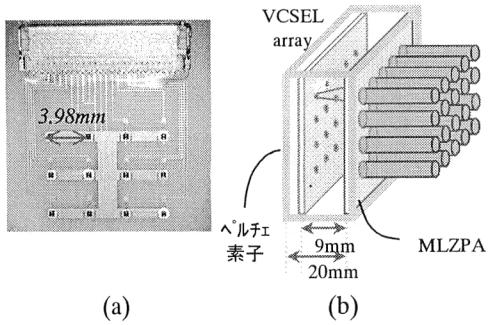


図5 (a) 3×4 VCSEL アレイ, (b) VCSEL アレイモジュールの構成.

(c) 相関信号(CCD面)を示す。自己相関の場合には結合フーリエ像に周期的な干渉縞が生成され、図4(c)に示すように高い相関信号強度を得られる。相互相関では結合フーリエ像に周期性は現れず、相関信号光強度値は低くなる。この相関信号強度値を用いて識別を行っている。

2.1 VCSELアレイモジュール

光源としてシングルペアチップVCSEL ($\lambda = 785\text{ nm}$, 富士ゼロックス製) を顔画像表示の間隔に合わせて並べ、図5(a)に示すように 3×4 個にアレイ化した。コリメートレンズのMLZPAはNA 0.187, 開口3.36 mm, 焦点距離9 mmで、2~8レベルを組み合わせ、4と2レベルの境界で $\pi/4$ の位相補正を行っている¹³⁾。図5(b)にVCSELアレイモジュールの構成を示す。光強度はチャネルごとに制御プログラムで変更可能であり、各チャネルに均一なビームを形成することができる。

2.2 装置の精度評価

バイオメトリクス認証のガイドラインに沿って、同日取得した300人の正面平常顔を用いた1対1照合の実験により、多光源型光並列相関器の装置評価を行った結果を図6に示す。本人拒否率、他人受け入れ率とともに1%未満の低いエラーの割合を得ている。この小型装置の認識速度は19 faces/sである。現在高速システムとしてVanderLugt²⁾の

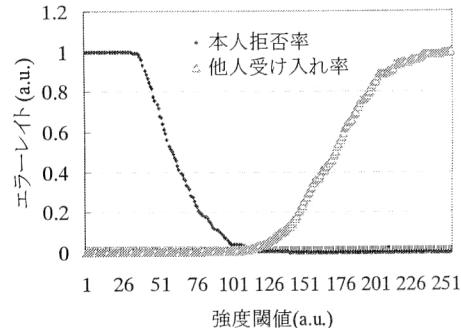


図6 精度評価実験結果.

相関演算原理により1000 faces/s以上の演算能力をもつ顔画像認識システムの開発を行っている。

VCSELアレイモジュールを用いて小型・並列化した多光源型光並列相関器を中心に、光並列顔画像認識システムを紹介した。光相関器は適用分野や対象に応じた専用機ではあるが、対象を選べば非常に有効であり、本システムの応用が広がることを期待する。

最後に本研究のスタートからご助言をいただいた大学評価・学位授与機構の神谷武志教授、多光源型光並列相関器の作製に御協力いただいたトプコン研究所の小泉浩氏、PAL-SLMを提供していただいた浜松ホトニクスの原勉氏に感謝する。なお本研究の一部は科学技術振興事業団、および科学技術研究費一般(B)の助成を受けて行ったものである。

文 献

- 1) 金子正秀：映像情報メディア学会誌, 55 (2001) 180-184.
- 2) A. Vander Lugt: IEEE Trans. Inf. Theory, IT-10 (1964) 139-145.
- 3) C. S. Weaver and J. W. Goodman: Appl. Opt., 5 (1966) 1248-1249.
- 4) B. Javidi and C. J. Kuo: Appl. Opt., 27 (1988) 663-665.
- 5) Y. Kobayashi and Y. Toyoda: Opt. Eng., 38 (1999) 1205-1210.
- 6) K. Kodate, et al.: Appl. Opt., 38 (1999) 3060-3067.
- 7) B. Javidi, et al.: Appl. Opt., 30 (1991) 4234-4244.
- 8) 濱戸洋一：サイバーセキュリティにおける生体認証技術（共立出版, 2002).
- 9) 渡邊恵理子ほか：画像電子学会誌, 31 (2002) 848-856.
- 10) K. Kodate, et al.: Meas. Sci. Technol., 13 (2002) 1756-1766.
- 11) R. Inaba, et al.: Proceedings of International Conference of Optics 2002, 4829 (2002) pp. 35-36.
- 12) 稲葉利江子ほか：電気学会電子・情報・システム部門誌, 122-C (2002) 1259-1265.
- 13) Y. Orihara, et al.: Appl. Opt., 40 (2001) 5877-5885.

(2003年2月21日受理)