

ホログラフィックマッチトフィルタを用いた 同軸型光相関顔認証システム

太田真衣子, 渡邊恵理子, 小舘香椎子
日本女子大学 理学研究科 数理・物性構造科学専攻

(2007年1月12日受理)

要 旨 本研究室では, VanderLugt Correlator の原理による光相関手法に基づいた顔認証システム, Fast Face Recognition Optical Correlator (FARCO) を構築している。これまでに, 顔画像の位相情報を用いたフィルタの設計, 高速デバイスを配置したシステム構成, 顔画像に適した前後処理などの導入により, 演算速度 1,000 frame/s, 本人拒否率, 他人受け入れ率, 共に 1 % 未満の超高精度なシステムを実現している。しかし, この FARCO システムは, コンピュータ上のデジタルメモリを用いているため, メモリ上の顔画像データを電氣的に読み出して表示する転送時間により, 光相関演算の速度が制限されるという課題が残されている。

一方, 9.11 米国同時多発テロ以降, 空港におけるセキュリティ面の強化がはかられ, アメリカでは, テロ防止のためブラックリスト顔写真を使った監視システムが導入されており大規模なデータベースを対象とした顔認証システムへの要求が高まっている。これらの要求に対して, 現在市販されている顔認証用ソフトウェアでは, 演算速度と認証精度の点で対応は難しく, 国内外で技術的な検討は続けられているが, まだ確立されていない。これらの課題を解決するため, 掘米らにより提案された同軸型ホログラフィック光メモリ¹⁾の大容量・高速性・利便性に着目し, FARCO の光相関演算技術との融合により, 超高速 (130 万 face/s) 演算が可能な同軸型光相関顔認証システムの実現をめざし, 検討を行っている²⁾。これまでに構築した全光型相関演算システム, S-FARCO を用いた原理実験により, 本人拒否率・他人受け入れ率, ともに 1 % 未満の良好な結果を得ている。しかし, 現状では ホログラフィック光メモリの特徴である, 体積型の多重記録に向けて, 記録材料を含めいくつかの課題の解決が必要である。本報告では, ホログラフィック光メモリの再生時の回折効率の低下について検討を加え, 縮退ブラッグ回折を利用して得られたシフト不変性向上の結果を中心に述べる。

キーワード: ホログラフィックマッチトフィルタ, 同軸型光相関顔認証システム, 同軸型ホログラフィック光メモリ, 全光型顔認証システム, セキュリティ, 多重記録, 顔認証, コリニアホログラフィ

1. はじめに

顔認証は, 日常で人と顔を合わせるような感覚で, 強制感のない自然な状態で認証が可能であり, そのため心理的な抵抗感も少ないとされている。また, 鍵やカードを持ち歩く必要がなく利便性に優れた認証であり, 「顔パス」を実現することが可能な唯一の認証手法と言える。顔認証システムには実用化されたソフトウェアも存在するが, 顔は複雑な 3 次元物体の形状であるため, 十分な認証精度が得られない。また顔画像のカテゴリ数が膨大

なことから大規模データベースに対応することが難しいなどの課題がある。

画像相関技術の中でも光相関は, 光の高速性と並列性を利用することによって, 光速で画像の相関演算を行うことができることから, 古くから研究が行なわれている。光を利用した相関演算の 2 つの代表的な原理として, Joint Transform Correlator (JTC)³⁾ と VanderLugt Correlator (VLC)⁴⁾ が 1960 年代に提案されている。我々のグループを含め 1990 年には JTC を原理とする用いた小型光相関器などが構築されているが, 高速な表示デバイスが開発されていなかったことなどで, 光本来の高速演算能力が発揮されなかった⁵⁾。一方, VLC はフーリエ

Contribution No.: MP 06-5

変換した光波をフィルタに通過させるのみで相関演算が可能であるため、画像表示とほぼ同時（光の速度）で演算が可能であり、大量のデータとの相関に優位である。我々は2004年に、このVLCを基本原理とする顔認証システム、Fast Face Recognition Optical Correlator (FARCO)⁶⁾を構築している。この顔認証システムでは、光位相情報を利用して認証精度を高めたフィルタの設計、さらに高速デバイスを活かしたシステム構成、顔画像に適した前後処理を含むアルゴリズムにより、永年の技術的な課題が解決され、世界で始めて高精度（本人拒否率、他人受け入れ率共に1%未満）と高速化（1,000 frame/s）を持つ実用システムを実現している⁶⁾。しかし、FARCOシステムは、パーソナルコンピュータのデジタルメモリを記録用に用いたハイブリッド構成となっている。したがって、デジタルデータベースから読み出した記録画像を液晶デバイスに表示し、入力画像との光相関演算を行っている。そのため、光相関演算速度は、液晶表示デバイスへのデジタルデータの転送速度と電気制御による表示画面の切り替え時間により制約をうけている。

そこで、これらの課題を克服する超高速システムとして、ホログラフィック光メモリの大容量・高速性に着目し、これまでに構築してきたFARCOの光相関技術を融合した同軸型光相関顔認証システムの提案を行なった。システムの光相関速度は、ディスクのサイズ、回転数、データベースの記録間隔に依存する。このホログラフィック光メモリシステムを用いた光相関をディスク型の現在の要素技術を元に試算した。12 cmのディスク⁷⁾が1,000 rpmで回転し、多重実験に成功している10 μ s⁸⁾間隔でデータベースを記録した場合1秒間に130万 frame/sの画像の画像相関演算が実現できる。1枚の画像では、0.7 μ s光相関することが可能となる。これは、従来のFARCOシステムの1,300倍にも及ぶ。

本論文では、2章でホログラフィックマッチトフィルタを用いた同軸型光相関演算の原理について述べ、3章では構築した同軸型光相関演算システム、S-VRDとその光演算処理プロセスについて記述する。4章では、縮退ブラッグ回折を考慮したシフト許容量の向上について検討し、データベース画像の最適設計について述べ、5章でまとめとする。

2. ホログラフィックマッチトフィルタを用いた同軸型光相関演算

大容量・高精度な光相関システムとして、VanderLugt Correlatorの原理に基づいた顔認証システムFARCOと同軸型ホログラフィック光メモリを融合した同軸型光相関顔認証システムを提案している。

本章では、マッチトフィルタを用いた光相関演算、同

軸型ホログラフィック光メモリ、およびこれらを融合した同軸型光相関顔認証システムの原理について述べる。

2.1. マッチトフィルタを用いた光相関演算の原理

光相関演算は、光の特徴である並列性を利用したアナログ演算でデータベース画像と入力画像の相関を求める、パターンマッチングの1つの手法である。この手法では、画像全体の情報を比較するので、画像の一致・不一致が同じ速度で判定できるという特徴がある。顔認証に使用したマッチトフィルタ作製の光学系をFig. 1 (a)に示す。レーザ光とレンズにより、実空間に配置した検出用顔画像を光速で空間周波数面へフーリエ変換を行う。このフーリエ変換像の複素共役を記録したマッチトフィルタをFig. 1 (b)に示す光学系に配置し、再度フーリエ変換を行うことにより、出力面に相関項とコンボリューション項が出力される。

これまで、フーリエ変換によって、周波数空間で得られる顔画像の振幅情報と位相情報について検討し、位相情報が顔全体の情報を持っていることを確認している⁹⁾。そこで、認証用のマッチトフィルタとして位相情報を用い、さらに周波数領域において顔画像の特徴量を強調した、顔画強調型位相フィルタを提案し、従来型位相フィルタ、フーリエ変換後に振幅成分を1に規格化して相関を行う位相相関フィルタなどとの比較を、実証実験により行った¹⁰⁾。その結果、提案した顔画像強調型位相フィルタが最も高い認証精度を持つことを確かめた。この結果は、顔画像の振幅の全周波数成分を1と規格化し、周波数分布を平均化する処理により、低周波成分の振幅が相対的に弱められ、顔画像の特徴が含まれている高周波成分が強調された結果、高精度が実現されたことを示し

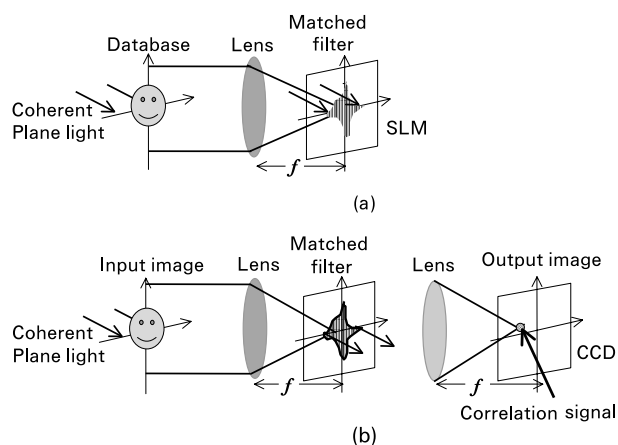


Fig. 1 Concept for a matched filtering correlation in FARCO system.

(a) Recording a matched filter.

(b) Filtering (Optical correlation) process.

ている。すでに、構築した **FARCO** システムはこの原理を用い、コンピュータのデジタルメモリをデータベースとしたハイブリッドシステムになっている。

2.2. 同軸型ホログラフィック光メモリの原理

ホログラフィック光メモリは、レーザを用いてピットを形成してデータを記録する光ディスク型とは異なり、2 光束の干渉縞としてデータを記録するホログラム技術を用いる。再生には、ホログラフィック光メモリに、記録の際使用した参照光を照射する。通常は参照光の入射角度や波長を変えて、記録材料の厚みを活かして干渉パターンを体積的に多重記録するので、記録材料の特性や厚さに依存するが、数百から数千の多重記録が可能である。したがって、表面のみに記録する **DVD** や **CD** にくらべて、テラバイト級の大容量化が可能になると期待されている。1960年から1990年にかけて、ホログラフィック光メモリは、さまざまなものが開発されてきたが、記録材料の感度やダイナミックレンジの不足していたこと、特に記録・再生に必要となる2光波の干渉光学系が複雑で小型化が難しく、かつ高価であり、既存の**CD**や**DVD**などとの整合性が全くないことから、光メモリとして実用化には至っていなかった。

最近、Fig. 2 に示すように空間光変調器 (**DMD**) を1つのキーデバイスとした、見かけ上、物体光と参照光を同軸上の1つのレーザビームとして、記録・再生を行う同軸型 (コリニアTM) 方式が提案された。この同軸型は、光学系を大幅に簡素化しているので、小型化が実現できる。さらに、1つのレーザビームで記録できるため、光ディスクで用いられている光サーボ技術がそのまま活用できる、さらに強固なセキュリティが実現可能などの優れた特徴を持っている⁷⁾。

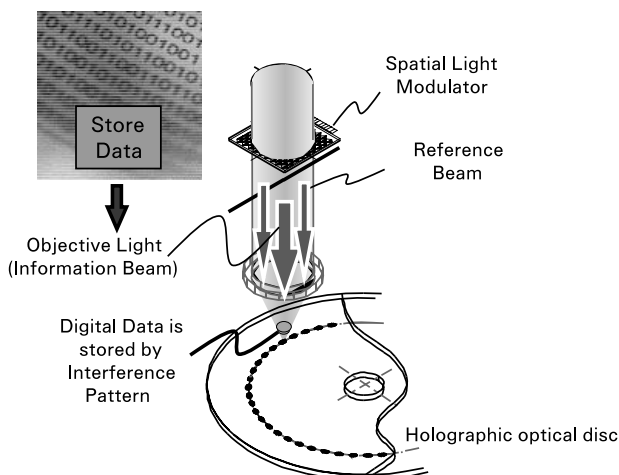


Fig. 2 Concept for co-axial holography¹¹⁾.

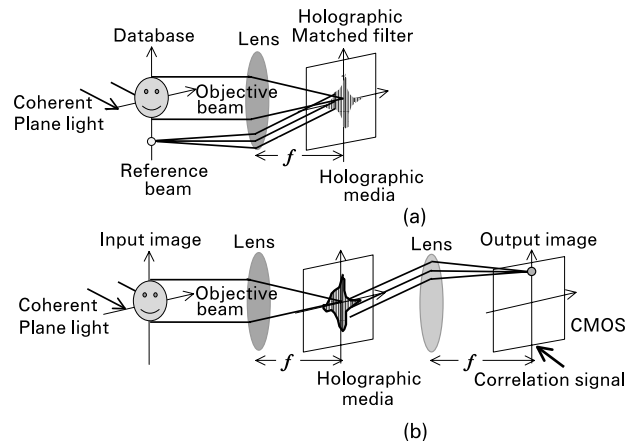


Fig. 3 Concept for a coaxial type optical correlation using a holographic matched filter.

(a) Recording a holographic matched filter.

(b) Readout (Optical correlation) process.

2.3. ホログラフィックマッチトフィルタを用いた同軸型光相関演算の原理

マッチトフィルタを用いた光相関演算とホログラフィック光メモリを融合した同軸型光相関顔認証システムは、2.2で記述したように同軸型ホログラフィック光メモリ方式の記録面がフーリエ変換面となっていることに着目すると、2つの技術を融合し、記録情報をデコードすることなく直接、しかも容易に光相関演算を実現することができる。

Fig. 3 (a) (b) に今回提案する同軸型光相関演算の原理を記録と再生に分けて示す。データベース画像の記録には、Fig. 3 (a) に示すように、参照光として点光源と近似できる白点を用い、記録する顔画像と同一画面上に表示し、2つの画像を同時に1つのレンズでフーリエ変換して記録する。ホログラフィック光メモリに記録される干渉縞は、データベース画像のマッチトフィルタとなる。再生時には、そのマッチトフィルタにより、Fig. 3 (b) の光学系に示すように認証用顔画像を表示すると、ホログラムから回折した光が相関信号として現れる。

このように同軸型では非常に簡易な光学系で、ホログラフィックマッチトフィルタの書き込みと光相関演算を実現することができる。

3. 同軸型光相関顔認証システムのアルゴリズム

同軸型光相関顔認証システムのアルゴリズムを Fig. 4 に示す。同軸型の全光相関による相関部とデジタルコンピュータによる、前・後処理部の3部で構成されている。前処理では、入力画像の取得から相関部の画像表示を行う。後処理においては、類似度に応じて出力される相関光信号をセンサで取得し、識別処理を行う。

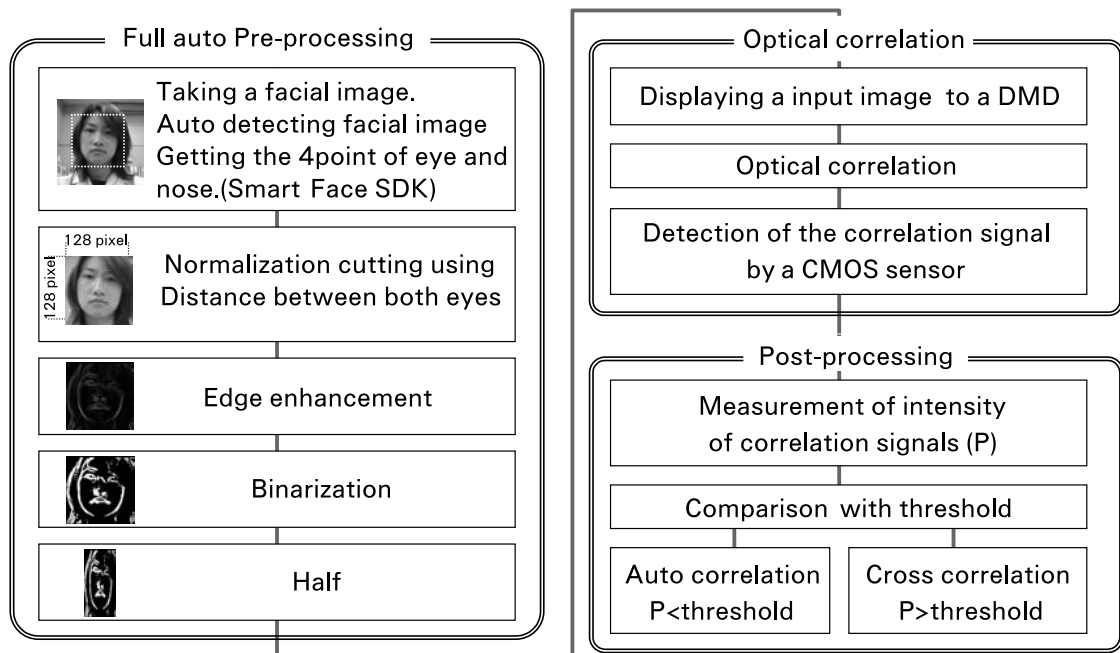


Fig. 4 Algorithm of face recognition process by a co-axial type optical correlator, using a holographic matched filter.

3.1. 前処理

相関演算を光で行うため、データベース・入力画像の前処理では、顔画像の特徴を抽出し、それぞれの画像の光量を均一にする処理、また、各画像の大きさを均一に正規化する処理が必要である。同軸型光相関顔認証システムも FARCO システムと同様な処理を用いている。

処理の過程を以下に示す。

- 1) 市販のビデオカメラや Web カメラなどで顔画像を自動的に取得する。
- 2) 取得した顔を含む撮影画面から、市販の顔抽出ソフトを使用し、両目、両鼻の 4 点を抽出する。
- 3) 顔の大きさの正規化を表情変化などによっても動きの少ない、両目間の距離を用い行う。
- 4) 正規化された 128×128 ピクセルの顔画像の目の座標が、(64, 96) (96, 96) となるよう位置を調節する。
- 5) 規格化された顔画像は、特徴強調のためソベルフィルタによりエッジ抽出し、画像領域の 20% を白ピクセルとする 2 値化を行う。この処理により、各画像の透過光量を 20% に均一化でき、認証精度を保障している¹²⁾。
- 6) 64×128 ピクセルに横方向を縮小する。グレースケールの顔画像では低周波数領域に多くの情報が集中しているが、前処理を行うことで、高周波数領域まで広く画像の特徴成分が広がり、高い SN 比を持った信号が得られている。これらの前処理は、Fig. 5 に示すコンピュータで行い、データは蓄積される。

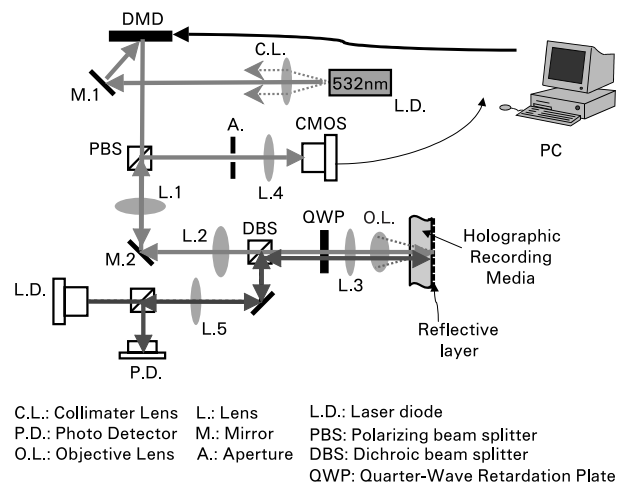


Fig. 5 Optical configuration of co-axial holography.

3.2. 同軸型光相関顔認証システム (S-FARCO)

Fig. 5 に試作した同軸型光相関顔認証システムの光学系¹¹⁾を示す。光源用のレーザは、記録・再生ともに 532 nm の Nd-YVO₄ の CW レーザを用いている。

本システムのキーデバイスである空間光変調器には、DMD (Digital Mirror Device) を用いた。DMD は 768×1024 ピクセルで 1 ピクセルのサイズは $13 \mu\text{m}$ である。相関信号の検出器には CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) を、用いた。また、記録から再生まで全自動システムである。

【データベース画像の記録プロセス】

- 1) レーザから発振されたビームは **DMD** に反射し、画像表示部分の光のみが対物レンズの方に反射される。
- 2) 反射したビームは物体光と参照光ともに同じ対物レンズでフーリエ変換される。
- 3) 参照光はフーリエ変換することで Fig. 3 (a) に示すように平行光となり顔画像とあらゆる周波数帯の光波と干渉し画像固有の干渉縞になる。
- 4) その干渉縞を対物レンズの焦点距離に配置され、フーリエ面となっている。記録される干渉縞は、ホログラフィックマッチトフィルタが記録され画像との間の相関演算ができるフィルタとなる。

【再生プロセス】

- 1) 物体光である顔画像のみを **DMD** に表示する。
- 2) 物体光のみを対物レンズでフーリエ変換し、記録されているホログラフィックマッチトフィルタに入力する。
- 3) 記録した物体光の波面の類似度に応じて、参照光が再生される。
- 4) 再生された平行光である参照光はホログラフィック光メモリのミラーで反射する。
- 5) この参照光は、 $\lambda/4$ 板を2回通過するため、半波長位相がずれる。それによってビームスプリッターで反射し、**CMOS** センサで取得する。
- 6) **CMOS** センサ上で参照光は平行光が逆フーリエ面となり1点の光強度となる。この1点の光強度がデータベースと入力画像の類似度により再生される強度として変化する。

【後処理】

本人, 他人の顔画像の識別には, **CMOS** センサで取得した画像から1点の光強度値を取得し, 算出する。その値が設定した閾値より高い場合は本人, 低い場合は他人として認証を行う。

4. 同軸型光相関顔認証用データベース画像の最適設計

ホログラフィック光メモリを用いた同軸型の光相関演算では, データベース画像の多重度を増して, ホログラムとして記録・再生するためには, 検討すべき課題がある。例えば, ホログラフィック光メモリの多重度は, 記録媒体の厚みと比例関係にあるが, 厚みの増加に伴いブラック選択性によるシフト不変性が失われ, 相関演算時における入力画像の微小な位置ずれへの対応が難しい。そこで, 本章では, ホログラフィック光メモリの記録・再生における高精度演算のために, 縮退ブラッグ回折を利用し, 多重度を失わずに, 位置ずれにロバストなデータベース画像を設計し, 実験により評価した結果について述べる¹³⁾。

4.1. 縮退ブラッグ回折とシフト許容量

ホログラフィック光メモリの容量は記録媒体の体積と比例関係にある。厚いほど記憶容量が大きくなるが, その一方で厚みが増すとデータベースを記録した位置から, 相関時の入力画像位置が移動した場合に急激に回折効率が減少する。高回折効率で相関信号を得るには, データベース画像と入力画像が下記のようにブラッグ条件を満たすことが要求されるからである。

$$\sin \alpha = \frac{\pm \lambda}{2\Lambda} \quad (\alpha: \text{入射角}, \lambda: \text{波長}, \Lambda: \text{格子間隔})$$

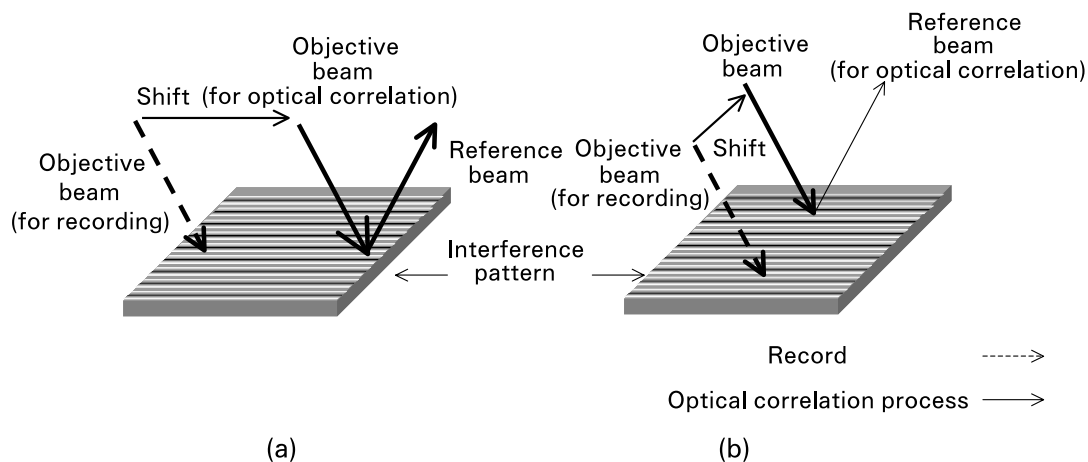


Fig. 6 Shift invariance for degenerative Bragg diffraction.

- (a) Incident object beam vector changed parallel to the recorded hologram interference.
- (b) Incident object beam vector changed perpendicularly to the recorded hologram interference.

データベースに記録した位置から、入力画像がシフトしてもブラッグ条件を満たす縮退ブラッグ条件について述べる。縮退ブラッグ条件とは、Fig. 6 (a) に示すように、データベースの記録位置から干渉縞と平行な方向に入力画像がシフトした場合は、ブラッグ条件を満たし高回折効率で相関信号が再生される。もう一方で、Fig. 6 (b) に示すように、干渉縞と垂直な方向に入力画像がシフトする場合はブラッグ条件が満たされず相関信号が急激に低くなる。このようにホログラフィック光メモリに書き込まれる干渉縞によって、入力画像の配置にロバストな光相関を行うことが可能となる。以下の実験で、干渉縞を形成するパラメータとなる参照光の配置設計を検討した。

4.2. 実証実験

実験には Fig. 7 に示す 3 つの画像を使用した。顔画

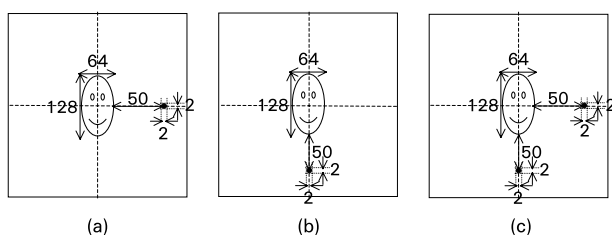


Fig. 7 Design of three types of database image with varying reference beam points in relation to face.

- (a) The reference beam is arranged on the right side of the face (0, 50) (interference in direction of X).
- (b) The reference beam is arranged under the face (0, -50) (interference in direction of Y).
- (c) The reference beam is arranged below (0, -50) and on the right side of the face (0, 50) (interference in direction of X and Y).

Size of face : 128×64 pixel

Size of reference beam point : 2×2 pixel

Distance of face image and reference beam point : 50 pixel

像のサイズは 128×64 ピクセル、参照光のサイズは 4 ピクセルである。デジタルカメラで撮影後、3.1 で述べた前処理をほどこし、規格化されている。3 つの画像のうち、(a), (b) の 2 つの画像はデルタ関数とみなせる 1 点の参照光をデータベース画像に対して下、右に 1 点ずつ配置した。残りの画像 (c) は、縦横の両方向に参照光を配置した。ホログラフィック光メモリにおける画像の記録・再生は記録された干渉縞に対して平行な物体光が、入射された場合に参照光（相関信号）が再生される。これを利用して、入力画像の位置ずれにロバスト性のある参照光を配置した。

実験には、試作した S-VRD システムを使用し、フーリエ変換レンズとして、焦点距離 : 4.00 mm, NA=0.55 を用いた。また、ホログラフィック光メモリの記録材料にはフォトポリマー¹⁴⁾ を用い、大きさが 5×5 cm の基板上に膜厚は 300 μm になるように作製した。光相関演算には、データベース画像と同一画像を入力し、出力面の相関信号強度を検出した。

実験はデータベース画像の顔画像の配置位置から、入力画像には、顔画像の配置位置を、X・Y 軸の両方向に中心から -35 から +35 ピクセル移動して配置した画像を用いてシフト許容量を算出した。

4.3. 実験結果

実験結果は Fig. 8 のグラフでは、X 軸方向に顔画像をシフトした入力画像を用いた実験結果を示す。データベースは Fig. 8 (a) が Fig. 7 (a), Fig. 8 (b) が Fig. 7 (b), Fig. 8 (c) が Fig. 7 (c) を用いた場合の結果である。また、Fig. 9 は、Y 軸方向に顔画像をシフトした入力画像を用いた実験結果を示す。データベースは Fig. 9 (a) が Fig. 7 (a), Fig. 9 (b) が Fig. 7 (b), Fig. 9 (c) が Fig. 7 (c) を用いた場合の結果である。ここでは、相関信号の光強度値が高い値を 100% とした場合に、その 80% 以上の光

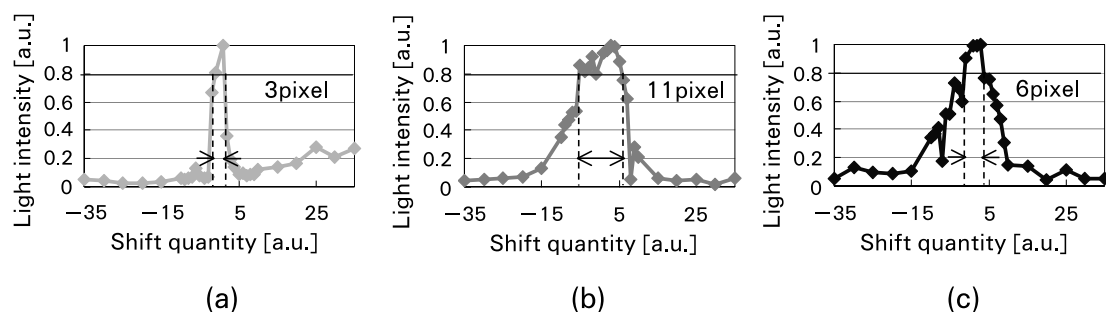


Fig. 8 Experimental results exhibit shift dependency of optical correlation intensity, shifting the object (face) on the X-axis, from (-35, 0) to (0, 35).

(a), (b) and (c) correspond to the three types of reference beam points in Fig. 7. Shift tolerance above 80% (in pixel) is plotted in the graph.

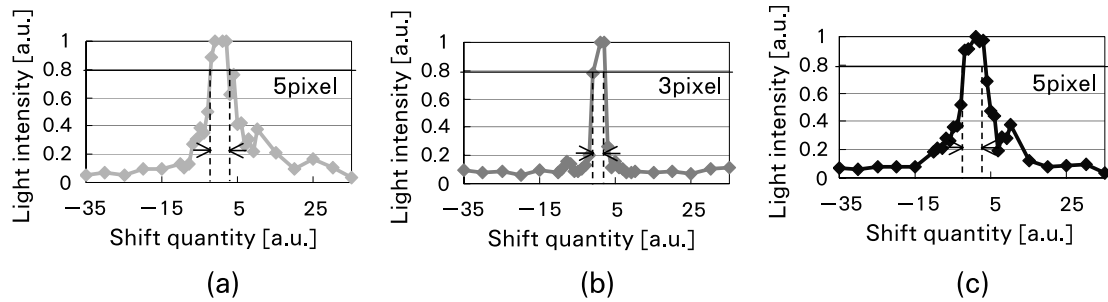


Fig. 9 Experimental results exhibit shift dependency of optical correlation intensity, shifting the object (face) on the Y-axis, from $(-35, 0)$ to $(0, 35)$.

(a), (b) and (c) correspond to the three types of reference beam points in Fig. 7.

強度値が得られる範囲をシフト許容量として、その値を比較した。

X軸方向に入力画像シフトして取得した実験結果を Fig. 8 に示す。

- (1) 顔画像の横に参照光を配置した場合 (Fig. 8 (a)) は、干渉縞がY軸方向に形成される。そのため干渉縞に対して垂直方向に入力画像ずれるため縮退ブラッグ条件が満たされずシフト許容量は3ピクセルであった。
- (2) 顔画像の下に参照光を配置した場合 (Fig. 8 (b)) と顔画像の下と横に参照光を配置した場合 (Fig. 8 (c)) に参照光を配置した場合は、干渉縞がX軸方向に形成される。そのため干渉縞に対して平行方向に入力画像がずれるため縮退ブラッグ条件が満たされシフト許容量は顔画像の下のとき、11ピクセルと顔画像の下と横のときピクセルであり、干渉縞に対して垂直方向な場合に比べて高効率で相関信号が得られる範囲が広がった。

Y軸方向に入力画像シフトして取得した実験結果を Fig. 9 示す。

- (3) 顔画像の下に参照光を配置した場合 (Fig. 9 (b)) に参照光を配置した場合は、干渉縞がX軸方向に形成される。そのため干渉縞に対して垂直方向に入力画像ずれるため縮退ブラッグ条件が満たされずシフト許容量は3ピクセルであった。
- (4) 顔画像の横に参照光を配置した場合 (Fig. 9 (a)) と顔画像の下と横に参照光を配置した場合 (Fig. 9 (c)) は、干渉縞がY軸方向に形成される。そのため干渉縞に対して平行方向に入力画像がずれるため縮退ブラッグ条件が満たされシフト許容量は顔画像の下のとき、顔画像の下と横のときともに、5ピクセルとなり、干渉縞に対して垂直方向な場合に比べて高効率で相関信号が得られる範囲が広がった。

この結果より、顔画像の下と横に参照光を配置した場合は、X軸とY軸の両方のシフトに対して高効率で相関信号が得られる範囲が広がった。これにより複数の方向に干渉縞を記録するように参照光を設計することで、データベース画像の顔画像の配置位置から、入力画像の顔画像の配置位置が様々な方向にシフトしてしまった場合でも、対応できるデータベースが設計できる可能性を得た。

また、これらの実験はコゲルニック理論を2次元に展開したシミュレーターを用いて検討も行った。その結果、良い一致を示しており、シミュレーションでのデータベースの有効性の検討も可能となっている¹⁵⁾。

これによって、実際の画像検索の場合には、入力画像が必ずしも、記録位置に対して最適位置に入力されないことが考えられるが、本論文のデータベース設計を適用することで、大量のデータを蓄積できる厚みのある、ホログラフィック光メモリを用いても、精度よく光相関を行う装置の構築が可能となった。

5. ま と め

FARCO に用いた光相関の技術と同軸型のホログラフィック光メモリスシステムを融合して光相関器を提案した。特に本論文では、ホログラフィック光メモリによって起こるシフト許容量の減少というデメリットを緩和するため、ブラッグ縮退条件を使用することでシフト許容量が増加することを示し、参照光を直交方向に2点配置した時、シフト許容量はX軸・Y軸共に増加する結果が得られた。

実際の画像検索の場合には、入力画像が必ずしも、記録位置に対して最適位置に入力されないことが考えられるが、本論文のデータベース設計を適用することで、大容量のデータを蓄積できる厚みのあるホログラフィック光メモリを用いても、精度よく光相関を行う装置の構築が可能となった。

超高速な同軸型光相関顔認証システムの構築により、ホログラフィック光メモリのアプリケーションとしての価値を広げられるため、ページデータの内積演算機や、画像対画像を実現する検索エンジンとして検索の検討により、画像相関の技術の新たな技術革新に貢献できると考えられる。

謝 辞

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 大学発事業創出実用化研究開発費助成金「全光型超高速画像検索エンジンおよび高セキュアバイオメトリクス認証の開発 (2005～2006 年度) の助成を受けて行っております。

参 考 文 献

- 1) H. Horimai X. Tan: Opt. Rev, **12**, 90 (2005).
- 2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 大学発事業創出実用化研究開発費助成金「全光型超高速画像検索エンジンおよび高セキュアバイオメトリクス認証の開発」. (2005－2006 年度)
- 3) B. Javidi and C.J. Kuo: Appl. Opt, **27**, 4, 663-665 (1988).
- 4) A. Vanderlugt: IEEE Trans. Tnform. Theory, IT-10, 139-145 (1964).
- 5) E. Watanabe, N. Arima and K. Kodate: J. J. of App. Phy, **48**, 8B, 5890-5896 (2004).
- 6) E. Watababe and K. Kodate: Appl. Opt, **44**, 5, 666-676 (2005).
- 7) 堀米 他: 日経エレクトロニクス, **1**, 7, 105-114 (2005).
- 8) Y. Ichikawa, E. Watanabe and K. Kodate: The Eleventh Microoptics Conference Technical Digest, 156-157 (2006).
- 9) E. Watanabe, K. Kodate: Opt. Rev, **12**, 6, pp.460-466 (2005).
- 10) S. Ishikawa, E. Watanabe, M. Ohta and K. Kodate: 5th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, 7PS4-49.
- 11) H. Horimai X. Tan, J. Li: Appl. Opt, **13**, 575 (2005).
- 12) 渡邊恵理子 他: 画像電子学会誌, 31848-8, 56 (2002).
- 13) M. Ohta, Y. Ichikawa, E. Watanabe and K. Kodate: ICO Topical Meeting on Optoinformatics/Information Photonics 2006, 47-49 (2006).
- 14) M.L. Schilling, V.L. Colvun: Chem. Mater. **11**, 247 (1999).
- 15) 秋山怜子 他: Optics & Photonics Japan 2006 講演予稿集, 380-381 (2006).

Face Recognition System with Co-axial-type Optical Correlator Using Holographic Matched Filter

Maiko Ohta, Eriko Watanabe and Kashiko Kodate

Division of Mathematical and Material Structure Science, Faculty of Science, Japan Women's University

(Received January 12, 2007)

Abstract: The face recognition system produced in this laboratory is constructed using the optical correlation technique, based on the principle of the VanderLugt Correlator, and is named the Fast Facial Recognition Optical Correlator (FARCO). Accuracy of FARCO has been improved by filter design using optical phase information and system configuration that makes best use of the high-speed device. In addition, we also optimized the pre-processing of the facial image. As a result, we successfully acquired low error rates (less than 1 %) as FAR (False acceptance rate) and FRR (False rejection rate) and a processing speed of 1000 face/s. However, a reading of the recorded digital image data on the image display device in this face recognition system shows that the operation speed is yet constrained by the transfer rate. At this time, security systems in international airports have been strengthened since the multiple terrorist attacks of 9.11, and accordingly monitoring systems that utilize photographs of potential suspects are now being put in place as a prevention measure. Face recognition systems that can deal with large-scale data in a swift fashion, are therefore in great demand. No such high-speed face recognition system has been established as yet, due to issues such as minimal operation time. To solve these problems, we have proposed a face recognition system that integrates coaxial-type holographic optical memory with the optical correlation technology used in FARCO with its operating speed of 1.3 million face/s. In experiments on the principle of face correlation that uses the optical type operation system, we acquired low error rates lower than 1 % as FAR and FRR. However, in holographic optical memory, the degree of shift tolerance, where shift invariance can be maintained, decreases. In response to this, we designed a robust shift-invariance arrangement of signal and reference beams for collinear holography. In preliminary correlation experiments using the database image, we witnessed excellent performance.

Key words: Holographic matched filter, Coaxial-type holographic optical memory, face recognition, Security

