

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 6月 9日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 ~ 2011

課題番号：22700168

研究課題名（和文）

ホログラフィックメモリを用いた位相限定法に基づく高速画像照合処理法の開発

研究課題名（英文）

Fast image recognition based on phase only correlation using holographic memory

研究代表者

本間 聡 (HONMA SATOSHI)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：70362085

研究成果の概要（和文）:

ホログラフィックメモリによる高速画像照合技術を用いた顔認証システムの開発を行った。位相限定相関法に基づく光学的相関器を採用し、高い識別能力を実現した。また、位相コード暗号方式を採用し、個人データの保護機能を付加した。また、ステレオビジョン計測により顔の3次元形状を取得し、正面を向いた顔の画像をCGにより再現することにより、撮影角度に対する認証性能のロバスト性を飛躍的に改善する方法を検討した。

研究成果の概要（英文）:

We developed a face recognition system with an optical image correlator using a holographic memory. The image correlator based on the phase-only correlation offers high speed processing and low recognition error rate. The information of the facial database is protected by using a phase code encryption. The facial image rotated to a position in front of the virtual camera is reconstructed automatically with computer graphics using three-dimensional facial data provided by the stereovision technology, which offer robustness improvement of recognition against shooting angle.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：顔認証システム、画像照合、ステレオビジョン、ホログラフィックメモリ

## 1. 研究開始当初の背景

高速画像照合技術は、特にセキュリティの分野において、その開発が望まれている。その一例として、顔画像を用いた認証システムは、装置への体の接触や特別な動作を必要とせず、比較的離れた場所から対象者の照合を行うことができる。テロの脅威が叫ばれる昨今、空港やスタジアムなどで大人数の中から

登録されていた不審者を見つけ出す場合などに有効な手段である。

最も注目を集めている技術の一つに、小舘氏らによって提案されているホログラフィックメモリと、光相関器を用いた超高速画像照合処理がある[E. Watanabe, Y. Ichikawa, R. Akiyama and K. Kodate: JJAP. 47 (2008) 5964]. 100,000Frame/sec の処理性能を有し、

照合対象の画像として顔の画像を用いた顔認証システムへの応用が検討されている。

フーリエ空間上でホログラムによるマッチドフィルタをかけることで光相関器が実現される。この手法では、従来のホログラフィックメモリの光学系をそのまま利用してシステムが組まれており、非常に完成度は高い。その反面、一般的な相関法に基づく光学系を採用しており、入力するデータと参照データが一致する場合としない場合の出力信号強度に大きな差が生じにくい。また、記録容量を大きくするためメモリ媒体の厚みを大きくした場合、本来光相関器が有する参照データと入力データの位置ずれに対する特性不変性が低下し、識別処理性能が低下する。

我々は、ホログラフィックメモリに位相コード化されたページデータが記録できることに着目し、ホログラフィックメモリとプログラマブル位相変調器(PPM)を用いた位相相関法に基づく画像照合技術を検討し、また、これを顔認証システムへ組み入れることを考えた。さらに、ステレオビジョン技術を組み入れることにより、高い識別能力・撮影角度に対するロバスト性を有し、かつ個人データの保護機能が付加された個人認証システムの実現を目指した。

## 2. 研究の目的

位相限定相関法に基づくホログラフィック光学相関器を実現し、顔認証システムへの応用を検討した。通常の相関法と比較して、位相限定相関法を用いることにより、総じて入力画像と参照画像の類似度に応じて高いピークが得られ、識別能力が改善される。さらに、セキュリティの観点から、位相コード化された参照データに対して任意の位相コード鍵を付加することにより、その鍵情報を知っている者だけが相関器から正しい情報を得ることができるようなシステムの実現を図った。

しかし、位相限定法に基づく相関器を使用した場合識別精度が改善される一方で、入力および参照データの作成時のカメラに対する撮影角度が異なると著しく認証率が低下するという新たな問題が発生する。顔認証システムの実用化を考えた場合、常に同じ角度で顔を撮影できるとは限らず、数度から十度の範囲で顔の角度を変化させても、正しく認証される必要がある。したがって、ステレオビジョン計測により顔の3次元形状を取得し、正面もしくは任意の角度を向いた顔の画像をコンピュータグラフィック(CG)技術により再現することにより、撮影角度に対する認証性能のロバスト性を飛躍的に改善する方法を検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 位相限定相関法に基づくホログラフィック光学相関器

図1および図2に位相限定相関法に基づくホログラフィック光学相関器の書き込み手順および照合手順を示す。図1の書き込み手順において、プログラマブル位相変調器(PPM)に参照顔画像のフーリエ像の位相分布を表示する。2本の書き込み光をホログラフィックメモリに照射することにより、参照データを記録する。

図2の照合過程において、PPMに参照画像と比較する入力顔画像のフーリエ像の位相分布を表示する。また、参照データが記録されているホログラフィックメモリに読み出し光を入射し、位相共役光としてこれを読み出す。PPMにおいて、入力画像と参照画像のフーリエ変換分布が掛け合わされ、これをレンズによりフーリエ変換することにより、CCDカメラにおいて相関信号を得る。

図3に入力画像と参照画像が一致する場合としない場合の出力信号の計算結果を示す。同図より、ピーク強度に大きな差が生じており、識別能力が高いことが分かる。

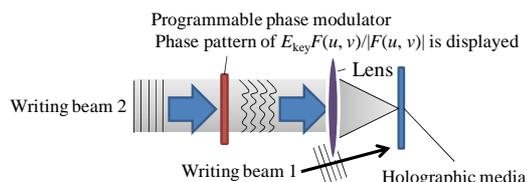


図1. 位相限定相関法に基づくホログラフィック光学相関器の書き込み手順

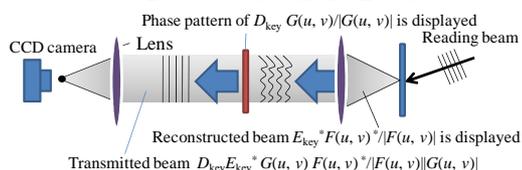
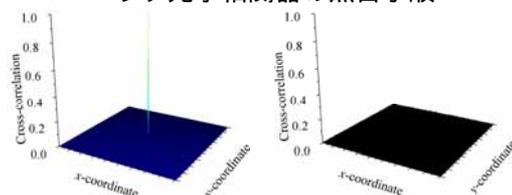


図2. 位相限定相関法に基づくホログラフィック光学相関器の照合手順



(a)画像が一致する場合 (b)一致しない場合  
図3. 位相限定相関法による相関信号

### (2) 位相コード鍵による暗号化

参照画像のフーリエ像の位相分布をそのままホログラフィックメモリに記録する場合、再生光をレンズによりフーリエ変換すると、もともとの参照画像のエッジ情報得られる。セキュリティおよび個人情報の保護の観点から、誰でも元の参照画像を復元できる

ことは望ましくない。したがって、任意の位相コード鍵を乗算することにより、参照データを暗号化することを検討した。

照合する際に、暗号鍵と同じ位相分布を入力データに与えることにより鍵情報は相殺され、その結果、正しい照合結果が得られる。一方、参照データに掛けられた位相コード鍵を知らない人物は、元の参照画像のエッジ情報を再生することはできず、また、正しい照合結果を得ることはできない。

位相暗号鍵を用いることにより、照合処理速度を低下させることなく、個人情報保護することが可能となる。

### (3)ステレオビジョンによる撮影角度に対するロバスト性の改善

本システムでは、データベース内の顔画像とカメラから取得された顔画像の照合を、光学的相関器により高速に行っている。2次元画像の相似に基づいて識別を行うため、高い識別能力を発揮するためには、カメラに対する顔の向きを高い精度で合わせることが必要である。ただし、使用する環境を考えた場合、常に等しい方向に顔を向けて撮影することは難しく、認証率を向上させることが困難であった。そこで、本研究では、ステレオカメラにより顔の三次元形状を測定し、正面から見た顔画像をコンピュータグラフィックにより再現する機能を組み入れた。

## 4. 研究成果

### (1)位相限定相関法に基づく光相関器の構築

図4に示す位相限定相関法に基づく光相関器の光学系を構築した。図5に、参照画像より、ホログラムに記録する位相データの作成手順を示す。まず、顔の領域を検出し、エッジ抽出する。これをフーリエ変換し、さらに位相分布のみを抽出する。ここで、 $\exp j(au + bv)$ のような線形的な位相分布を付加し、これを記録用の参照位相データとした。

参照位相データをホログラムに記録した後、入力画像との照合を行った。入力画像に対する位相分布は、先と同様に顔の領域を検出し、エッジ抽出後のフーリエ変換像より得た。これをPPMに表示した状態で、ホログラフィックメモリより参照データを再生することにより、CCDカメラ上で相関信号を得た。ここで、相関信号は参照信号に与えた  $\exp j(au + bv)$  に応じて、中心から少しずれた位置に出力される。図6にCCDカメラに出力された相関信号を示す。ただし(a)は参照画像と入力画像が一致している場合、(b)は一致しない場合の結果である。

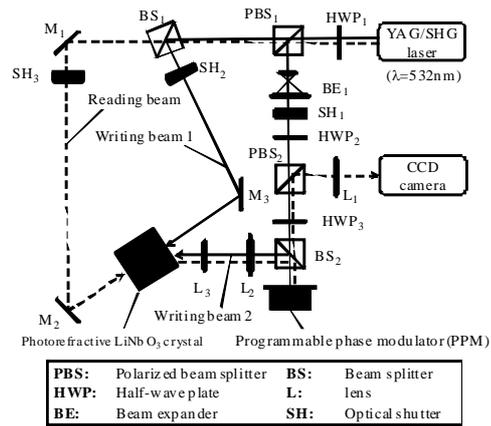


図4. ホログラフィック光相関器の光学系

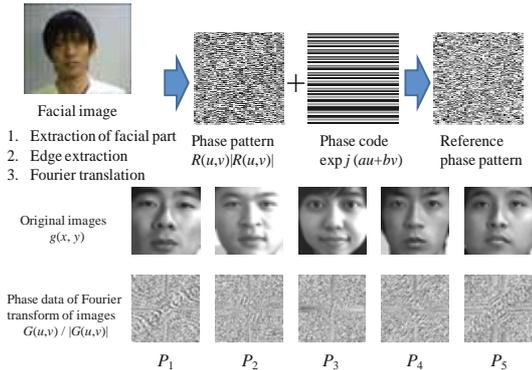


図5. ホログラムに記録する参照データに対応する位相データ作成手順



(a)画像一致する場合 (b)一致しない場合  
図6. CCDカメラで観測された相関信号

位相限定相関法を用いた場合、画像の類似度に応じて極めて鋭いピークを持つ相関信号を得ることができる。したがって、参照画像と異なる入力画像と照合を行った場合、出力信号はほぼスペckル光のような拡散光が出力され、ピークを持った相関信号は得られない。この性質を利用することにより、同一の位相データに複数の参照画像の情報を多重することが可能となる。

図7に多重参照データの作成法を示す。それぞれの参照画像に対する位相分布に、異なる線形位相分布  $\exp j(au + bv)$  を乗算した後、これらを足し合わせた。ここで与えられた線形位相分布により、それぞれの参照画像に対する相関信号の出力先を制御することができる。図8に顔画像1および2に対応した多重参照データを用いた場合の相関信号を示す。ただし同図(a)は、顔画像1を入力した場合、(b)は顔画像2を入力した場合の

相関信号である。同図より、それぞれの画像に対する相関信号が異なる位置に出力されていることが確認できる。したがって、相関信号のピーク値がどの位置に出力されるかをみることによって、どの参照画像に一致しているのか把握することが可能となる。

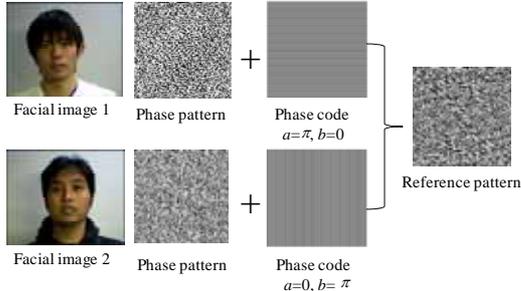
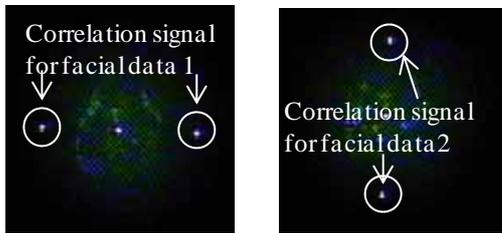


図7．多重参照データの作成方法



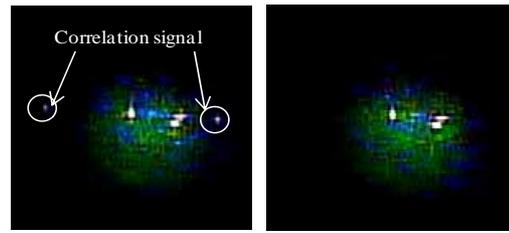
(a) 顔1の相関値 (b) 顔2の相関値

図8．多重参照データを用いた場合の相関値

## (2) 位相暗号鍵による暗号化と複数のデータベースの作成方法

顔画像のエッジデータより、フーリエ像の位相分布を取り出し、さらに位相コード鍵を乗算することにより参照データを暗号化した。入力データにも同様に位相コード鍵を乗算し、照合を行った。参照データを作成する際に付加された位相コード鍵（暗号鍵）と、照合時に付加された位相コード鍵（復号鍵）が一致する場合、これらの鍵の情報は相殺される。したがって、鍵が一致するデータに対しては、通常の相関演算と同じ結果が得られる。

図9に、暗号鍵と同じ位相分布を復号鍵として入力データに与えた場合、異なる位相分布を与えた場合の出力信号を示す。ただし、入力データと出力データの顔画像は同一のものを使用した。同図より、正しい復号鍵を使用した場合、相関信号が得られることが分かる。一方、二つの鍵が一致しない場合は、PPMを透過した光はランダムな位相分布を有しているため、CCDカメラ上ではピークを持つ信号は出力されない。したがって、正しい復号鍵を使用しない場合は、本データベースを使用することができないことが確認された。



(a) 暗号と同一の復号鍵 (b) 異なる復号鍵

図9．暗号化された参照データに対する相関信号

さらにこのような特性を利用して、データベースに記録されるデータ群に対して特定の位相コードを付加することにより、一つのホログラフィックメモリ内に複数の独立したデータベースを作成することが可能となる。本手法を用いることで、複数のユーザが互いのセキュリティを確保しつつ、個別のデータベースを使用して、画像照合処理を実行することができる。

図10に示すように各データベースのデータを作成する際に、特定の位相コード鍵を割り当てて、各データベースに登録される位相分布にそれぞれ掛け合わせる。その後、各データベース内で生成された新たな位相分布を複数足し合わせて、メモリに登録するページデータを作成する。このように異なる暗号鍵が与えられたデータベースを構築することにより、相関器の使用者は自分の持っている暗号鍵に対応したデータベースのみに対して照合処理を行うことが可能となる。自分の把握していない暗号鍵を使用して構築されたデータベースに対しては、正しい照合結果は得られない。

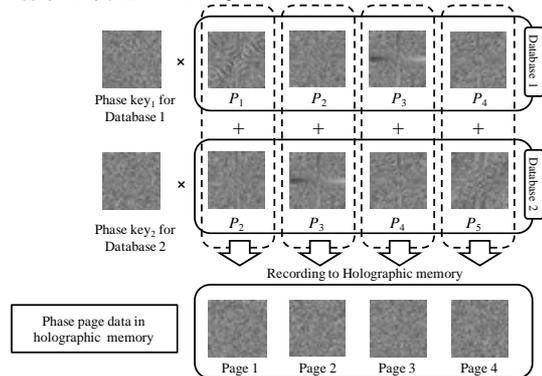


図10．異なる位相コード鍵により暗号化された二つのデータベースの多重化

## (3) ステレオビジョン技術を用いた顔形状の測定と撮影角度の自動補正機能の実現

従来の方法と同様ホログラフィックメモリを用いた認証システムには、撮影角度が変化した場合に人物特定の処理能力が低下するという原理的欠点がある。多くの場合、撮影角度に対するロバスト性を向上させるた

め、複数の角度より撮影されたデータをあらかじめメモリに記録するという方法が使用されているが、対象人数の増加に伴いそのデータの入力作業が膨大となる。それに対し我々は、ステレオビジョン技術により顔の三次元形状を取得し、カメラに対して正面を向いた顔画像をコンピュータグラフィック(CG)により再現する技術を組み込むことを検討した。本手法を用いることにより、参照データと入力データの顔の角度を容易に一致させることができ、認証率の改善及び撮影角度に対するロバスト性の向上を図った。

図 1 1 に入力および参照画像の作成手順を示す。

ステレオカメラより 2 枚の二次元画像(480×360 pixel)を撮影する。この 2 枚の画像の視差を計算し 3 次元形状を取得する。

右カメラの二次元画像より、Haarlike フィルタを用いて顔・黒目を検出する。さらに両目の高さが一致するようにアフィン変換を行う。

テンプレートマッチングを用いて二次元画像における目じり・口角の座標を特定する。

先に取得した 3 次元データより、対応する座標を特定し、顔の向きを推定する。顔が正面を向くように顔の形状データの座標を変換する。

正面を向いた顔の CG (80×80pixel)を作成する。

左右の目じりの座標が(5,15)、(55,15)となるように規格化を行い、中央の 60×60pixel を抽出する。ただし z 方向(奥行き)が正確に取得できなかった部分は、右カメラから取得した画像より、対応する点の輝度情報を用いて補正を行う。

Sobel フィルタでエッジ抽出し、二値化を行い、入力画像を作成する。

図 1 2 に、本システムにより作成される正面を向いた顔画像を示す。ただし、様々な向きに顔を向けて撮影した。同図より、撮影時の顔の向きが異なる場合でも、ほぼ等しく正面を向いた顔の CG が作成されることが分かる。

光相関器による照合処理に対して、電子処理で行われる顔画像の CG 作成には多くの時間がかかり、これが本システムの処理速度を決定するボトルネックとなる。そこで電子処理部の更なる高速化を実現するため、GPU による画像処理システムを構築した。本システムを構築する際、GPU ボードとして NVIDIA 社製の GeForce GTX560 を使用した。その結果、従来のシステムでは 1 枚の CG を作成するために 1sec. 弱の時間を要していたのに対して、約 25msec. の時間で生成することを可能とした。

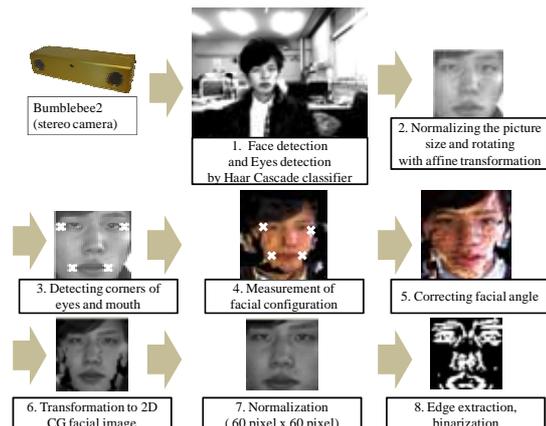


図 1 1 . ステレオビジョンによる顔の 3 次元計測と入力および参照画像の作成手順



図 1 2 . 正面を向いた顔画像の生成

従来のシステムでは、1 枚の入力画像を生成し、データベースに登録されている画像群との照合を行っていた。しかし、瞬きなどの一時的な表情の変化により、データベースの画像と特徴が一致せず認証精度が低下する原因となっていた。新しく開発したシステムにより、短時間に生成された複数の CG を照合器に入力することにより飛躍的に誤認率を低下させることができる。

40 人の顔画像を撮影し、認証率の評価を行った。まず、参照データベース用に顔の向きを正面から上下 10°、左右 5°と変化させ、1 人あたり 20 枚の画像を撮影した。全ての組み合わせで相関演算を行い、最も相関値の平均が高い 1 枚の画像を参照画像として、データベースに登録した。次に同様の範囲で入力画像用に 100 枚の画像を撮影した。

以上の参照画像と入力画像を用いて、認証率の評価を行った。ただし、認証率は、本人拒否率(False Rejection Rate : FRR)と他人受け入れ率(False Acceptance Rate : FAR)が交わる点、EER(Equal Error Rate)により評価を行う。本人拒否率は、入力画像と参照画像の人物が同じであるにも関わらず、相関値が閾値を超えないために、同一人物ではないと誤認する確率である。また、他人受け入れ率は、入力画像と参照画像の人物が異なるにも関わらず、相関値が閾値を超えてしまったために同一人物であると誤認する確率である。

図 1 3 に入力画像を 1 枚とした場合、5 枚の入力画像に対する相関値の平均を用いた

場合の相関値の閾値に対する FRR と FAR を示す。同図より、入力を 1 枚とした場合は EER が 0.8% となり、入力が 5 枚の場合は EER が 0.0% となった。したがって、複数枚の入力画像に対する相関値の平均を用いることで、誤認識率が低下することが分かる。

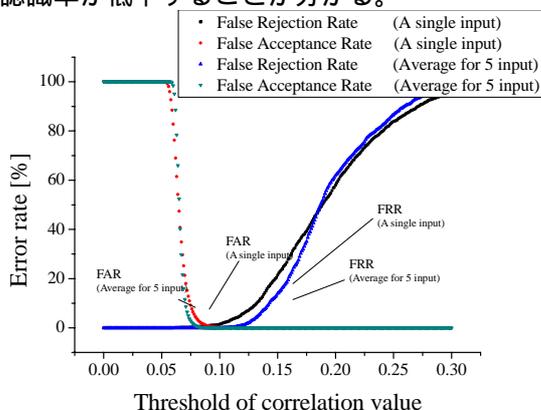


図 13 . 相関値の閾値に対する FRR と FAR

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Satoshi Honma, Yasuaki Yagisawa, Hidetomo Momose, and Toru Sekiguchi, “Face Recognition System with Holographic Memory and Stereovision Technology”, Japanese journal of Applied Physics, No. 50, 09ME13, (2011) (査読あり)

〔学会発表〕(計 4 件)

Satoshi Honma, Yasuaki Yagisawa, Hidetomo Momose and Toru Sekiguchi, “Estimating facial angle for face recognition system with holographic memory and stereo-vision technology”, Proc. of International Symposium on Optical Memory 2011, OME5, Jul. 11, 2011(ハワイ・アメリカ) (査読あり)

Yasuaki Yagisawa, Hidetomo Momose, Toru Sekiguchi and Satoshi Honma, “High speed face recognition system with holographic memory and stereo vision technology”, Proc. of international symposium optical memory 2010, p.248, Th-PO-04, Oct. 28 (花蓮・台湾) (査読あり)

Wenjun Hu, Tatsuya Hasegawa, Toru Sekiguchi, and Satoshi Honma, “Speckle-multiplexing technique for holographic memory using a random phase filter and a polymer-dispersed liquid crystal filter”, Proc. of international symposium optical memory 2010, p.88, Mo-E-03, Oct. 28 (花蓮・台湾) (査読あり)

八木澤 康明, 百瀬 英智, 関口 通, 本間 聡, “顔の向き補正と FARSHAS の認証率の改善”, 電子情報通信学会ソ

サイエティ大会予稿集, p.24 ,Sep. 15, 2010(大阪・日本)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.es.yamanashi.ac.jp:8080/~mutoken/>

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

本間 聡 (HONMA SATOSHI)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：70362085

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし