

I-62 縞パターン相関法による顔の三次元情報を用いた個人認識 Human face recognition using facial 3D structure based on fringe pattern correlator

吉川 宣一
Nobukazu Yoshikawa

1. はじめに

インターネットを利用した商取引や施設管理における入退出検査などにおいて、個人を正確に特定する個人認証技術の重要性が増しており、人間の身体的特徴を利用した認識法の一手法として、顔の三次元情報を利用した手法が注目されている[1]。顔には、鼻・口・頬などの個人特有な三次元情報が含まれているため、認識性能の向上が期待できる。一方、三次元情報の取得や取り扱いが困難であるという問題もある。

最近、縞パターン相関法 (Fringe Pattern Correlator : FPC) [2, 3]を顔の三次元情報を用いた個人認識に応用した手法が提案された[4]。FPC は、三次元情報を高さ変換複素振幅 (位相項に高さ情報を含む複素振幅) の形に変換して、これを直接用いた二次元相関演算により認識処理を行う。それゆえに複雑な計算を必要とする三次元形状の再構成を行う必要がないので、高速な個人認識が期待できる。また、FPC には物体の三次元平行移動に対してトラッキング特性があるため、顔の位置制御に対する要求も厳しくないという利点もある[4]。

これまで FPC では、正確な三次元情報を利用するために、広いバンド幅をもつ高さ変換複素振幅が用いられてきた。しかし、個人認識を行うための三次元情報の伝送・処理を考えると、三次元情報の容量は少ない方が望ましい。そこで、本研究では、高さ変換複素振幅のバンド幅の変化に対する認識性能への影響について述べる。

2. 縞パターン相関法の原理

格子パターン投影法において、格子パターンが三次元物体に投影されたとき、物体の三次元形状により格子パターンに位相シフト ϕ がおこる場合を考える。このとき得られる変形格子像は、フーリエ級数を用いて、

$$g(x, y) = r(x, y) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \exp[i\{2\pi n f_0 x + n\phi(x, y)\}] \quad (1)$$

のように表すことができる[5]。ここで、 A_n はフーリエ係数、 f_0 は格子のキャリア周波数、 r は格子パターンのコントラストを表す。フーリエ変換形状計測法と同様に、式(1)をフーリエ変換して、一次フーリエ成分 ($n=1$) をバンド幅 B で抽出し、 $v'_x = v_x - f_0$ により座標変換すると、

$$G(v'_x, v_y) = FT[A_r(x, y) \exp\{i\phi(x, y)\}] \quad (2)$$

が得られる (図1)。ただし、 FT はフーリエ変換を表

す。FPC では、式(2)を (フーリエ空間の) 高さ変換複素振幅と呼ぶ。式(2)を逆フーリエ変換すると、

$$\hat{g}(x', y) = A_r(x', y) \exp\{i\phi(x', y)\} \quad (3)$$

となり、三次元物体の高さ情報は複素振幅の位相に変換されていることがわかる。

FPC では、高さ変換複素振幅を用いた二次元相関演算により三次元物体認識を行う。高さ変換複素振幅には位相項に高さ情報が含まれているため、二次元相関演算は実効的に三次元物体の相関演算と考えることができる。実際の計算では、高さ変換複素振幅 (式(2)) がすでにフーリエ空間の値なので、これを直接用いて二次元相関演算を行えばよい。すなわち、参照情報と検査情報の高さ変換複素振幅をそれぞれ $G_R(v'_x, v_y)$, $G_O(v'_x, v_y)$ とすると、

$$C_{RO} = |FT^{-1}[G_R(v'_x, v_y) G_O^*(v'_x, v_y)]|^2 \quad (4)$$

により相関出力が得られる。式(4)の計算は、バンド幅 B の高さ変換複素振幅を用いて行われるので、計算は容易に実行できる。

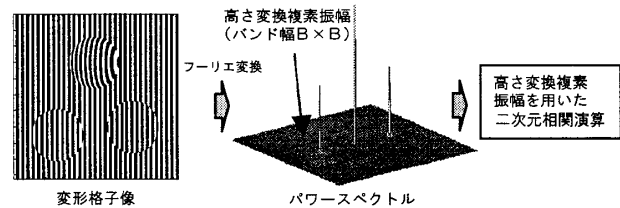


図1. 高さ変換複素振幅の抽出

3. 高さ変換複素振幅のバンド幅の影響

FPC において、高さ変換複素振幅のバンド幅は認識性能に大きく影響する。ここでは、高さ変換複素振幅のバンド幅を変えたときの認識特性を7人の被験者に対する実験により検討した。

3-1. 実験

液晶プロジェクタ (EPSON ELP-715) を用いて格子パターンを被験者の顔に投影し、被験者から120cmの位置にあるデジタルカメラ (OLYMPUS CZ-3030) を用いて変形格子像を取得した。顔に投影された格子パターンの格子幅は約1mmであった。図2に参照人物と検査人物の変形格子像の例を示す。画像サイズは1024×1024画素である。ここで、図2(a)(b)は同一人物の例を示してあるが、変形格子像の撮影はそれぞれ異なる時間に行われている。

参照人物の変形格子像では、顔の三次元情報として重要な部分のみを有効領域 (550×550画素) として用いた。それ以外の領域にはランダムパターンを埋め込んだ。ランダムパターンは、FFTを適用する

領域を実効的に拡大して0次と1次のフーリエ成分の分離を容易にするために用いられる[2]. 参照情報を高さ変換複素振幅に変換したとき, ランダムパターンが埋め込まれた領域は, ランダム位相の空間的な平均化作用により振幅がほとんどゼロになる. そのため, ランダムパターンが相関演算へ与える影響は少ない.

高さ変換複素振幅のバンド幅の上限は, 変形格子像の0次と1次フーリエ成分の間隔 D で決まる. 実際には0次成分の影響があるため, バンド幅は D よりもかなり小さく設定する必要がある. 今回の実験では, $D=99$ 画素であったため, 0次成分の影響を考慮して, 最大バンド幅を $B_{max}=128$ 画素と設定した. 実験では, 参照情報のバンド幅を最大バンド幅に固定し, 検査情報のバンド幅を8~128まで変化させた場合を検討した.

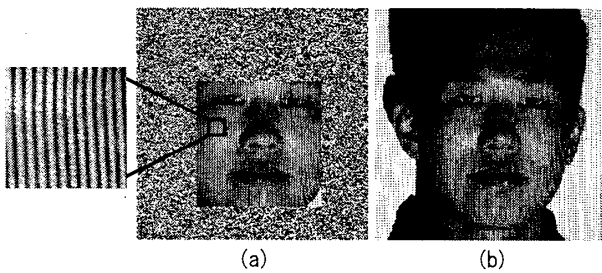


図2. 変形格子像, (a)参照人物, (b)検査人物

3-2. 結果

参照人物と検査人物が同一人物の場合において, 高さ変換複素振幅のバンド幅を変化させたときの FPC による相関出力と半値全幅 (FWHM) を図3に示す. 図3において, バンド幅が拡大するとともに, 相関出力は増加し, FWHM は細くなるが, $B=64$ 以上になるとほとんど変化は見られなくなる.

顔の三次元情報を確認するため, 実験に用いた三次元情報からフーリエ変換形状計測法を用いて再構成した顔の高さ分布を図4に示す. $B=32$ の場合, 参照情報や $B=128$ に対して高さ分布の大まかな一致は見られるが, かなりの歪が生じている. 一方, $B=64$ の場合, 高さ分布は参照情報や $B=128$ とよく一致している. また, 図4からわかるように, 髪や影のような格子パターンのコントラストが低下する部分は, 一次フーリエ成分への寄与が少なくなるため, 高さ情報は不定な値になり (振幅がほとんどゼロになるため位相はランダムな値をとる), これらの領域の情報は, 参照情報のランダムパターンと同様に相関演算への影響は少ないと考えられる. しかし, バンド幅が狭くなるとランダム性が低下しているので, 相関出力の低下の原因になると考えられる.

参照人物と別人の場合の認識実験を行ったところ, 相関出力は $B=64$ 以上において平均で 0.1 以下であった.

以上の結果より, 本実験において $B=64$ にバンド幅を設定すれば, 正確な個人認識が実行できる. このバンド幅は参照情報のそれより狭くなっていることから, バンド幅の削減は必ずしも認識性能を低下さ

せるものではないことがわかった. しかし, バンド幅を削減しすぎると認識性能が極端に低下するので, 最適なバンド幅を正確に求める方法を検討する必要がある.

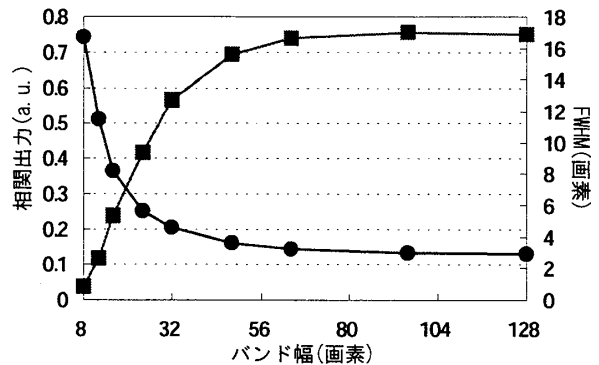


図3. 同一人物のときの相関出力 (■), FWHM (●)

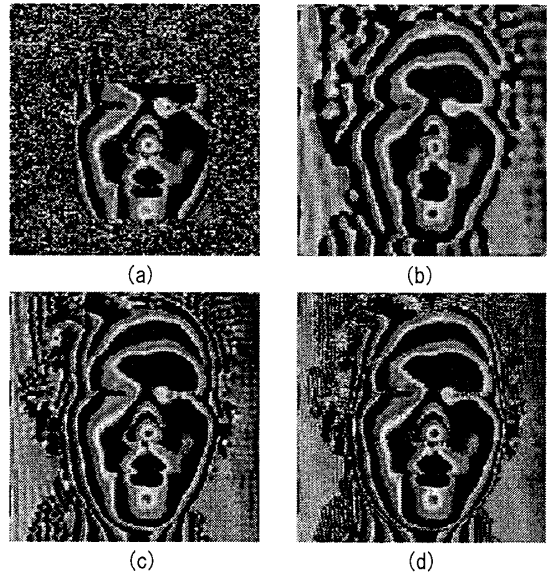


図4. 高さ分布, (a)参照情報, (b)B=32, (c)B=64, (d)B=128

4. まとめ

FPC による顔の三次元情報を用いた個人認識法の提案を行い, 実験によりその有効性を示した. また, 三次元情報を表す高さ変換複素振幅のバンド幅を変化させたときの認識性能を調べることで, 認識性能を低下させることなくバンド幅の削減ができることを示した.

参考文献

[1] 瀬戸洋一: “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).
 [2] N.Yoshikawa and T.Yatagai, Opt. Lett., 25, 19, pp.1424-1426 (2000).
 [3] N.Yoshikawa, Proc. SPIE Vol.4416, pp.436-439 (2001).
 [4] N.Yoshikawa, 19th Congress of the International Commission for Optics (ICO-19) (2002).
 [5] M. Takeda and K. Mutoh, Appl. Opt. 22, 3977 (1983).