

## 近赤外光源を用いた格子パターン相関法による 三次元物体認識の検討

### Fringe pattern correlation method with near-infrared light source for three dimensional object recognition

吉川 宣一  
Nobukazu Yoshikawa

#### 1. まえがき

三次元物体認識は物体の形状検査や位置検出など様々な分野で研究されている。我々は、三次元物体認識技術の応用として、変形格子像に対するフーリエ変換法[1]と二次元相関演算に基づいた格子パターン相関法(FPC)[2]による顔の三次元情報を利用した個人認識について検討してきた[3,4]。本手法では顔の三次元情報を利用することにより高精度な個人認識が期待できる。三次元計測は格子パターン投影法に基づいている。従来は可視光の格子パターンを用いていたが、計測対象が顔であるため被験者に対して大きな負担になっていた。そこで被験者の負担軽減のために近赤外光の格子パターン投影による三次元形状計測システムを提案した[5]。しかし、このシステムでは液晶プロジェクタとデジタルカメラに赤外透過フィルタを組み合わせた簡易的な近赤外格子パターン投影システムを用いていたので、変形格子像のコントラストの低下とノイズの増加が顕著になった。そこで本研究では、変形格子像における格子パターンのコントラストとノイズによる三次元情報の抽出への影響をシミュレーションと光学実験により検討する。また、物体認識には二次元輝度情報も重要であることから、波長選択ミラーを用いて赤外光と可視光を分離して二次元輝度情報を三次元情報と同時に取得する方法を提案する。

#### 2. 格子パターン相関法の原理

プロジェクタより格子パターンが三次元物体に投影され、別方向からカメラで物体を撮影したとき、物体の三次元形状により位相シフト $\phi$ が発生した変形格子像を考える。簡単のために正弦格子を投影した場合を考えると、このとき得られる変形格子像は、

$$g(x, y) = a + b \cos\left\{\frac{2\pi}{p}x + \phi(x, y)\right\} \quad (1)$$

と表せる。ここで $a$ はバイアス項、 $b$ は格子パターンの変調度、 $p$ は正弦格子の周期を表す。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をバンド幅 $W$ で抽出する。この一次フーリエ成分を逆フーリエ変換すると、

$$\hat{g}_1(x, y) = b \exp\{i\phi(x, y)\} \quad (2)$$

となる。式(2)より三次元物体の高さ情報は複素振幅の位相項に変換されていることがわかる。式(2)を高さ変換複素振幅と呼ぶ。FPCでは高さ変換複素振幅を直接用いた二次元相関演算により三次元物体認識を行う。高さ変換複素振幅の位相項には高さ情報が含まれているため、これを用いた二次元相関演算は実効的な三次元相関演算と考えるこ

とができる。実際の計算では、変形格子像から抽出した一次フーリエ成分がフーリエ空間の値なので、これを用いて二次元相関演算を行えばよい。FPCでは実際の高さ情報を求めなくても三次元相関演算が可能であり高速処理が期待できる。

#### 3. 近赤外光を用いた三次元計測システム

近赤外光を用いた三次元形状計測と波長選択ミラーを用いた二次元輝度情報の同時計測システムを図1に示す。近赤外プロジェクタは、液晶プロジェクタ(エプソン ELP715)とIRフィルタで簡易的に作製した。IRフィルタは675nmで約-10dBmの減衰特性をもつ。プロジェクタの通常使用でのスペクトル特性を測定したところ、黒表示( $R=G=B=0$ )でも近赤外領域(680~750nm)で微弱な光が漏れていることがわかった。赤表示( $R=255, G=B=0$ )にIRフィルタを組み合わせたとき、最大透過強度は、波長713.2nmにおいて約-41dBm、黒表示の場合との差は約4.4dBmであった。波長675nmにおいては約-45dBmであり、黒表示の場合との差は約14dBmであった。これらの条件を考慮して、赤黒の格子パターンを物体に投影することにした。しかし、 $G, B$ 成分は近赤外領域で光が漏れるため、変形格子像にはコントラストの低下が生じてしまう。近赤外用カメラにはIRフィルタを組み込んだデジタルカメラ(オリンパス C3030Z)を用いた。可視光対応のデジタルカメラであるため、近赤外領域の感度は低く、暗電流によるノイズは相対的に増加する。波長選択ミラーは透過波長をIRフィルタに合わせて設定し、赤外光による変形格子像(三次元形状情報)と可視光による像(二次元輝度情報)を波長で分離するために用いる。このようにして二次元輝度情報と三次元形状情報の同時取得が可能になる。

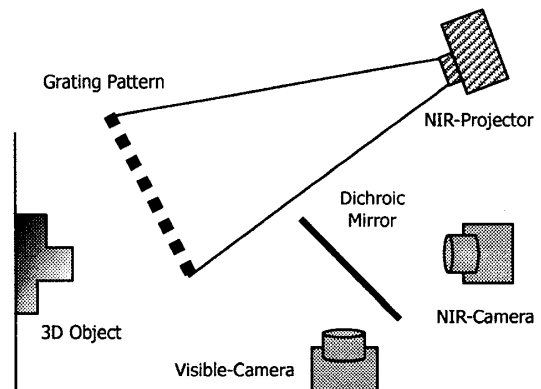


図1. 近赤外光を用いた三次元計測システム

#### 4. 変形格子像のコントラストとノイズの影響

近赤外光を用いた三次元計測システムから得られる変形格子像はコントラストが低く、ノイズが多く発生していた。そこで変形格子像のコントラストとノイズの影響をシミュレーションにより検討した。

格子周期  $p=16$  の格子パターンを入射角度 30 度で物体に投影することを仮定した。三次元物体として、平面と平面上にある 3 つの物体 (半楕円体 (半径: 3.5p, 高さ: 9.8p), 四角錐 (一辺: 20.3p, 高さ: 3.1p), 円錐台 (半径: 2.5p, 高さ: 10.0p)) を仮定した。変形格子像は  $1024 \times 1024$ , 8 ビットの画像として得られるものとして,  $W=96 \times 96$  とした。

シミュレーションは, バイアスと変調度を変えた変形格子像に平均 0, 分散  $\sigma^2$  のガウスノイズを加えた場合を考える。変形格子像のパラメータは, バイアス  $a = \text{INT}(255A)$ , 変調度  $b = \text{INT}(255B)$  により設定した。ただし,  $\text{INT}()$  は整数化を行う演算子である。FPC により高さ変換複素振幅を求めて, その位相分布と基準となる位相分布との自乗誤差 (MSE) により評価した。基準位相はノイズのない最大コントラストをもつ変形格子像から得られた位相分布とした。

バイアスを変えたときのノイズに対する MSE はほとんど変わらなかった。これは FPC では変形格子像の一次フーリエ成分のみを用いることから推察され, バイアスの影響はほとんどないと考えられる。

コントラストを変えたときのノイズに対する MSE の変化を図 2 に示す。ただし, コントラストは鮮明度  $V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$  で表し, バイアスは  $A=0.5$  に固定したときを考える。この条件において, 鮮明度は  $V = 2B$  の関係がある。図 2 よりコントラストが大きいほうが MSE は小さく,  $V=0.4$  以上あれば, ノイズの分散が 1 でも十分に三次元形状情報を検出できるといえる。また, ノイズの分散が 0.01 よりも小さければ, コントラストが 0.04 でも十分に三次元形状の検出が可能になることがわかる。

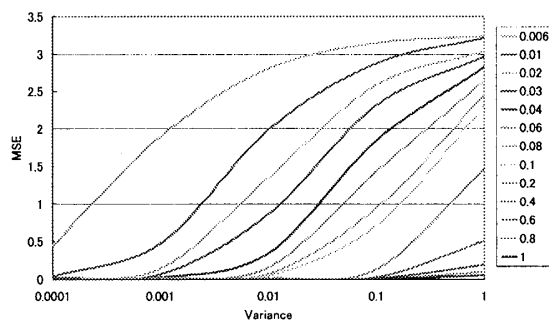


図 2. コントラストを変えたときのノイズの影響

#### 5. 光学実験

近赤外光を用いた三次元形状計測システムを用いて実験を行った。格子パターンの周期はデジタルカメラで撮影可能な 5mm に設定した。三次元物体は人形を用いた。変形格子像は  $1024 \times 1024$ , 8 ビットの画像として取得し,  $W=48 \times 48$  とした。撮影条件として, シャッタースピード 1 秒としたときの ISO 感度 100 相当 (条件 I), 400 相当 (条件 II) の場合を検討した。条件 I の場合の変形格子像は低コントラスト・低ノイズの特性があり, 鮮明度は  $V=0.07$  であった。条件 II の場合は, 高コントラスト・高ノイズであり,  $V=0.42$  であった。

図 3 に FPC により抽出された高さ変換複素振幅の位相分布 (高さ分布) を示す。MSE は, 条件 I : 0.44, 条件 II : 0.23 であり, いずれの場合も三次元形状を十分に計測できていることがわかった。顔を計測対象とした測定を考えると, 近赤外光は少しとはいえ人間にも感知できるので, 安全性のため照射する赤外光は弱いほうがいい。すなわち, 今回の応用では, 赤外プロジェクタの出力は低く抑えて, 低ノイズのカメラを用いることが望ましいといえる。

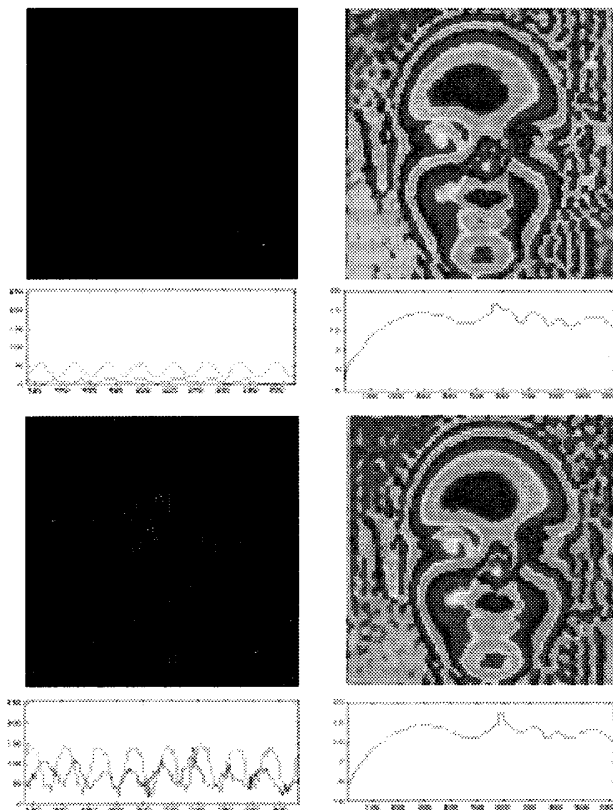


図 3. (上段)条件 I, (下段)条件 II の変形格子像とその高さ情報。下図は変形格子像と高さ情報の断面プロファイルの一部をそれぞれ示す。

#### 6. まとめ

近赤外プロジェクタを用いた三次元物体認識について検討した。波長選択ミラーを用いた可視光領域での二次元輝度情報の同時計測システムを提案した。計算機シミュレーションにより, 変形格子像が低ノイズで取得できれば格子のコントラストが低くても三次元情報の抽出が可能であることを示した。光学実験により, 低ノイズかつ低コントラストの条件で撮影された変形格子像より三次元情報の抽出が可能であることを確認した。

#### 参考文献

- [1] M.Takeda and K.Mutoh, Appl. Opt. 22, pp.3977-3982 (1983).
- [2] N.Yoshikawa and T.Yatagai, Opt. Lett., 25, 19, pp.1424-1426 (2000).
- [3] N.Yoshikawa, Proc.SPIE 4829, pp.1057-1058 (2002).
- [4] 吉川宣一, 情報科学技術フォーラム, 1-62 (2002).
- [5] 鈴木陽介, 吉川宣一, Optics Japan 2003, pp.524-525 (2003).