

# カラーレンジファインダの誤差要因に関する検討

佐藤辰雄  
機械電子部

## A Study on Error Factors in Color Range Finder

Tatsuo Sato  
Mechanics and Electronics Division

### 要旨

色相空間で直線的なグラデーションを持つカラーのパターンを投影することにより三次元形状を計測する新しいレンジファインダを開発した。液晶プロジェクタとカラーCCDカメラを用いて実現している。計測原理としては幾何学的にはシンプルなアクティブステレオである。プロジェクタより投影したパターンの色を、CCDカメラで撮影した画像中でできるだけ精度よく復元する必要がある。線形重回帰分析によるRGBチャンネル間クロストーク補償や、折れ線近似による非線形補償などを行うことにより実現した。この手法はスキャナーなどの機械的可動部を持たず、解像度（空間分解能）が高いことに特徴があり、指紋のような微小かつ複雑な表面形状を持つ物体の計測が可能となった。

### 1. はじめに

物体の形状を計測する三次元計測装置（レンジファインダ）はいろいろな計測原理に基づく装置が提案されている。ところが、その実現例としては人間の顔や体など比較的大きな物体を計測対象としており、ICパッケージや電子部品類などのような小さな物体を計測する装置を実現しようとする、レーザビームの絞りやビーム走査のジッタ等の困難な問題が発生する。

レーザを用いたスポット光やスリット光走査法では解像度に比例してより多数の位置検出処理を必要とするため、実用的な早さで計測するためには特殊な高速処理回路が必要となる。またバイナリコードやグレイコードなどを用いてこの点を改良した空間符号化法もあるが、今度は距離分解能に比例して多数の画像取得が必要となり、やはり高速性と分解能のトレードオフとなってくる。

そこでこのような問題点を解決するため、機械的可動部を持たず、色相空間で直線的なグラデーションを持つカラーパターンを投影することにより形状を計測する、新しいレンジファインダを開発した。

### 2. 装置と計測原理の概要

実際の装置はCCDカメラ、LCDプロジェクタ、及びビデオ入出力インターフェースを備えたPCから構成される。計算は幾何学処理と信号処理とから成る。

三次元形状は、光学系の幾何に基づく計算により求め

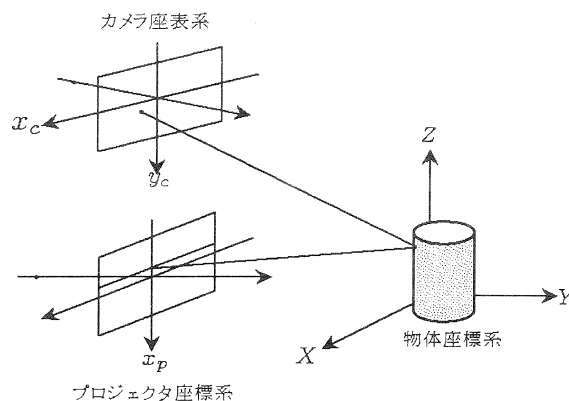


Fig.1: 装置の幾何学的構成

られる。具体的には、カメラおよびプロジェクタのそれぞれについて透視投影を構成し、両式を物体座標について連立に解くことにより計算する。このときカメラパラメータおよびプロジェクタパラメータはキャリブレーションによりあらかじめ求めておく必要がある。計測装置の幾何学的構成をFig.1に示す。

信号処理の側面として液晶プロジェクタ及びCCDカメラの色特性を補正する必要がある。パターンを投影しカメラでその画像を取り込むとき、プロジェクタやカメラの特性によって様々な変換を受ける。その変換特性をモデル化してそれを同定できれば、投影パターンは撮影した画像のみから推定できる。

実際のプロジェクタとカメラの各RGBチャンネル間に

は相互に光の漏れ込み（クロストーク）が存在する。また CCD カメラの個々の RGB センサは、光が入ってこない（真っ暗）状態でもセンサ自体のいわゆる暗電流があるため出力はゼロではない。周囲光も完全にゼロとは限らない。そこでこれらを考え併せて線形結合モデルを仮定し、このモデルを同定して観測画像に対して RGB チャンネル間のクロストークの補正を行う。これによりプロジェクタとカメラを総合した感度（ゲイン）も自動的に一定に補償される。

プロジェクタやカメラの入出力応答には非線形ないわゆる $\gamma$ 特性があり、両者を含めた総合的な直線性の補償も行う必要がある。ここでは計算の簡単な折れ線近似により補正を行っている。

カラーパターン投影法では計測対象の色による誤差の発生に注意する必要がある。この誤差は次の手順によりキャンセルされる。それぞれの色相を循環的に1/3周期ずつずらした3通りの投影パターンを順次投影し、投影像を取得する。それぞれの画像を位相復元した後画素毎の平均操作により合成する。ずらし量が1/3周期なのでこの位相復元はRGBチャンネルの逆順入換えに相当する。この合成した画像では計測対象の色に関係なく投影パターンの色相が保存されているので、これを用いて距離を算出すれば計測対象の色に影響されない距離計測が可能である。

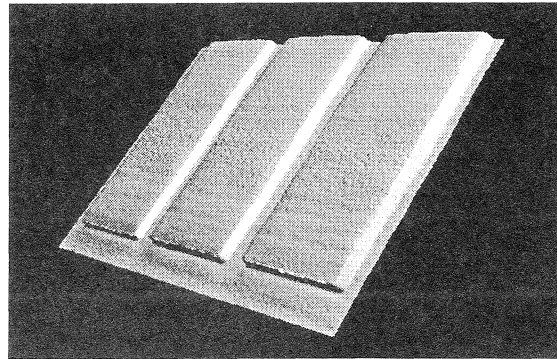
またこの処理により一様分布でない外乱光も瞬時に変化しなければキャンセルできる。つまり暗室を用いることなく計測できることになる。

形状データの例として、ブロックゲージ及び指紋の計測結果を Fig.2 に示す。

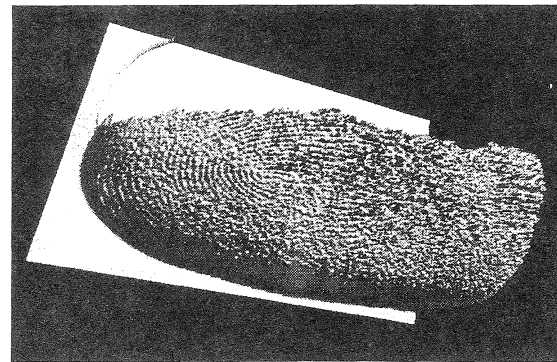
### 3. 誤差要因の検討

計測原理から以下の誤差発生要因が考えられる。

- 幾何学的キャリブレーションの誤差  
：座標系の回転および平行移動誤差を発生
- パターン投影のシェーディング
- パターン投影の幾何学ひずみ  
：平面が湾曲する誤差を発生
- カメラの $\gamma$ 特性（非線形性）  
：投影パターンの色に応じた変形誤差を発生
- ビデオ信号のノイズ  
：平面にショット状凹凸誤差を発生
- 局所的な投影光の2次反射  
：計測対象の形状に依存した誤差を発生



(a) ブロックゲージ (厚さは左から順に 1.001, 1.10, 1.20mm)



(b) 指紋

Fig.2: 計測結果の例

### 4. まとめ

液晶プロジェクタを用いてカラーパターンを投影する新しいレンジファインダを開発した。応用としては、電子、機械部品などの外観形状検査が考えられる。今後は前記誤差要因を検討することによりさらに性能改善を行い、実用化を進める予定である。

### 参考文献

- [1] 佐藤辰雄, 北山公也: “マルチスペクトル光投影レンジファインダによる形状計測”, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.12, pp.177-184(1997-12)
- [2] Tatsuo Sato: “Multispectral Pattern Projection Range Finder”, Proc. of the SPIE Electronic Imaging '99, Vol.3640, pp.28-37(1999-1)
- [3] 佐藤辰雄, 築根秀男: “カラー符号化を用いたレンジファインダ”, 電気学会システム・制御研究会, SC-00-5, pp.23-28(2000-3)