

Q6 クロススリットを用いた3次元細部形状計測法

上野 寛† 董 嘉挺† 石井 郁夫† 高橋 章†† 今井 博英†
 †新潟大学大学院自然科学研究科 ††長岡工業高等専門学校

1. はじめに

従来のステレオ法による形状計測では、形状分解能が主にカメラの解像度に依存する。そのため大きな物体全体を細部形状まで取得するには、計測系を物体に接近させて移動させながら局所的に計測した細部形状を接合して再構成する必要がある。計測された結果の重ね合わせにより局所形状を接合するいくつかの手法が提案されているが^{[1]-[3]}、根本的にはカメラパラメータなど計測系の誤差の低減または誤差補正を必要とする問題である。また、計測系を移動させる場合にはその都度物体に対する計測系の外部パラメータを取得する必要がある、計測が煩雑で精度低下を招きやすい。

筆者らは、レーザスリット投光器の走査角分解能がカメラの焦点から見た隣接画素角分解能よりはるかに高いことに着目し、固定したレーザ投光器に対するカメラの外部パラメータを形状計測系自身で計測しながら、カメラを自由に移動させて局所的に細部の形状計測を行う高精度アクティブステレオ形状計測法を開発した。レーザ投光器固定という制約はあるが、カメラの外部パラメータの誤差要因を極力低減してそれらの修正なしに実用精度を目指すこと、クロススリット光を用いることによって接合形状の対応点問題を解決することなどを特長とする。

2. 計測精度

試作機は、スリットレーザ発光ヘッド：キコー技研 MLXH、スキャナ：GSI Lumonics 社 M3ST、カメラ：CANON EOS-1D で構成した。カメラの CCD サイズは $28.7 \times 19.1\text{mm}$ 、画素数 2496×1682 であり、28mm レンズを用いた場合に画角は約 $85^\circ \times 60^\circ$ 、隣接画素角はおよそ 0.023° になる。レーザスキャナは 16bit の DA 変換器によるサーボ制御で、DA 変換器の非直線性とドリフトを考慮しても 15bit 分解能以上の精度が得られる。スキャナの最大走査角度 $\pm 30^\circ$ を 15bit で分割すると $0.0018^\circ/\text{step}$ になる。スキャナは温度補正付きで、ドリフト、ジッタなどの誤差要因の影響はこの制御ステップの $1/10$ 以下である。隣接画素角とスキャナステップ角の比は約 12.8 となる。すなわち、投光器の視野角の $1/10$ 程度がカメラの視野角になるような局所的計測を行っても精度は低下しない。

3. クロススリット

走査回転軸 X,Y が互いに直交するスリット面を持つ 2本のレーザスリットをそれぞれ独立に走査する。投

光器の外観と構造図を図 1 に示す。それぞれの走査角を規定位置にしたときの 2本のスリットの交点を作る直線を投光器の光軸 Z、投光器焦点を L とした投光器座標系 L-XYZ を図 2 のように定める。X,Y 各軸まわりを回転するスリット面をそれぞれ Ψ_x, Ψ_y 、それらの面と Z 軸のなす角をそれぞれ θ_x, θ_y とする。

単一スリットでは、走査角の制御によってスリット面を規定するだけであるが、クロススリットでは L からの Ψ_x, Ψ_y の交差直線のベクトルを規定し、オブジェクト表面に交点をマーキングできるので、十分にキャリブレーションされた投光器では、 θ_x, θ_y によって L とオブジェクトの任意の一点を結ぶベクトルを高精度に求めることができる。

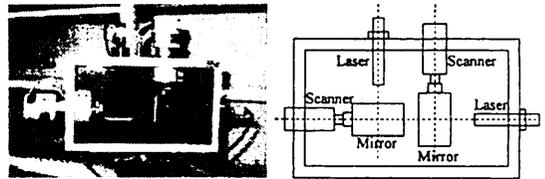


図 1: 投光器の外観と構造図

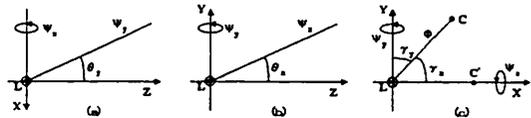


図 2: 投光器座標系

さらに、図 2(c) のようにカメラの焦点を C とし、Z 軸と C を含む面を Φ 、 Φ と X,Y 軸のなす角を γ_x, γ_y とする。単一スリットによるアクティブステレオ法では、 Ψ_y に対してカメラを C' のような位置に置く。カメラを移動して γ_y が小さくなるとスリットにより切断されたオブジェクト輪郭の画像が Y 軸方向に圧縮され、Y 軸方向の分解能が低下する。 Ψ_x, Ψ_y のクロススリットを用いると、 γ_y が小さくなった場合に γ_x が大きくなるため Ψ_x スリット面を利用することによって分解能の低下を防止することができる。そのため、レーザ投光器位置を固定したままで高精度計測可能なカメラ移動範囲を広く設定することができる。

4. カメラ外部パラメータ取得法

カメラを移動して局所ターゲットの形状を取得するには、カメラの外部パラメータ取得が必要である。投光器とカメラからなる計測系のみでカメラの外部パラ

メータを自己取得するために、カメラを図3のようなフレームに取り付ける。カメラ光軸と平行に伸びた4本のアームの先端にマーカ板を取り付ける。



図3: カメラフレーム

マーカ板は図4のようにカメラ視野の四隅に写る。各マーカ板には直交する2本の直線が描かれている。カメラをオブジェクトに接近させて被計測部分を視野に入れ固定する。投光器を制御して四隅のマーカ板にスリットを照射して画像を取得し、Lから見たマーカ板の直線の交点 P_1, P_2, P_3, P_4 のベクトル p_1, p_2, p_3, p_4 を求める。長方形の辺の長さが既知であれば、これらのベクトルから投光器座標系における長方形の位置/姿勢が得られる[4]。マーカ中心点で構成する長方形を画像面とし、画像中央点を原点とするカメラ座標系を考える。この座標系における焦点の座標や画像歪み補正パラメータなどの内部パラメータを求めておけばカメラの外部パラメータがわかる。

このキャリブレーション法は、被計測オブジェクト

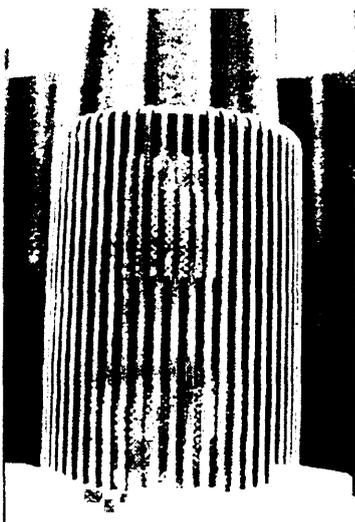


図4: オブジェクトとマーカ板

に極めて近接した画像面を用いてキャリブレーションを行うため、レンズとカメラの撮像面に対して行う一般的なキャリブレーション法に比べてオブジェクト付近での外部パラメータの誤差の影響が極めて小さいことを特長とする。さらに、外部パラメータを取得した直後にスリットの走査角の制御のみで形状計測を行うことで、不測の誤差の混入を防止できる。

5. 局所形状の接続

局所形状の接続時に問題となる計測誤差を極力低減する方法を述べたが、さらに位置合わせの問題がある。クロススリット計測はスリットライン計測にもクロススリットの交点を利用した点計測にも対応できる方式なので、異なるカメラ位置の間で重複視野領域を設定し、この領域内に多数のクロススリットの交点を配置すれば、両データ間の多数の点を容易に対応付けることができる。これらの点の対応を利用して局所形状を高精度で接続することができる。

6. まとめ

大きな物体形状を細部形状まで取得する場合の形状分解能のダイナミックレンジ拡大のために、カメラをオブジェクトに接近させて局所形状を高解像度で取得し、それらを接合する場合の誤差軽減方法を述べた。クロススリット投光器を用いることにより、投光器に対するカメラ設定位置の自由度を大きくする方法、オブジェクトに近接した画像面をキャリブレーションすることによって誤差を低減する方法、クロススリット交点を利用して接合形状の対応点処理を容易にする方法などを提案した。

今後の課題は、投光器を移動してオブジェクトの全周形状を計測する場合の投光器外部パラメータ取得法の確立、接合の際に対応点間で誤差が生じた場合の補正方法の検討などである。

参考文献

- [1] 清水郁子, 出口光一郎, "計測誤差を考慮した距離画像からの精密な姿勢推定", 信学論文誌 D-II, J82-D-II, 12, pp.2298-2306, 1999
- [2] 查紅彬, 牧元喜宣, 長谷川勉, "三次元物体の全周モデルを獲得するための重複部再構成", 画像の認識・理解シンポジウム, MIRU'98, 1, pp.195-200, 1998
- [3] 藤木真和, 山本裕之, 田村秀行, "幾何形状モデル生成のための異種距離画像データ接合法", 情報処理学会論文誌, 38, 2, pp.270-279, 1997
- [4] 高橋章, 石井郁夫, 牧野秀夫, 中静真, "人工現実感インターフェースのための単眼画像からのマーカの位置と姿勢の計測", 信学論文誌 A, J79-A, 3, pp.804-812, 1996