

## 4つのカメラを使った3Dスキャナーシステムの試作 Trial machine of 3D Scanner with 4 Cameras

張 世杰<sup>†</sup>  
Cho Seketsu

小田井 圭<sup>†</sup>  
Odai Kei

### 1. 研究背景

近年、3Dプリンターについての技術が進んでいるとともに、価格も下がり、その応用場面も広がっている。2次元のデータをスキャナで読み取り、それを複製したり印刷したりするには手間もコストもさほどかからないのが現状だが、3Dの物体をスキャンして3Dプリンターで複製する場合は、大変な手間とコストがかかる。3Dデータを読み取り stl ファイルなどを作なければならないが、物体の複製を目的として考えると、プロタイプの3Dスキャナーは値段が非常に高いのに対し、安価なものは精度や読み取り範囲が不足することがある。本研究の目的は、コストと性能が両立し、stl ファイルを得るまで最大2回のスキャンで済む3Dスキャナーを提案することである。

### 2. システムの概要

3Dスキャナーはスリット光投影法に基づき設計した。主に三つのパートからなる。(1) ステッピングモーター、駆動回路と載物台を含む回転部分。機能としては、プログラムによるマイコン制御で、定められたスピードと時間間隔に従って載物台を回転させることである。(2) 線状レーザー発振器(650nm半導体型)1基とその左右に配置された最大解像度とピクセルサイズが分かるUSBカメラ2個の1セット(上面と側面に各1セット配置)で構成したデータ収集部分。機能はスリット光投影法に基づき物体表面に照射したレーザー光線の写真を撮って、形状情報のデータとして中央処理ユニットに送ることである。(3) 中核の処理ユニットとしてラズベリーパイを使う。機能は載物台の回転スピードをコントロールすること(パラメータを調整するのにマルチタッチパネルを使う)及び写真を分析し、物体表面にある特定の点までの距離をプログラムによって計算し、物体の3Dモデルを構築し、3Dプリンターが使える stl ファイルを生成することである。また、スキャンできる物体は200mm x 200mm程度である。

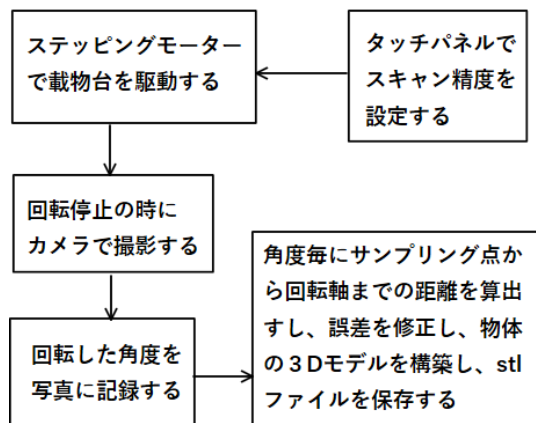


図1 システムの構成

### 2.1 原理

3Dスキャナーの原理は色々あるが、コスト、機能、信頼性と体積を考えた上、三角測量法[1]を基礎の計測手法としたスリット光投影法(光切断法)[2]を選んだ。

スリット光投影法とはカメラが撮った目標物体の写真から物体表面にある一つ一つの点の位置をデータ化する方法である。具体的には三つのステップがある。

まずは目標物体を載物台に置き、載物台の平面と垂直する線状レーザーでスキャンしようとした物体に照射する。次に、レーザー発振器にある小さい角度(既知)に成したカメラで物体表面に当たっているレーザー光線の軌跡を撮影する(図2)。最後に、写真に写ったレーザー軌跡上のサンプリング点の座標によって、物体の表面点からレーザー発振器までの距離を算出する。

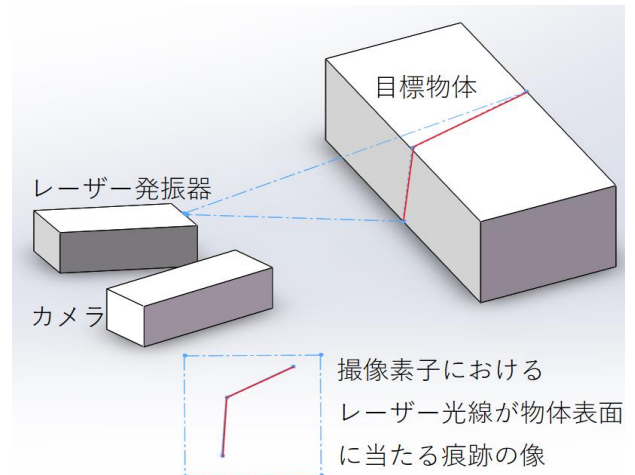


図2 スリット光投影法の原理

### 2.2 計算方法

スリット光投影法の計算には三角関数を用いる、具体的には図3、図4の示す通りである。

撮像素子のピクセルの面積や最大解像度を用いてピクセルの長さを算出する必要がある。図3は平面上の関係を表している。レーザー発振器からカメラレンズの光心までの距離をL、レーザー発振器の軸とカメラと光軸となった角度を $\alpha$ 、レーザー発振器から載物台の回転軸までの距離をdとする。以上の値は既知である。

点 $O_1$ はレーザー光線が物体表面に当たったサンプリング点 $O_2$ (図4)の底面への投影である。 $O_2'$ は点 $O_2$ に対応する撮像素子上の点( $O_2$ の像)である。レーザー発振器からレーザー光線が物体に当たった点 $O_2$ までの水平距離はsとする。xはその点から回転軸までの水平距離である。mはカメラの光心から目標点の水平距離である。 $O_1'$ はその点が撮像素子に対

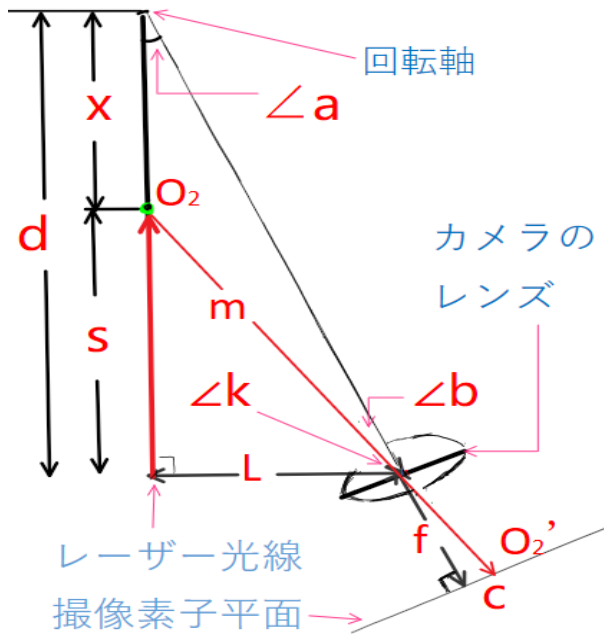


図3 水平距離の算出

応する像の水平位置である。cは $O_2'$ から撮像素子の中央(水平方向)までの水平距離である。この位置が分かれば撮像素子のピクセルの面積や最大解像度を利用し、mとsを算出することができる。1つのピクセルの長さをp、 $O_2'$ から撮像素子の中央(水平方向)までのピクセルの数をyと置けば、それぞれの変数の間には次のような関係式が成り立つ：

$$c = p \cdot y, \angle b = \tan^{-1}\left(\frac{c}{f}\right), \angle k = 90^\circ - \angle a - \angle b, S = \tan(k) \cdot L$$

図4は目標点の高さを得る計算過程である。高さを算出するにはmの情報が必要である。sを算出すると同様、点が撮像素子にある位置情報を使ってその点の高さを得ることができる。 $O_2'$ から撮像素子の中央(縦方向)までの距離をwとし、点 $O_2$ の像から撮像素子の中央(縦方向)までのピクセルの数をtと置けば、それぞれの変数の間には次のような関係式が成り立つ：

$$w = p \cdot t, \angle r = \tan^{-1}\left(\frac{w}{f}\right), m = L / \cos(k), h = m / \cos(r)$$

- (1) 目標とした物体の表面とレーザー光線と交わった線上の点から回転軸までの水平距離、(2) 点の高さ、そして
- (3) そのサンプリング点を取るときの回転角度の3つの情報があれば、3Dモデルを再構築することができる。

### 2.3 実際の仕組み

このシステムは二つの特徴がある。一つは、被写体の上面と側面の両方にカメラを配置している点で、これにより上面のスキャン精度を上げる。二つ目は、レーザー発振器の左右両方の小さい角度の範囲にカメラを一台ずつ配置することによって、側面に小さくて深い窪みがあってもスキャンできる。

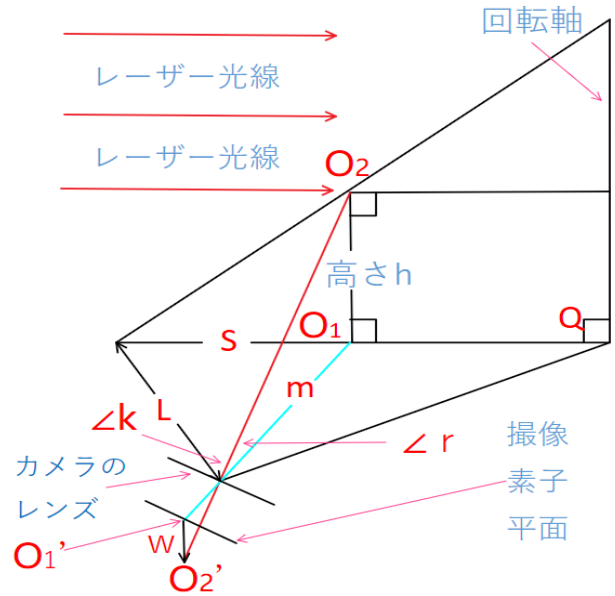


図4 高さの算出

底面情報が必要な場合は載物台との接触面を変え、2回のスキャンで出来たモデルを結合することによって、被写体の3Dモデルを構築できるようにする。

### 2.4 基本機能の実現

最初にマルチタッチパネルの設定メニューを通じてスキャン精度(解像度を変えずにサンプリング点を選ぶ間隔及び回転一回の角度をセットで変えること)と範囲(底面をスキャンするかどうか)を選択し、後はc言語で作ったソフトウェアが自動的にシステムをコントロールし、スキャンを実行する。

### 3. おわりに

usbカメラで測ったデータを用いると計算誤差が予想以上に大きかったという問題が生じている。原因として、各パーツの設置する精度がまだまだ足りないこと、誤差の補正のアルゴリズムが適正ではないこと、カメラの設置位置や固定の仕方、もしくはカメラのスペック(主にピクセルのサイズ、解像度)に間違いがあったと考えられる。後は透明や反射し易い材質の物体の形状情報が正確にえられないことと色情報を記録することがまだできていない。これからはこれらの問題を解決するのもっと力を入れて試したいと思っている。

また、このシステムは別な機能を発揮することが期待できる。例えば、プログラム中に特定な機能を加えて物体の形状だけではなく、体積などの情報も一緒に保存できる。それにより、その表面積や占める空間も計算できる。色の塗装などにも役に立てることができると思う。

### 参考文献

- [1] 井口, 佐藤, 三次元画像計測, 昭晃堂 (1990)
- [2] 日本光学測定機工業会光計測, 朝倉書店 (2010).

† 国士舘大学大学院 工学研究科 Graduate Schools of Engineering, Kokushikan University