716 半透明物体の光学的3次元形状計測法

Optical 3D shape measurement method of translucent objects

○ 赤石 亮介 (茨大院) 馬場 充 (茨大)

Ryosuke Akaishi (Graduate School, Ibaraki Univ.), Nakanarusawa-cho4-12-1, Hitachi-shi, Ibaraki
Mitsuru Baba(Ibaraki Univ)

Translucent objects pose a difficult for traditional 3D scanning techniques. Unlike opaque object, translucent objects exhibit subsurface scattering in which a significant portion of incident lights scatter inside object and the lights emit into the environment at a different location from the incident location. We present a new 3D scanning technique for translucent objects.

Key Words: Translucent object, 3D shape measurement

1. はじめに

近年の3次元レーザースキャニング技術の進歩は著しく、従来であれば、その適用対象が表面で光が乱反射する拡散物体とどまっていたものを、鏡面物体や透明物体への適用を可能にすることも視野に入ってきた。しかしながら、我々の身の回りに多く存在するプラスチック、野菜、果物などのような半透明物体と呼ばれている対象に対しては、レーザースキャニング技術は依然として、原理的に適用できない⁽¹⁾。これは、拡散物体、鏡面物体、透明物体ではその反射分布に違いはあるものの、光が照射されたその同じ位置で反射することが前提になっている。それに対して、半透明物体では光が表面に当たるとその内部に入り込み、物体内部で反射・散乱を繰り返して、光の入射位置とは異なる位置から出射する。その結果、従来のレーザースキャニング技術が適用できないためである。そのため、半透明物体に対するレーザースキャニング技術による3次元計測は最も困難な問題とされ、その手法の確立が強く要望されている。

そこで、本研究ではレーザレンジファインダを用いた半透明物体に対する新たな3次元計測方法を提案する。

2. 半透明物体の光の挙動

Fig.1 に光が物体表面に照射されたときの挙動を示す。図の(a)の拡散物体では表面に光が照射されるとほぼ等しい光強度で半球状に反射するので、反射光に方向性はない。図の(b)は鏡面物体の

Fig. 1 Reflecting and scattering of a light

場合で、光は表面で正反射する。一方、透明物体の場合は光は大部分透過するが、一部は正反射する。しかし、本研究で対象とする半透明物体では表面から一部は反射するものの、一部の光は物体内部に入り込み、物体内部の色素による表面下散乱を引き起こし、入射位置とは異なる位置から出射する。したがって、入射点と出射点が同一であることを前提としている従来のレーザースキャニング技術では図(a)~(c)の対象に対しては入射点(反射点) P_1 が推定できるに対して、図(d)では光の入射点位置と出射点位置が異なるため、従来手法では P' の位置に誤検出することになる。

3. 提案原理

Fig. 2 に半透明物体に対する測定原理を示す。測定システムの基本構成は、スポットレーザ光源、カメラ、著者らが独自に開発した入射ベクトル検出センサからなる。この測定において、測定したいデータは図の(a)における位置ベクトル P_1 と P_2 である。レーザ光源位置 L_1 とレーザ投光角度 l_1 を変化させて、表面上の様々な位置の P_1 と P_2 を求めることにより、対象の3次元形状データを得ることができる。測定プロセスは2ステップからなる。図の(a)に測定の第1ステップを示す。図の(a)に示すように物体表面の左上方からレーザ光により光を照射し、そのときの反射光を表面の真上に設置していたカメラと右上方に設置した入射ベクトル検出センサの検出する。この第1ステップで得られるデータはレーザ光の入射ベクトル位置と方向ベクトル L_1, l_1 、光が物体から出射する2次元位置 $P_2(P_{2x}, P_{2y})$ 、入射ベクトル検出センサでの入力データ S_1, s_1 の5種類である。

ここで注意すべきは光の入射位置ベクトルの $P_1(x_1, y_1, z_1)$ と P_2 の奥行き方向位置(z 座標値)が未知であることである。すなわち、光の入射位置が未知であるため、光の入射位置及び出射位置を求めることが原理的にできないことになる。

そこで、この問題を解決するために、本研究では第2ステップを導入する。第2ステップでは第1ステップにおいて、レーザ光源を入射ベクトル検出センサで測定された入射ベクトル s_1 (すなわち l_1)と入射位置 S_1 (すなわち L_1)に設定して、レーザ光を投光し、そのときのカメラと入射ベクトル検出センサによりデータを取得する。この際、得られるデータは、レーザ光の入射ベクトル位置と

Fig. 2 Proposed method

方向ベクトル S_2, s_2 , 光が物体から出射する2次元位置 $P_1(P_{1x}, P_{1y})$, 入射ベクトル検出センサでの入力データ S_2, s_2 である。

第1ステップと第2ステップにより P_1 と P_2 は以下のようにして求めることができる。 P_1, L_1, l_1 の間には以下の関係が成り立つ。

$$P_1 = L_1 + l_1 \cdot t \quad (1)$$

式(1)を成分に分解すると次式になる。

$$\begin{cases} P_{1x} = L_{1x} + l_{1x} \cdot t \\ P_{1y} = L_{1y} + l_{1y} \cdot t \end{cases} \quad (2)$$

これより t を消去すると, P_1 は以下のように求まる。

$$P_1 = L_1 + \frac{P_{1x}L_{1y} - P_{1y}L_{1x}}{l_{1x}L_{1y} - l_{1y}L_{1x}} \quad (3)$$

同様に P_2 は以下のようになる。

$$P_2 = L_2 + \frac{P_{2x}L_{2y} - P_{2y}L_{2x}}{l_{2x}L_{2y} - l_{2y}L_{2x}} \quad (4)$$

4. 実験装置

Fig. 3 に実験装置の外観を示す。図の左上方からレーザー光を通し、ハーフミラーを介して、2台のカメラにより受光する。カメラ2台を使用するのは表面下散乱の入射ベクトルを検出するためである⁽²⁾。

5. 実験結果および考察

Fig. 4 に半透明平板にレーザー光を投光した様子を示す。図に示すように表面下散乱が生じているために、少し滲んだ分布となっている。

Fig.3 Experimental setup

Fig. 4 Photo of scattering light

Fig. 5 Experimental results

いる。

Fig. 5 に半透明平板の形状測定結果を示す。図の実線が実際の平板を示し、□印が本研究の提案手法、◇印が従来手法の結果を示す。図に示すように本研究の手法は誤差±0.2mmの精度で測定が実現できているので、従来手法は大きな誤差が生じている。

参考文献

- (1) T. Chen, H. P. A. Lensch, C. Fuchs, H-P. Seidel, "Polarization and Phase-Shifting for 3D Scanning of Translucent Objects", Proc. CVPR 2007.
- (2) Mitsuru Baba, Kozo Ohtani, "A New Sensor System for Simultaneously Detecting the Position and Incident Angle of a Light Spot", Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, vol. 4, No. 6, pp. 391-399