

陰影情報を用いた 3 次元オブジェクト生成方法の検討

森村 周平
Shuhei MORIMURA

1 はじめに

近年 PC の高性能化やスマートフォン、ヘッドマウントディスプレイの普及により、AR・VR が一般的に使用されるようになってきている。伴って、AR・VR で用いられている物体の 3 次元オブジェクト生成への需要が増加している。しかしながら、実世界に存在している物体をコンピュータ上で設計することは形状情報を直接得ることができなく、非常に労力を要する。また、3D プリンタの低価格化や高性能化が進んでいることにより、3D プリンタの市場が拡大している。そのため、現実世界に存在する物体の 3 次元データをコンピュータ内に取り込むことで、現実世界の物体の複製や加工が可能である。それにより、一般家庭においても現実世界に存在する物体をコンピュータ内に取り込むことの需要が増加している。そのため実世界の物体をコンピュータ内に取り込む手法として、3 次元オブジェクト生成技術に関する研究が盛んに行われている¹⁾。しかしながら、現在主として用いられている生成手法では実世界にある物体情報を得るために複数位置にカメラを固定しなければならないことなどにより多くの時間とコストを必要とする。また、物体と背景の色が近い場合に輪郭を取得するのが困難である。そのため本稿では時間とコストを抑えること、また物体と背景色が近い場合に実世界にある物体の 3 次元オブジェクトを生成することを目的として、多方向から照明を当てることにより生じる陰影を用いた 3 次元オブジェクトを生成する手法を検討する。

2 画像取得

本研究では多方向からの影を取得するために、正方形に設置されている 9 灯の照明の中央直下に配置した机の上に被写体を設置する。照明と物体との位置関係を Fig. 1 に示す。カメラを固定した状態で照明を 1 灯ずつ順次点灯させ、それぞれの状態における画像取得を行う。

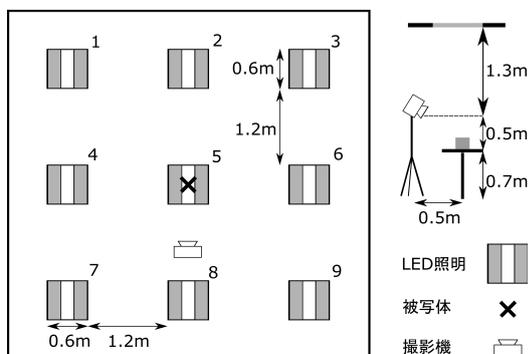


Fig.1 照明と物体の位置関係

3 影情報を用いた形状推定手法

3.1 概要

影情報を用いて形状情報の推定を行う。複数方向から照らして得られる物体が光を遮ることで生じる影から物体の形状が推定可能である。影情報からの物体推定手法は 3 つの段階が存在する。影位置認識、物体位置推定、オブジェクト生成の 3 種類の段階を順に説明する。

3.2 影位置認識

各々の照明を点灯させた際に生じる物体の影の位置を認識する。影が存在する領域は影が存在しない領域と濃淡が異なる。この濃淡差より、明度の大小の差異を比較することで影領域を取得した 2 値画像を作成が可能である。その後 3 次元での位置情報として、机上面における影の位置を取得する。そのために、カメラ画像から机上面への変換を行う。カメラ画像における机の四隅の頂点座標の情報を用いて、透視変換を行うことによって机上面における座標情報を取得することができる。

3.3 物体底面推定

被写体底面の周囲を囲むように影は発生する。これより、被写体の影が存在する領域の内側に物体が存在すると考えられる。まず、影が発生する位置を全て割り出すため、それぞれの照明を点灯させた際にできる影の位置情報を合成する。影の発生し得る全ての位置を認識することにより、影に囲まれている部分を物体の底面として推定できる。

3.4 オブジェクト生成

影が存在している机上面と物体底面が存在している位置は照明の光があたっていない。そのため、前セクションで作成した影位置の画像と物体シルエット位置の画像を合成すると机上面における全ての光があたっていない位置が判別できる。

被写体の 3 次元オブジェクトを生成するため、初期状態として机の上に基準となる一定の大きさを持つ立方体（以下ボクセル）を隙間無く配置する。照明とボクセルを結んだベクトルの机上面における接触位置を割り出す。机の縦方向と横方向を表す x, y 座標を求める式を式 1, 式 2 にそれぞれ示す。

$$d_x = l_x + (z/(z - v_z)) * (v_x - l_x) \tag{1}$$

$$d_y = l_y + (z/(z - v_z)) * (v_y - l_y) \tag{2}$$

$$z = l_z - d_z$$

d_x : 机上面の x 座標 d_y : 机上面の y 座標
 d_z : 机上面の z 座標 l_x : 照明の x 座標

l_y : 照明の y 座標 l_z : 照明の z 座標
 v_x : ボクセルの x 座標 v_y : ボクセルの y 座標
 v_z : ボクセルの z 座標 z : 机上面から照明までの高さ

4 反射光を利用した形状推定の補正

4.1 概要

影情報を用いた手法では、影の形が変化しない場合は形状の変化を捉えられないため推定できる形状に限界が存在する。そのため、物体表面の反射光情報を用いることにより、物体表面の形状を推定する。これにより、得た形状情報を統合することで、物体形状の推定精度を向上することができるかを検証する。

4.2 物体表面の傾き推定

複数の位置に存在する照明を点灯させた場合において、画像上における明度を取得する。それぞれの画素における明度を平均で割ることで画像から取得した明度の正規化を行う。同様にシミュレーション上で複数位置にある照明を点灯させる。物体の傾きをランダムで定義して、それぞれの角度において明るさを取得する。それぞれの照明を点灯させた場合における反射光を平均で割ることで推定した明るさの正規化を行う。それぞれの照明を点灯させた場合において、実環境で取得した写真の輝度の比率とシミュレーション上での輝度の比率の差分を取得する。そして、取得した比率の差分の合計が最も小さい傾きを実環境とシミュレーションでの差が最も少ない傾きを実際の傾きとして採用する。

4.3 位置情報補正

物体表面から取得できる陰を用いた手法では物体の角度推定を行った。しかし、この手法で取得できるのは物体の傾きのみであり、推定した傾きがどの位置であるかを把握することができない。そこで、影情報から推定したい物体の辺が存在する位置を推定し、辺の位置から隣接する位置の傾きを生成オブジェクトに対応する。この作業を繰り返すことで物体の表面形状を補正する。

5 実験

5.1 概要

影情報を取得することによる 3次元オブジェクト生成を行う。そして、表面反射光を用いて形状の補正を行い精度が上昇したかの検証を行う。そこで、実際の物体に対して以下のような実験を行った。

5.2 実験環境

各 12cm の立方体に対して形状推定を行った。物体生成の際に定義したボクセルの一辺の大きさは 0.1cm である。照明 1 を点灯させた際に取得した画像を Fig. 2 に示す。

5.3 実験結果

影情報を用いて作成したオブジェクトの画像を Fig. 3 に示す。影情報から推定した辺の位置を示した画像を Fig. 4 に、そして影情報から推定した形状に反射光情報による補正を加えたオブジェクトの画像を Fig. 5 に示す。



Fig.2 形状推定対象の画像

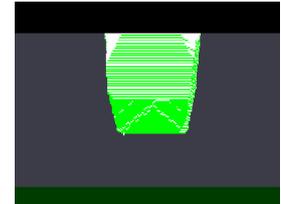


Fig.3 影情報を用いて推定した形状

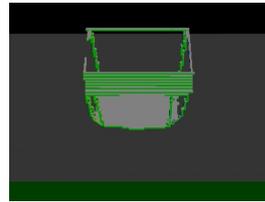


Fig.4 辺が存在する位置情報の推定

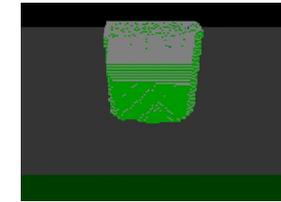


Fig.5 反射光情報を統合した推定形状

評価方法として目的となるオブジェクトを作成し、本手法で作成したオブジェクトとそれぞれの表面において離れている距離を算出する手法を取った。まず、生成目的であるオブジェクトを生成オブジェクトと同位置に配置した。次に、目的オブジェクトの表面から生成オブジェクトの表面までの垂直距離を求めた。この垂直距離の大きさと生成オブジェクトと目的オブジェクトの表面における位置の差を算出する。

Table1 反射光による補正による誤差の差異

面の位置	影情報のみでの平均誤差 (mm)	反射光を加えた平均誤差 (mm)
底面	0	0
上面	19.23	6.82
前面	3.10	4.11
背面	6.25	6.25
左面	7.12	7.12
右面	6.61	6.61

6 結論

影情報を用いて推定した画像から物体の輪郭が取得できている。これは、物体の輪郭が影線と対応できていることが要因だと推測できる。また、反射光情報を加えることによって、物体の上面における生成誤差が小さくなっている。このことから、反射光情報による補正を加えることによる推定できる形状の精度が上昇しているといえる。

参考文献

- 1) 視体積交差法における時系列画像の統合による三次元復元形状の再現性の向上. 電子情報通信学会論文誌 D 88.8 (2005): 1549-1563.