

鏡の利用による距離画像計測の高度化 —距離画像中の鏡の検出—

中央大学 ○増村 駿, 池 勇勲, 梅田 和昇

1. 緒言

距離画像計測は、製品検査や3次元モデル生成を目的として物体の形状を計測する際に広く利用されている。通常、これらの計測では一度の計測で対象物体の全周形状を取得することは困難であるため、複数視点から計測を行いそれらの計測結果を統合する手法や、ターンテーブルの上に対象物体を載せて一視点から全周形状を得る手法が多く用いられている。しかし、前者の手法では事前に距離画像センサの視点に対する厳密なキャリブレーション作業が必要であり計測に手間がかかる。また、後者の手法では対象物体の大きさによっては計測が困難になるなどの問題がある。そこで、鏡を用いることで一度の計測で複数視点からの形状を同時に取得し、より簡便に物体の全周形状を取得する手法が提案されてきた。

鏡と距離画像センサを使った手法では、鏡の位置を推定し、その位置をもとに距離画像の座標変換を行う必要がある。Abdullahら[1]は、Kinectとカラーカメラと鏡を組み合わせることで、高解像度のテクスチャを持った全周距離画像を取得する方法を提案した。しかし、この手法では事前にKinectとカラーカメラと鏡間の位置関係に関するキャリブレーションが必要であり計測に手間がかかるという問題がある。また、Fasanoら[2]は、四隅にマーカーが付いた鏡を用いて、カラー画像中から鏡の位置を推定する手法を提案した。しかし、この手法では計測範囲内にマーカーが複数含まれている必要があり、計測環境の大きさによっては使用できないという問題がある。

そこで本研究では、事前のキャリブレーションやマーカーを使用せずに一視点からの計測で物体の前面と背面の形状を復元する手法を検討する。そのために、距離画像中の鏡に映った床面から鏡の傾きと位置を求める手法を提案する。また、鏡の検出実験を行い本手法の有効性を検証する。

2. 鏡と距離画像センサを用いた距離画像計測手法

本手法の概念図をFig. 1に示す。計測対象の後ろ側に適切な角度で鏡を配置することで、対象物体の前面と背面の距離画像を同時に取得することが可能である。この時、物体前面の形状は直接距離画像を計測することによって得られ、物体背面の形状は鏡に映った距離画像が計測されることによって得られる。距離画像を計測するセンサとして、ToF (time of flight) 方式のセンサやステレオカメラが主に用いられる。その中で、ToFセンサの場合鏡を介して距離画像を取得すると、光路差により正しくない距離値が得られてしまうため、本手法で用いることは困難である。すなわち、Fig. 2中の赤矢印で示した、光が物体に直接当たってセンサに帰ってくる距離値と、光が鏡に映った物体に当たってセンサに帰ってくる距離値の他に、青矢印で示した物体に当たった後鏡に当たりセンサに帰ってくる距離値と、緑矢印で示した光が鏡に当たった後物体に当たりセンサに帰ってくる距離値が取得されてしまう。これらの距離値の影響により、主に物体側面の形状を正しく測定できない。そのため、本研究ではステレオカメラを使って距離画像を取得する。

本手法の流れを以下の通りである。始めに、計測対象の後ろに鏡を配置し距離画像を取得する。この時、距離画像センサから鏡に映った計測対象の背面が計測できるように適切な角度で鏡を配置する。次に、得られた距離画像から鏡の位置を推定する。鏡の位置を自動で推定する手法については3章で述べる。最後に、推定された鏡の位置を元に鏡に映った距離画像の座標変換を行う。鏡を介して得られた計測対象の背面の距離画像は、実空間上での計測対象の背面の位置とは異なる場所に計測される。それらの距離画像を鏡の位置を元に座標変換することで、前面と背面の情報を持った計測対象の距離画像を生成することが可能となる。また、鏡を介して取得した計測対象の背面の距離画像は、鏡の位置より

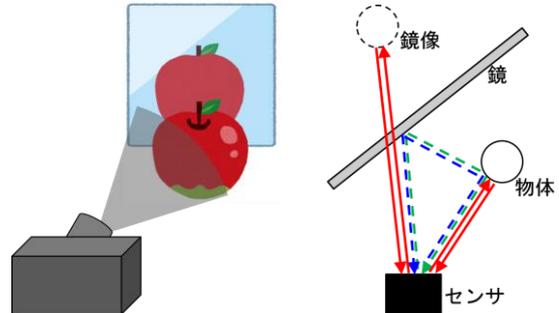


Fig. 1 本手法の概念図

Fig. 2 ToFセンサと鏡の組み合わせ

も奥に計測されるため、鏡平面より離れた位置にある距離画像を全て鏡に映った距離画像とみなして座標変換を行う。

3. 鏡の位置の検出手法

Fig. 3に示すような床面に鏡が置かれた環境を距離画像センサで計測すると、Fig. 4のように鏡に映った床面は通常の床面とは異なった傾きを持った平面として取得される。距離画像からこの2つの平面を検出したとき、2平面の交線が鏡の下辺にあたり、2平面の角度から鏡の角度を求めることができるため、鏡の位置と姿勢を自動で推定することができる。また、鏡の前に計測対象が置かれている環境であっても、計測対象に対して鏡が十分な大きさを持っていて、距離画像中から鏡に映った床面を検出することができれば、この手法を用いて鏡の位置を推定することが可能である。

床面と鏡に映った床面の検出にはRANSAC (random sample consensus)を使用する。予め床面の法線方向を大まかに指定しておき、指定した法線に近い法線を持つ平面を複数検出し、それらの平面に属さない点群を除去することで、床面と鏡に映った床面の点群のみを残す。次に、残った平面のうち、面積が大きい平面から順に検出を行うことで、床面、鏡に映った床面の順で平面を推定することができる。床平面 P_f の式と鏡に映った床平面 $P_{f'}$ の式は次式で表される。

$$a_1x + b_1y + c_1z + d_1 = 0 \quad (1)$$

$$a_2x + b_2y + c_2z + d_2 = 0 \quad (2)$$

この時、床面の法線ベクトル \mathbf{n}_f と鏡に映った床面の法線ベクトル $\mathbf{n}_{f'}$ は次式で表される。

$$\mathbf{n}_f = (a_1, b_1, c_1) \quad (3)$$

$$\mathbf{n}_{f'} = (a_2, b_2, c_2) \quad (4)$$

また、2つの平面に共通する点 \mathbf{p} を以下のように決定する。

$$\mathbf{p} = \left(\frac{d_1b_2 - d_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}, \frac{d_1a_2 - d_2a_1}{a_2b_1 - a_1b_2}, 0 \right) \quad (5)$$

この時、鏡の平面に対して床面と鏡に映った床面が対称となることから、鏡の平面の法線ベクトル \mathbf{n}_m は、 P_f の法線ベクトルと $P_{f'}$ の法線ベクトルの差で表すことができる。よって、鏡の平面 P_m は、法線ベクトル $\mathbf{n}_m = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2)$ を持ち、点 \mathbf{p} を通ることから、以下のように表すことができる。

$$(a_1 - a_2)x + (b_1 - b_2)y + (c_1 - c_2)z + d_m = 0 \quad (6)$$

$$d_m = \frac{(a_2 - a_1)(d_1b_2 - d_2b_1)}{a_1b_2 - a_2b_1} + \frac{(b_2 - b_1)(d_1a_2 - d_2a_1)}{a_2b_1 - a_1b_2} \quad (7)$$



Fig. 3 計測環境

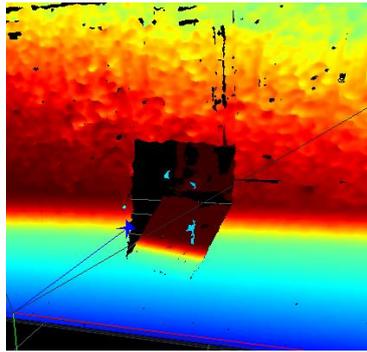


Fig. 4 鏡のみを計測した距離画像

4. 実験

Fig. 3 に示す鏡のみが置いてある環境で距離画像を取得し、鏡の位置を推定する実験を行った。また、鏡の平面が正しく求められているかを検証するために、Fig. 5 に示すように距離画像センサと鏡の位置は動かさずに、鏡に紙を貼り付けた環境で再度距離画像の取得を行った。距離画像センサは Intel の RealSense D435 を使用し、鏡は高さ 330mm、横幅 220mm のものを使用した。

Fig. 3 の計測環境で取得した距離画像を点群として表示したものを Fig. 6 に示す。次に、Fig. 6 の点群に対して平面の検出を行った。検出された床面と鏡に映った床面を Fig. 7 に示す。また、Fig. 5 の環境で取得した距離画像を点群として表示したものを Fig. 8 に示す。Fig. 7 で得られた 2 つの平面 P_f , $P_{f'}$ の方程式の係数と、それらの平面から求められた鏡の平面 P_m の方程式の係数、Fig. 8 の紙が貼り付けられた鏡平面 P_M の方程式の係数は Table 1 のようになった。推定した鏡の平面 P_m を Fig. 8 の点群上に描画した結果を Fig. 9 に示す。

Table 1 と Fig. 9 の結果から、推定値である P_m が計測値である P_M に対して高い精度で求まっており、推定した鏡の平面と実際の鏡の表面が重なり合っていることから、精度よく鏡の平面を推定できたと言える。



Fig. 5 計測環境

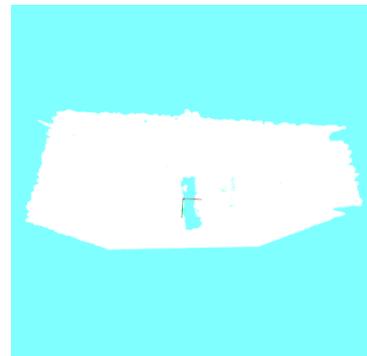


Fig. 6 Fig. 4 の点群表示

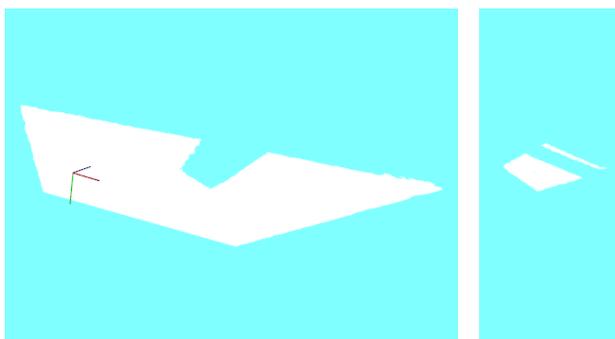


Fig. 7 平面の検出結果. 左: 床面, 右: 鏡に映った床面

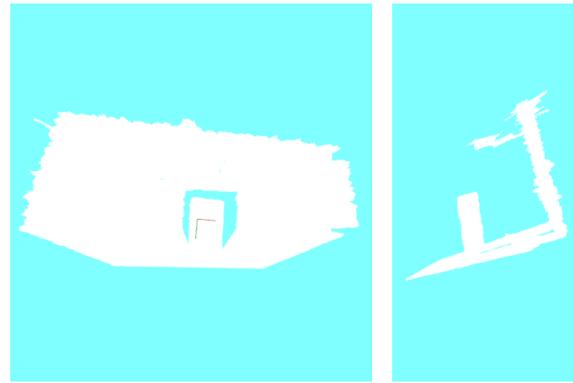


Fig. 8 鏡に紙を貼った時の計測結果. 左: 正面, 右: 右側面

Table 1 それぞれの平面の方程式の係数

	a	b	c	d
P_f	0.1082	0.9575	0.2673	-0.3814
$P_{f'}$	-0.04706	0.9988	-0.01398	-0.1638
P_m	0.1553	-0.04128	0.2813	-0.2176
P_M	0.1587	-0.04599	0.2895	-0.2223

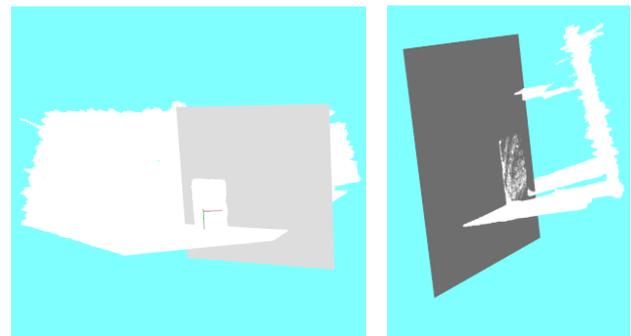


Fig. 9 推定した鏡平面を Fig. 8 に描画した結果.

左: 正面, 右: 右側面

5. 結言

本論文では、鏡と距離画像センサを組み合わせることで計測を行い、一度の計測で複数視点からの距離画像を取得することで、計測対象の前面と背面を同時に計測する手法を提案した。また、距離画像中の床面と鏡に映った床面から、事前のキャリブレーションやマーカーを用いずに鏡の位置・姿勢を推定する手法を提案し、実験により鏡の位置・姿勢推定手法の有用性を示した。今後は、鏡の前に物体を置いた計測環境で実験を行い、鏡が正しく推定できるかを調べる。また、得られた鏡の平面の方程式を元に距離画像の座標変換を行い、物体の前面と背面の形状を復元する実験を行う。

参考文献

- [1] A. Akay and Y. Akgul, "3D reconstruction with mirrors and RGB-D cameras", Proc. of 2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), pp.325-334, 2014
- [2] A. Fasano, M. Callieri, P. Cignoni, and R. Scopigno, "Exploiting mirrors for laser stripe 3D scanning", Proc. of 4th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling(3DIM), p.243, 2003.