

Photometric Stereo を活用した高精度な 3 次元形状復元とその応用

菊地悠李[†] 田村仁[†]

日本工業大学工学研究科機械システム工学専攻[†]

1. はじめに

実際のを三次元形状復元しようとしたとき 3D スキャナというものがある。3D スキャナは昨今になって手ごろな価格で手に入るようになったがそれでも幅広い層の人々が使えるかといえどもまだにハードルが高い。そこで本研究ではできるだけ安易に三次元形状復元を行う手法を検討する。

三次元形状復元を行う手法として photometric Stereo 法というものがある。これは、固定したカメラを使用し、三次元形状復元したい対象の物体に光源を当て、その光源方向を変化させた画像を複数枚取得し、その光源方向の情報をもとに対象物体の表面法線を推測し、対象物体の三次元形状復元を行うというものである。この手法は 1994 年からありその当時は光源方向の情報を計算し、表面法線を求めていた。しかし近年では、光源方向を変化させた複数の画像を学習させることによって、三次元形状復元を行っている。この Photometric Stereo 法にはいくつかの課題がある。まず固定された照明が必要であること、物体の反射率が均一であること、光源の方向が固定されていること、撮影場所として暗室が必要であることなどがあげられる。そこで今回は数ある Photometric Stereo 手法の中でも Scalable, Detailed, and Mask-Free Universal Photometric Stereo(1) (以下 SDM-UniPS と呼称) というものを使用する。この SDM-UniPS は、照明を固定する必要はなく、撮影環境の状況は自由であり、必ずしも暗室である必要はなく、多様な形状材料によらない。そして画像の解像度も自由であり、必ずしもマスク画像を必要としないという汎用的な Photometric Stereo 法である。だが汎用的といっても限界があるはずなのでこのモデルの特徴、弱点を調べ、改良を加え、より汎用的で安易な方法での三次元形状復元として検討する。

2. 関連研究

Photometric Stereo 法は多岐にわたって存在する。非キャリブレーションライトを使用するもの(2)、カラーライトを使用するもの(3)、近場ライト(4)を使用するもの等があり、それぞれの中でも複数の研究がある。その中に解像度の制限をなくした研究として Shape and Material Capture at Home というものがある。(5)この研究はスマホのカメラアプリとライトがあれば三次元形状復元を行うことができるというものであり、本研究の目的にも沿ったものとなっている。しかし、この研究、それ以外の Photometric Stereo 法にも言えることだが、光源方向の限定や暗室などの環境が必要になる。そのため今回は SDM-UniPS を選択し改良することにした。

3. 実験方法

SDM-UniPS の特徴、弱点等を探るため、様々な条件、物体で実験を行う。撮影は Canon EOS 8000D というカメラを用いる。SDM-UniPS では背景の指定はないため、決まった背景は用いず、照明の方向も定めず、物体を照らす照明も、白色のスポットライト、白色のリングライト、暖色の白熱球ライトと三種類用意した。



図1 撮影に使用した照明機材の例

撮影を行う物体も複雑な形状のものや、特殊な形状であるものを多数用意した。



図2 撮影に使用した物体の例

SDM-UniPS は汎用的なモデルのため、ランダムな状況、物体を用意し、様々な出力を行うことでその汎用性から逸脱している状況、物体を探し出すことを目的としている。そしてこれらの条件で、撮影を行った後、Rethinking Backpropagating

[†]High-Precision 3D Shape Reconstruction and Its Applications Utilizing Scalable, Detailed, and Mask-Free Universal Photometric Stereo

[†]Yuri Kikuchi

[†]Hitoshi Tamura,

[†]Nippon Institute of Technology Department of Faculty of Advanced Engineering Department of Robotics

Refinement for Interactive Segmentation (6)という画像から物体を切り抜きマスク画像にするソフトを使用し,マスク画像を作成する.このマスク画像と撮影した複数枚の画像を合わせて SDM-UniPS に入力することで出力を行う.

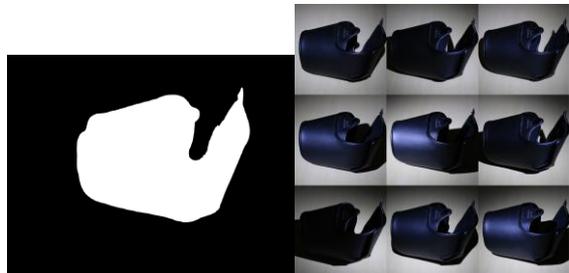


図3 入力画像とマスク画像の例

4. 結果

ここでは特に有意な結果となったものを掲載する.

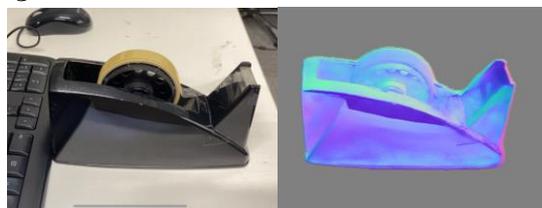


図4 テープディスペンサー

図4のテープディスペンサーでは本来存在しない段差を作り出してしまった.ほかにもゲーム機のコントローラーではボタンやスティックが再現できず,そのほか文字や記号が書いてあるものであるとその文字を立体だととらえてしまい,本来は平面であるにも関わらず誤った形状復元がされてしまう.照明ではライトの色が暖色であると再現度が低く,うまく立体に直せないようだった.解像度においても,解像度が高い場合には問題は起きないが低いと再現がうまくいかない.加えてライトの明るさが足りないと細部の再現がうまくできない.そしてスポットライトのような一点を照らすような照明よりも全体を照らすことのできるリングライトのような照明のほうが再現しやすい.加えて凹型の構造,ねじ穴なども条件によっては再現に失敗している.そして回路基板のような複雑な形状においては再現がうまくいかず潰れてしまっている

5. 考察.

実験の結果から SDM-UniPS はどのような条件でも再現が可能というわけではなく条件によってはうまく三次元形状復元することができないことが分かった.テープディスペンサーでは反射率が高く本体の彩度が低いので,本体に映り込んだキーボードが窪みだと認識されてしまったと考えられる.そのため一定以上の反射率を持つ物体の三次元形状復元をすることができないと思

われる.そしてコントローラーなどの一部特殊な形状のものにおいても再現がうまくいかなかったことから,データセットにおいても改良の余地があることが考えられる.ライトが暖色であると再現度が落ちることもこの問題が考えられる.SDM-UniPS の論文において野外の自然光などを含めた様々なライティングにおい対応しているとあるが,今回の結果から周りが暗く,物体に十分な明るさがない場合などの状況によっては十分な三次元形状復元を行うことができない可能性がある.そして回路基板のように複雑な形状を持つ物体であれば通常通りに撮影するのではなく,対象物体を大きめに撮るなどの工夫が必要になることが考えられる.これら考察を踏まえさらなる実験を行い,より汎用性を高められるように改良を検討する.

6. 終わりに

本研究では SDM-UniPS を改良し,より汎用的にするために様々な条件,物体を用いて実験を行った.実験の結果 SDM-UniPS にはまだ汎用性を高められる要因があるとわかり,今後も実験を重ね,改良点をさらに明確にすることで新たな提案手法を検討していく.

参考文献

- (1) Satoshi Ikehata: Scalable, Detailed and Mask-Free Universal Photometric Stereo. In CVPR, 2023
- (2) Guanying Chen, Kai Han, Boxin Shi, Yasuyuki Matsushita, and Kwan-Yee K Wong, "Self-calibrating deep photometric stereo networks," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, pp. 8739-8747.
- (3) Phillip Isola, Jun-Yan Zhu, Tinghui Zhou, Alexei A. Efros.: Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. In CVPR, 2018
- (4) Yakun Ju, Xinghui Dong, Yingyu Wang, Lin Qi, and Junyu Dong, "A dual-cue network for multispectral photometric stereo," Pattern Recognition, vol. 100, pp. 107162, 2020
- (5) Daniel Lichy, Jiaye Wu, Soumyadip Sengupta, and David W. Jacobs "Shape and Material Capture at Home," In CVPR 2021
- (6) Konstantin Sofiiuk, Ilia Petrov, Olga Barinova, and Anton Konushin "Rethinking Backpropagating Refinement for Interactive Segmentation," In Computer Vision and Pattern Recognition 2020