

三次元復元を用いた工業資材の体積推定

上野 哲[†]遠藤 慶一[†]黒田 久泰[†]小林 真也[†]愛媛大学大学院理工学研究科[†]

1. はじめに

1.1. 研究背景

鉱山開発を行う資源事業や、鉱物資源等から素材・製品を生み出す精錬事業等において、管理している工業資材の総量は計画の策定や取引、売上の推定などに関わる重要な指標となる。しかし、その総量が多くなると、総量の測定が困難になりコストがかかるほか、精度の低い概算では事業に損失が生じてしまう恐れがある。そのため、簡便かつ低コスト、さらには高い精度で資材の総量を把握する手段が求められている。

1.2. 三次元復元

立体物の構造を幾何学的に再現する手法として三次元復元と呼ばれる手法が存在する。その手法の一つとして Structure from motion(SfM)[1] と呼ばれる手法が存在する。SfM は同一の対象物体が別々の角度から撮影された複数の二次元画像をもとに対象物体の三次元構造を復元することができる。

1.3. 研究目的・目標

1.1 節で述べたように、資源事業や精錬事業等において管理工業資源の総量を把握することは、事業計画の推定をする上で重要である。そこで本研究では、工業資源の体積を、簡便かつ低コスト、さらには高い精度で推定する手法を実現し、事業における計画策定を支援することを研究目的とする。また、資材を様々な角度から撮影した複数枚の画像をもとに、その物体の三次元構造を復元し、体積を推定するシステムを開発することを研究目標とする。

2. OpenMVG による SfM と OpenMVS によるメッシュの構成

本手法では SfM を実現する手法として OpenMVG[2] を用いる。また、OpenMVG で得られた三次元構造の情報はそのまま体積計算を行うには不十分であるため、OpenMVS[3] を用いてメッシュの構成を行う。それぞれの概要を説明する。

2.1. OpenMVG による SfM

OpenMVG は以下の手順で複数の二次元画像から三次元点群情報を生成する。

- 画像群から特徴点を抽出
- 特徴点のマッチング
- カメラの相対位置情報・回転情報の推定
- 点群情報の生成



図 1: 体積計算対象 (3 つの段ボール箱) と比較対象 (ステンレスパイプ)

2.2. OpenMVS によるメッシュの構成

OpenMVS は以下の手順で三次元点群情報の洗練を行う。

- 点群の高密度再構成
- 点群をもとにメッシュを構成
- メッシュのリファイン

3. 実験

3.1. 実験条件

本研究では、段ボール箱を工業資材に見立てて体積を推定する。また、本研究では体積を計算する方法として、体積がわかっている比較対象と、体積が不明な体積計算対象を同時に三次元復元し、その二つの体積比から計算対象の体積を推定する手法をとる。比較対象としては円柱状のステンレスパイプを用いた。設置した図を図 1 に示す。また、それぞれの体積を以下に示す。

- 体積計算対象
 - 大きい段ボール箱
 $42.3 \text{ cm} \times 28.6 \text{ cm} \times 12.2 \text{ cm} = 14759.3 \text{ cm}^3$
 - 小さい段ボール箱 (2 個)
 $11.0 \text{ cm} \times 9.0 \text{ cm} \times 7.0 \text{ cm} \times 2 \text{ 個} = 1386 \text{ cm}^3$
 - 合計体積 16145.3 cm^3
- 比較対象 $(r^2) \times (\pi) \times (\text{高さ}) = (\text{体積})$
 $(1.1 \text{ cm})^2 \times \pi \times 9.1 \text{ cm} \simeq 34.6 \text{ cm}^3$

また、映像の撮影には 4K 解像度で撮影が可能な一眼レフカメラである、Sony の α 7S III を用いた。4K 解像度、60fps で撮影した。

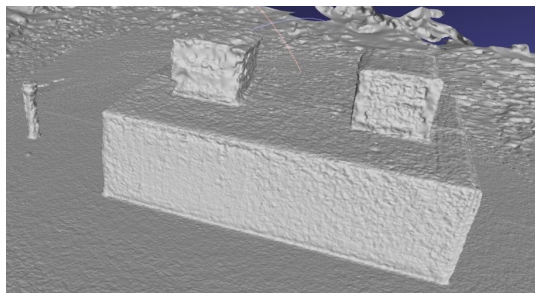


図 2: OpenMVS での処理の結果得られた点群データ

3.2. 実験手順

実験手順を以下に示す。

- 映像の撮影とサンプリング, データの加工
 - － 設置した物体を様々な角度から 60fps で 30 秒撮影
 - － 撮影した動画を 10 フレーム刻みで 160 枚の画像に変換
- OpenMVG を用いて粗い点群情報を作成
- OpenMVS を用いてメッシュを生成して点群として保存
- 点群情報の加工と体積の計算
 - － 点群から平面（地面）を検出
 - － 検出した平面を元の点群から削除
 - － 残った点群をクラスタリング
 - － クラスタリング結果から体積計算対象と比較対象の点群を取得
 - － 点群からメッシュを構成し, それぞれの体積を計算する。
 - － 求めた体積比と比較対象の体積から計算対象の体積を計算

まず, カメラを用いて 60fps の動画を 30 秒撮影する。その後撮影した動画を 10 フレーム刻みで 160 枚の画像に変換している。動画からわざわざ静止画にしているのは, そちらの方が 1 枚 1 枚写真として撮るよりも様々な方向からの撮影をしやすいと考えたためである。

その後, OpenMVG と OpenMVS を用いてメッシュを生成する。生成されたメッシュはその後の体積計算のために点群情報で保存している。OpenMVS での処理の結果得られた点群データを図 2 に示す。

点群情報には図 2 に示すように体積計算対象と比較対象の他に, 床やその他の点群が含まれているため, それらを除去する必要がある。まず, 平面を検出して平面を構成する点群を削除する。平面を削除した点群画像を図 3 に示す。白黒画像だと分かりにくいかもしれないが, 体積計算対象と比較対象の点群が確認できる。検出した平面を構成する点群をもとの点群から削除することで, 点群は幾つかの塊に分かれる。



図 3: 平面を削除した点群データ

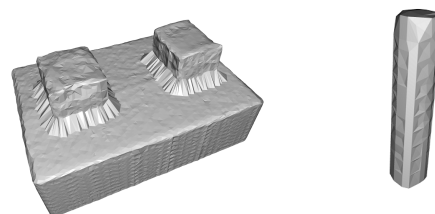


図 4: 体積計算対象のメッシュ



図 5: 体積比較対象のメッシュ

残った点群に対してクラスタリングを行い, 幾つかのクラスに分割し, 体積計算対象と比較対象の点群を得る。そうして得られた点群に, 平面の削除によって空いた底面に相当する点群を生成することで閉じた形状にする。その後, 点群に対して凸包を作成し, それをもとの点群がなくならないように削っていく AlphaShapes と呼ばれる手法を適用してメッシュを再構成する。再構成された体積計算対象のメッシュを図 4 に, 体積比較対象のメッシュを図 5 に示す。

最後に, 得られた体積比と, あらかじめ測定していた比較対象の体積をもとに, 体積計算対象の体積を推定する。

4. 結果と考察

本実験では, 体積比として約 524 が得られた。推定体積は $34.6 \times 524 \approx 18127.5 \text{ cm}^3$ となった。実際の体積は 16145.3 cm^3 であるため, 実際の体積の約 1.12 倍になった。

十分な推定精度が得られなかった原因としては, メッシュの再構成精度が低かったことが考えられる。今後は今回の結果をもとに手順の洗練を行い, 推定精度を高める。

参考文献

- [1] S. Ullman, “The Interpretation of Structure From Motion”, A.I. Memo 476, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, October 1976.
- [2] GitHub - openMVG/openMVG: open Multiple View Geometry library. Basis for 3D computer vision and Structure from Motion.
<https://github.com/openMVG/openMVG>
- [3] GitHub - cdcseacave/openMVS: open Multi-View Stereo reconstruction library.
<https://github.com/cdcseacave/openMVS>