

全天周カメラによる 3 次元再構成を用いた胃内視鏡検査支援

山口 駿斗* 竹中 健人† 小池 英樹* 宮藤 詩緒*

概要. 単眼内視鏡は画角が狭く、検査の網羅性が術者の技量に依存するため、病変の見落としが課題となっている。本研究ではこの課題を解決するため、全天周カメラを搭載した新たな内視鏡システムを提案する。広範な視野を一度に撮像することで検査時間を短縮し、患者負担を軽減するとともに、取得した全方位映像から胃全体の高精細な 3D モデルを再構成することで、検査の質の標準化と診断精度向上を目指す。本稿ではその基礎検討として、胃に見立てた箱の内部を 360 度カメラで撮影し、3 次元再構成実験を行った。全天周画像を直接用いる手法とキューブマップに分割する手法を比較した結果、胃壁のように特徴が均質な対象の構造推定には、全天周画像を直接扱うアプローチが優位であることを示唆した。

1 はじめに

胃内視鏡検査は、胃癌をはじめとする消化器系疾患の早期発見において極めて重要な役割を担っている。しかし、現在広く用いられている単眼内視鏡は、画角が狭いため観察視野が限定されてしまう。これにより、検査の網羅性は術者の技量や経験に大きく依存し、胃壁の襞裏などの死角領域における微小な病変の見落としリスクが指摘されている。この見落としリスクを低減するには同一部位を複数回にわたり走査する必要があるが、これは検査時間の延長に直結するため、患者への身体的・精神的負担を増大させる一因となる。

近年、撮影された内視鏡ビデオから胃の 3D モデルを再構成し、観察領域を後からレビューする技術も提案されている [5]。しかし、これは撮像時の術者負担や時間的制約の根本解決には至らない。

そこで本研究では、これらの課題を抜本的に解決するため、全天周カメラを搭載した新たな胃内視鏡システムを提案する。これは、術者の技量への依存度を低減し、網羅的な観察を短時間で実現するものである。さらに、取得した全方位映像から胃全体の高精細な 3D モデルを再構成することで、検査の質の標準化と診断精度向上に貢献することを目的とする。

本論文は、その足がかりとして、胃に見立てた閉空間を全天周カメラで撮影し、これを元に 3 次元再構成を行う基礎的検討である。

2 背景技術

本研究に関連する 3 次元再構成技術は、古典的な幾何学的手法と、ニューラルネットワーク (NN) を

用いる新しい手法に大別される。

2.1 古典的手法

古典的手法は、複数視点の画像間の幾何学的関係性から 3 次元構造を復元する。Structure from Motion (SfM) は、画像群の特徴点マッチングに基づき、カメラ姿勢と疎な点群を同時に推定する。Multi-View Stereo (MVS) は、SfM で得られたカメラ姿勢を利用し、画像間の密な対応付けを行い、高密度な点群やメッシュモデルを生成する。全天周画像を直接扱える SfM 実装 (COLMAP [3, 4] など) は存在するが、従来の MVS は設計上ピンホールカメラ画像のみを前提としている。

2.2 新しい手法

近年、NN を用いてシーンを学習するニューラルレンダリングが主流となっている。3D Gaussian Splatting (3DGS) は、シーンを多数の 3D ガウシアン集合として表現する。多くの場合、SfM の点群を初期値とし、高速なラスタライズにより、リアルタイム描画と高速な学習を実現する。全天周画像を直接扱うための研究も近年報告されている [1, 2]。

3 実験

3.1 実験概要

本実験では、全天周画像を用いた古典的手法による再構成について、入力形式の異なる 2 種類の手法を比較評価する。本研究の目的である胃内部の撮影を想定し、実験環境として、図 1 のように内部に絵画を貼り付けた閉空間 (箱) を構築し、これを全天周カメラで撮影した画像をもとに再構成を行う。

評価手法は以下の 2 通りである。

- **手法 1: 全天周画像による疎な点群推定.** 全天周画像をそのまま入力とし、COLMAP の球面カメラモデルを用いて SfM 処理を実行し、疎な点群の推定を行う。



(a) 各面に異なる画像を貼ったもの



(b) 各面に同じ画像を貼ったもの

図 1. 実験に使用したダンボール

- 手法 2: 分割画像による密な点群とメッシュ生成. 全天周画像をピンホールカメラ画像として近似可能なキューブマップ (6 面) に分割する. この分割画像群を入力として COLMAP の SfM および MVS 処理を実行し, 密な点群の再構成とテクスチャ付きメッシュの生成を行う.

3.2 結果

各手法の結果をそれぞれ図 2 に示す.

手法 1 (全天周画像) による SfM の結果 (図 2a) では, 箱の立体構造を正しく推定できた. しかし, 得られた点群は疎であり, 詳細な形状把握には追加の処理が必要であることが確認された.

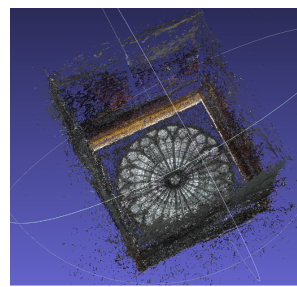
手法 2 (キューブマップ分割) において, 各面に異なる画像を貼付した場合 (図 1a), MVS によって密な点群とメッシュ (図 2b) が正しく再構成された. ただし, 生成されたテクスチャ (図 2c) には一部に描画の欠損が見られ, ノイズ除去等の後処理の必要性が示唆された.

一方, 各面に同じ画像を貼付した場合 (図 1b), 特徴点のミスマッチングにより, すべての面が同一平面上にあると誤認識された. 結果として, 立方体ではなく一枚の板として再構成され, 立体構造の取得に失敗した (図 2d).

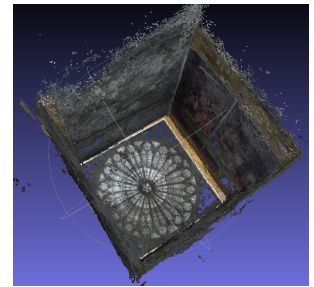
4 結論と今後の展望

実験結果, 特に手法 2 においてテクスチャが均質な場合に立体構造の把握に失敗した点は, 本研究の目的に対して重要な示唆を与える. 実際の胃壁は, 本実験で用いた「同じ画像を貼付した箱」と同様に, 特徴が少なく均質な (テクスチャリッチでない) 領域が広範囲にわたって存在する.

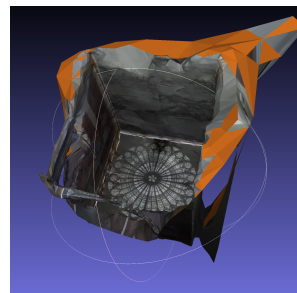
このため, 全天周画像をキューブマップに分割して従来の MVS を適用する手法 (手法 2) は, 胃のような対象の再構成には原理的に困難が伴う可能性



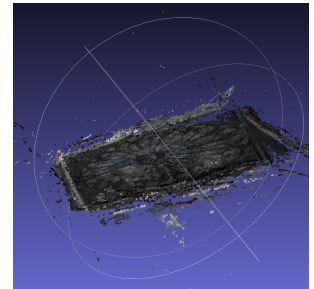
(a) 手法 1 疎な点群



(b) 手法 2 密な点群



(c) 手法 2 テクスチャ



(d) 手法 2 再構成に失敗した例

図 2. 手法 1, 2 の結果



図 3. 再構成対象とする拡大胃模型

が高いと結論付けられる.

対照的に, 全天周画像をそのまま用いた手法 1 は, 点群の密度は粗いものの, カメラの運動から全体の立体構造を正しく推定できた. このことは, 全天周画像の広範な視野情報を分割せずに利用するアプローチが, 均質なテクスチャを持つ閉空間の構造推定において優位であることを示している.

したがって, 今後の展望として, 手法 1 で得られた疎な点群を初期値として利用しつつ, 全天周画像を直接扱えるニューラルレンダリング手法, 特に 3DGS を用いて高精細な 3D モデルを生成するアプローチが最も有望であると考えられる.

本研究の最終的な胃カメラへの応用を見据え, 次段階の検証として, 図 3 に示す拡大胃模型を対象とした 3 次元再構成実験を進めている. より現実に近い形状とテクスチャを持つ対象に対して 360 度カメラを用いた 3DGS を適用することで, 提案手法の臨床応用に向けた有効性を検証する.

参考文献

- [1] S. Lee, J. Chung, J. Huh, and K. M. Lee. ODGS: 3D scene reconstruction from omnidirectional images with 3D Gaussian splatting. In *Proceedings of the 38th International Conference on Neural Information Processing Systems, NIPS '24*. Curran Associates Inc., 2025.
- [2] L. Li, H. Huang, S.-K. Yeung, and H. Cheng. OmniGS: Fast Radiance Field Reconstruction Using Omnidirectional Gaussian Splatting. In *2025 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, pp. 2260–2268, 2025.
- [3] J. L. Schönberger and J.-M. Frahm. Structure-from-Motion Revisited. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016.
- [4] J. L. Schönberger, E. Zheng, M. Pollefeys, and J.-M. Frahm. Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo. In *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2016.
- [5] A. R. Widya, Y. Monno, M. Okutomi, S. Suzuki, T. Gotoda, and K. Miki. Whole Stomach 3D Reconstruction and Frame Localization From Monocular Endoscope Video. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 7:1–10, 2019.