

三次元再構成のための画像データ収集におけるオンライン欠損検出

伊東聖矢[†] 吉田武史[†] 鷺見和彦[†]
青山学院大学[†]

1 はじめに

多視点画像を用いたモデルの三次元再構成に関する研究は盛んに行われており、その代表として三次元位置とカメラの位置姿勢を同時に推定する Structure from Motion (SfM) がある。近年では、コンピュータの性能向上により、撮影された静止画像を入力として実時間で逐次的に三次元モデルを出力するオンライン SfM が実現している。SfM によるモデルの復元精度は入力画像間の特徴点の一致率に依存するため、画像データ収集プロセスが重要となる。現在、撮影時にオンライン SfM でモデルを生成し、撮影者が復元結果から復元が十分な領域か欠損領域かどうか判断することで、データ収集を効率的に行う手法が提案されている [1]。しかし、撮影者の判断なしにモデルに生じた欠損領域を自動的に検出することができれば、さらに自律的なデータ収集が可能になると考えられる。そこで本研究では、オンライン SfM により復元された点群を画像平面に再投影し、視野の重複が充分あるにもかかわらず、復元した点群の密度が小さい領域を欠損領域として、自動的に検出する手法を提案する。

2 提案手法

提案手法は大きく分けて、三次元再構成・復元対象領域の抽出・欠損候補の抽出・欠損判定から構成される。まず、提案システムについて概略し、それぞれの処理について説明する。

2.1 提案システムの概略

提案システムの流れを図 1 に示す。本研究では、初めにカメラから逐次入力される画像を入力として、オンライン SfM による三次元再構成と欠損判定のための復元対象領域の抽出を並列に行う。次に、復元された点群の密度と視野の重複度から欠損領域の候補を抽出する。抽出した欠損領域を含む画像平面に点群を再投影し、抽出した復元対象領域に対して欠損判定を行い、欠損を検出する。

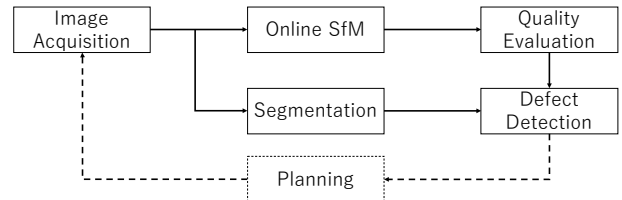


図 1: 提案システムの流れ

2.2 三次元再構成

本研究では、三次元再構成をオンライン SfM で行う。オンライン SfM は半澤らの手法 [2] をベースとしたが、提案システムでは SURF よりも高速な FAST 特徴量を用いて特徴点抽出を行う。

2.3 復元対象領域の抽出

本節では、入力画像の領域細分化と直線構造の検出により、復元対象領域の抽出を行う (図 2)。細分化された領域はスーパーピクセルと呼ばれる。本研究では、スーパーピクセルの作成手法として、計算速度と輪郭の再現性に優れた SLIC (Simple linear iterative clustering) [3] を用いる。次に細分化された領域の中から、直線構造を持つ領域のみを選択する。直線構造の検出には LSD (Line Segment Detector) [4] を用いる。最後に、検出された直線構造から復元対象の領域内かどうかの判定を行い、領域内にあるスーパーピクセルを復元対象領域として抽出する。

2.4 欠損候補の抽出

本節では、復元された点群の密度と視野の重複度に基づいて欠損領域の候補を抽出する。点群の密度が低く、視野の重複度が高い領域を欠損候補として抽出することで欠損判定を行う領域を限定する。この 2 つの指標は、Hoppe らの手法を用いる [1]。まず、オンライン SfM で復元した点群から三次元ドロネー図を構築し、ドロネーメッシュ(四面体)を作成する。作成されたメッシュに基づき点群の密度と視野の重複度を評価する。点群の密度は式 (1) により求める。ここで T_i は四面体を構成する各三角形メッシュであり、 C_t は各カメラである。 $P(T_i)$ は各三角形メッシュをカメラに再投影したときの画素数、 $A(T_i)$ は各三角形メッシュの空間上の面積である。視野

Online Defect Detection for 3D Reconstruction Image Acquisition

[†]Seiya Ito [†]Takeshi Yoshida [†]Kazuhiko Sumi
[†]Aoyama Gakuin University

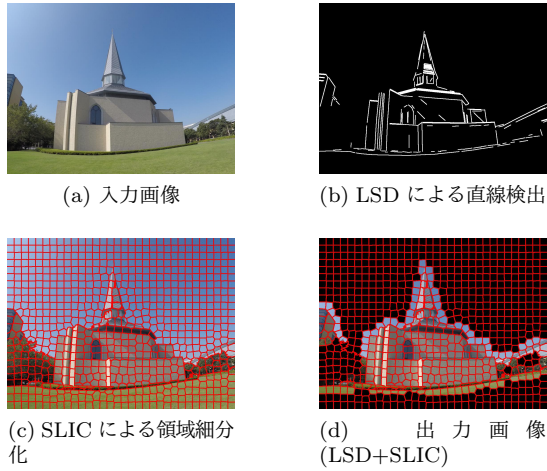


図 2: 前処理による復元対象領域抽出

の重複度は、各三角形メッシュ T_i の 50%以上を含むカメラの総数である。

$$R(T_i) = \min_{C_t} \sqrt{\frac{A(T_i)}{P(T_i, C_t)}} \quad (1)$$

2.5 欠損の判定

本節では、抽出した欠損候補の領域に対して、復元した点群を画像平面に再投影し、復元対象領域のスーパーピクセルごとに欠損の有無を判定する。

欠損判定は点群を画像平面に再投影した面積と点群の分布により行う。ここで面積は、再投影した点群を視野の重複度に応じた膨張処理を行い、スーパーピクセル内を占める面積が 50%以上の場合、欠損ではないと判定する。面積が 50%未満の領域に対して、式 (2) により点群の分布 D を求め、閾値処理で欠損判定を行う。ここで S_c はスーパーピクセル、 r_p は再投影点 p の視野の重複度、 d_{cp} はスーパーピクセル S_c の中心から再投影点 p までの距離である。

$$D(S_c) = \sum \frac{r_p}{d_{cp}} \quad (2)$$

3 実験結果

地上と上空から撮影した 2 種類の屋外シーンに対して提案手法の有効性を検証した。本実験では、復元対象領域と欠損領域を撮影者が判断した領域を正解データとし (図 3)、適合率と再現率で評価する。実験結果を表 1 に示す。表 1 より、対象領域と欠損領域の双方で適合率が低く、再現率が高いことがわかる。欠損領域の適合性が

低い原因として、対象領域の適合率が低いことが考えられる。直線構造を持つ全ての領域を対象領域としているため、過剰な領域を抽出してしまう。しかし、復元対象領域を限定できれば、欠損領域の適合性が改善できると考えられる。

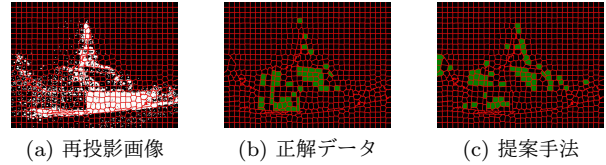


図 3: 評価画像の一例

表 1: 評価結果

	segmentation		defect detection	
	precision	recall	precision	recall
ground	0.55	0.96	0.67	0.87
aerial	0.51	0.98	0.60	0.61
average	0.53	0.97	0.64	0.74

4 おわりに

本研究では、三次元再構成を行うための画像データ収集時に、復元される三次元モデルに生じる欠損領域をオンラインで自動的に検出する手法を提案した。今後の課題として、復元対象の領域抽出の精度向上が挙げられる。入力画像をセマンティックな領域分割を行うことで、更なる欠損領域の精度向上が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] C. Hoppe, M. Klopschitz, M. Rumpler, et al. Online feedback for structure-from-motion image acquisition. In *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, pp. 70.1–70.12. BMVA Press, 2012.
- [2] 半澤悠樹, 鳥居秋彦, 奥富正敏. オンライン撮影に適した実用的な SfM システム. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 96, No. 8, pp. 1753–1763, 2013.
- [3] K. Smith R. Achanta, A. Shaji, et al. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. 34, No. 11, pp. 2274–2282, 2012.
- [4] R. Grompone von Gioi, J. Jakubowicz, J. Morel, et al. LSD: a Line Segment Detector. *Image Processing On Line*, Vol. 2, pp. 35–55, 2012.