

SfM-MVS による効率的で高品質な as-is モデル生成のための最適撮影計画支援システムの開発 (第4報) — 近似物体表面モデルに対する画像被覆率評価による撮影不足箇所推定 —

北海道大学 ○森谷 亮太, 金井 理, 伊達 宏昭
アジア航測株式会社 新名 恭仁, 本間 亮平

要 旨

インフラ建造物の維持管理作業に、画像から3次元 as-is モデルを生成可能な Structure from Motion と Multi-View Stereo (SfM-MVS) 技術の活用が広がっている。しかし、どの位置から何枚画像を撮影すれば高品質な3次元モデルが生成可能か事前の推定が困難なため、品質低下領域がモデル上に存在する場合がある。そこで本研究では、SfM-MVS による効率的で高品質な as-is モデル生成のための最適撮影計画支援システムの開発を目的とする。本報では近似物体表面モデル上の三角形を画像上に投影したときの画像被覆率と可視性を評価し、撮影不足によるモデルの低品質領域の推定を行ったので報告する。

1. はじめに

近年、インフラ建造物の長寿命化に向けた効率的維持管理の情報基盤として、特に画像群から3次元モデルを生成可能な Structure from Motion と Multi-View Stereo (SfM-MVS) 技術を活用する動きが広がっている[1]。SfM-MVS は、重複を持つ画像群から、対象物の形状表面上のひびや変状をテクスチャにもつ高密度なモデルを生成できる。しかし、どの位置から何枚画像を撮影すれば、高品質なモデルが生成可能かの事前推定が困難である。そのため、撮影画像の位置や枚数が不適切であると、モデル上に非再構成領域(穴)や大きな形状誤差をもつ品質低下領域が生成される問題や、MVS 処理が膨大な時間を要してしまう問題がある。

そこで本研究では図1に示すような、SfM-MVS による効率的で高品質な as-is モデル生成のための最適撮影計画支援システムを開発中である。本手法は、比較的短時間で計算可能な SfM 処理から出力される3次元タイポイント(画像上特徴点の画像間対応から得られる疎な3次元点群)とカメラポーズのみから、最終的な MVS 処理により生成される高密度モデルの品質を、MVS 処理前に予測し、低品質と予測されたモデル上の領域を改善できるような最適な追加画像撮影位置を推定することを目的とする。

しかし、前報[2]で提案した品質予測指標では、低品質領域の品質低下の原因と対策が明確に特定出来ず、非効率な撮影を招く可能性があった。本報ではその解決のため、近似物体表面モデル上の面分を画像上に投影したときの画像被覆率を評価し可視性を判定することで、撮影不足が原因と推定される低品質領域のみの抽出を行う手法を提案する。

2. 近似物体表面モデルの可視性判定

2.1. 高密度モデルの品質予測指標の推定

前報[2]までの低品質領域の推定と選択手法を図1に示す。この手法では、SfM が出力する3次元タイポイント p の集合 P を頂点とする三角形メッシュで構成された近似物体表面モデル M を生成し、 P や画像の配置から、頂点 p の品質予測指標値 F_x を推定する。その後、 F_x から効率的な撮影が行えるような低品質領域を貪欲法により選択する。

2.2. 低品質領域の品質低下原因と対策の考察

各頂点の品質予測指標値 F_x を用いて、MVS で生成される高密度モデル上の品質推定が可能となる。しかし、推定された低領域の品質低下原因が、撮影位置や枚数の欠損によるものか、撮影位置や条件の悪さによるものか、もしくは対象のテクスチャ不足によるものかが特定できず、その領域を補完する最適な撮影戦略を立てることが困難であった。

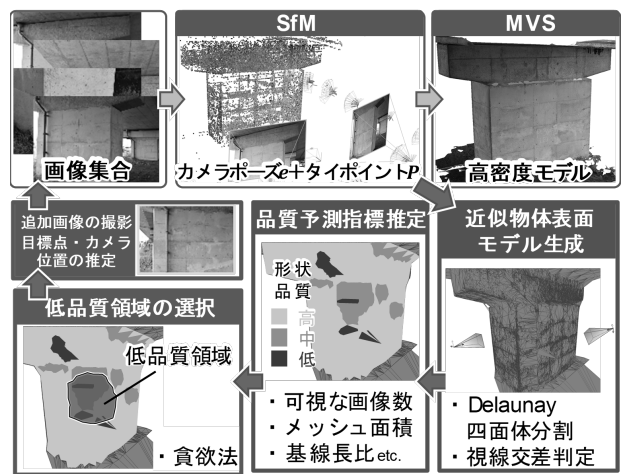


図1 提案手法の概要図

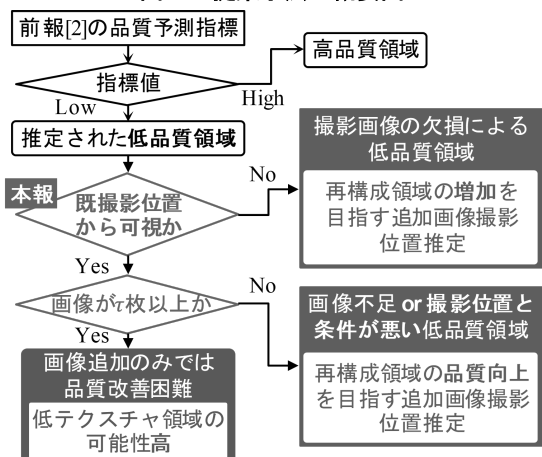


図2 品質低下原因と対策のフロー

図2に低品質領域の品質低下原因と対策の考察を示す。品質予測指標に基づいた低品質領域が、既撮影位置から不可視な場合、その領域を撮影した画像がないことが、品質低下原因と推察される。従って、この領域に対する追加撮影を行うことで、再構成領域の品質改善が可能と推察できる。次に、既撮影位置から可視で、かつ低品質領域を撮影した画像がすでに数枚存在する場合は、画像枚数が不足している、もしくは撮影位置や条件が悪いことで、低品質領域が生じたと推察される。そのため、より良い撮影位置や条件の画像を追加することで、品質改善が可能と思われる。

一方、撮影画像が十分存在するにも関わらず、品質の低下が予測される場合は、低テクスチャ領域である可能性が高く、追加撮影のみでは改善が困難なため、低テクスチャ領域向けの画質改善[3]などが必要となる。

2.3. 可視性判定アルゴリズム概要

前項で述べた、低品質領域の品質低下原因の特定に必要な、近似物体表面モデル上の三角形メッシュ可視性判定アルゴリズムを下記に、概要図を図3に示す。

(a) 三角形候補集合の取得

近似物体表面モデル M 上の全三角形 t の集合 $T = \{t_i\}$ から、探索効率化のために、任意のカメラ位置 $c_i (i \in C)$ から可視なタイポイント周りの三角形 t_{ij} のみをとりだし、三角形候補集合 $T_i = \{t_{ij}\} (C \subset T)$ を作る。

(b) 三角形の重心からカメラ位置までの距離ソート

各 $t_{ij} \in T_i$ に対し、 t_{ij} の重心点 g_{ij} からカメラ位置 c_i までの距離 d_{ij} を算出し、距離の降順でソートを行う。

(c) 三角形への固有 RGB 値の割り当て

各 $t_{ij} \in T_i$ に対し、ユニークな RGB 値を割り当てる。

(d) 三角形のカメラ画像上への投影

RGB 値付き三角形 $t_{ij} \in T_i$ を、ソート順に c_i のカメラ画像上に投影し、割り当てられた RGB 値で描画する。

(e) 三角形の可視性判定

t_{ij} 単体を画像上に投影したときの占有画素数 N_{ij} と、カメラ画像上で T_i 内の三角形を描画したときに、 t_{ij} に対応する RGB 値を持つ画素数 N'_{ij} との割合 (N'_{ij}/N_{ij}) で定義される画像被覆率を算出し、被覆率が閾値 $\tau_r[\%]$ 以上ならば、 t_{ij} はカメラ c_i から可視な三角形、それ以外は不可視と判定する。

以上の処理を全カメラ位置に対して行うことにより、近似物体表面モデル上の各三角形の可視性が判定可能となる。

3. 有効性検証実験

図4に示す北大構内建物を対象として、商用ソフト[4]を使用し、23枚の初期画像を入力として、SfMを行った。なお、モデル化対象の建物以外のタイポイントは手動除去した。前報[2]の手法で評価された品質予測指標付き近似物体表面モデル(頂点数:5,886, 三角形数:13,634)を図5に示す。同一モデルに対し、 $\tau_r = 30\%$ として、画像被覆率による三角形の可視性判定を行った結果を図6に示す。

この結果より、屋根や複雑なスロープ部分が既存画像からは不可視と正しく判定できていることが確認できる。また、図4-6の比較より、屋根とスロープは低品質かつ不可視な領域と特定され、高密度モデル上で穴があく可能性が高い領域として判定できるため、その領域に対する画像の追加撮影により再構成領域の増加が期待できる。なお、可視性判定の処理時間は約4.7 secだった。

4. おわりに

本研究では、SfMの出力結果であるタイポイントとカメラポーズから生成した近似物体表面モデル上の三角形メッシュを画像に投影したときの画像被覆率を評価することで、その可視性を判定した。これにより、撮影不足箇所の推定と高密度モデルの品質低下原因が特定でき、その後の追加撮影計画戦略の適切な選択に寄与できる。今後は品質予測指標および可視性判定結果から、最適な画像撮影位置の自動推定手法を開発する予定である。

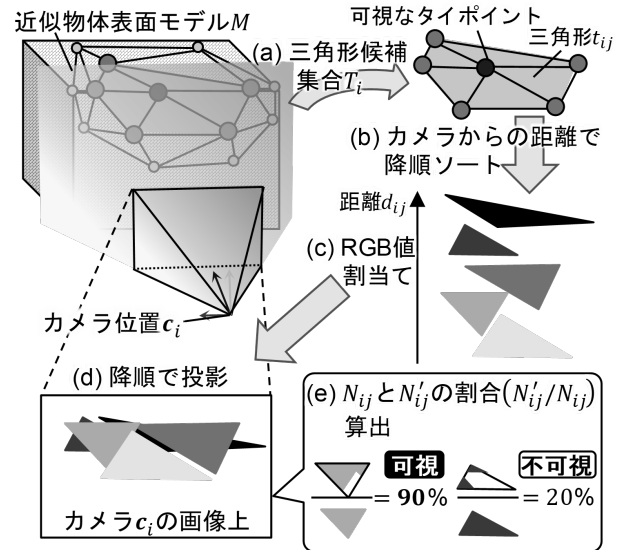


図3 三角形可視性判定の概要図

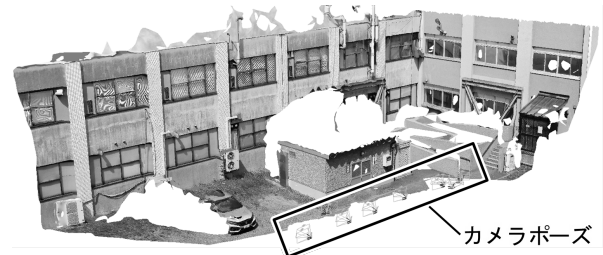


図4 高密度メッシュモデルとカメラポーズ

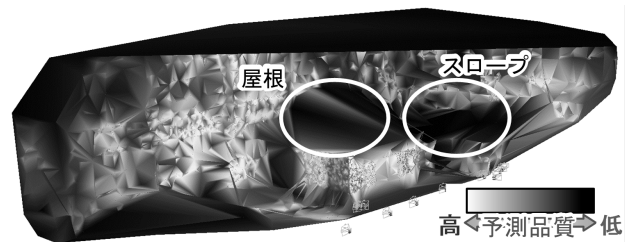


図5 品質予測結果(黒: 品質低, 白: 品質高)

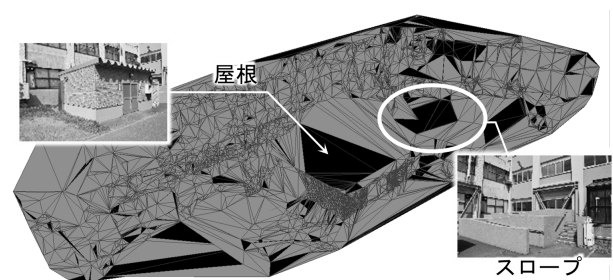


図6 可視性判定結果(黒: 不可視領域)

謝辞

本研究開発の一部は、文部科学省 データ関連人材育成プログラム北海道大学事業(D-DRIVE-HU)の支援を受けたものです。

参考文献

[1] 「点検支援技術(画像計測技術)を用いた3次元成果品納品マニュアル【橋梁編】(案)」(国土交通省), https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/i-construction/qgl8v10000004oxo-att/1904_3-02.pdf, (閲覧日: 2019/06/22)

[2] 森谷他, "SIM-MVSによる効率的で高品質なas-isモデル生成のための最適撮影計画支援システムの開発," 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集, pp. 55-58, 2019.

[3] Ley, A., et al., "Reconstructing White Walls: Multi-View, Multi-Shot 3D Reconstruction of Textureless Surfaces," ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences III-3, pp. 91-98, 2016

[4] ContextCapture, <https://www.bentley.com/ja/products/brands/contextcapture>