

(51) SfM のための画像変化量による 静止画取得方法

向嶋 宏記¹・内藤 直人²・村田 和哉³・笠原 康平⁴・
増田 雄輔⁵・長峯 望⁶・小林 裕介⁷

¹ (公財) 鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: mukojima.hiroki.27@rtri.or.jp

² 正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: naito.naoto.55@rtri.or.jp

³ 正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: murata.kazuya.77@rtri.or.jp

⁴ 正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: kasahara.kohei.70@rtri.or.jp

⁵ 正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: masuda.yusuke.14@rtri.or.jp

⁶ (公財) 鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: nagamine.nozomi.78@rtri.or.jp

⁷ 正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: kobayashi.yusuke.22@rtri.or.jp

SfM による三次元モデルの生成技術は、災害調査や測量、検査等に活用され始めている。SfM に用いる画像は、UAV 等を用いて等速移動しながら等時間間隔で撮影することで、一定の移動量毎に撮影することが理想的である。しかし、人が撮影するには不均等な速度で移動する状況も想定され、一定の移動量毎に画像を撮影することは難しい。

そこで本研究では、画像情報の欠損を防ぐために対象物を動画撮影し、不均等な移動速度で撮影された動画から三次元モデル生成に適した静止画を抽出する。本稿では、画像変化量を用いた静止画抽出アルゴリズムを提案し、SfM による三次元モデル生成に及ぼす提案手法の効果を検証した。その結果、撮影時の移動速度が変化する場合でも移動速度の影響を受けずに三次元モデルを生成できることを確認した。

Key Words: SfM, 3D model, projective transformation, still image extraction method

1. はじめに

近年、土木分野においてもレーザスキャナや Structure from Motion (以下、SfM) による三次元モデルを活用した建設・維持管理技術が注目されている^{1,2)}。

SfM に用いる静止画を取得する方法として理想的な方法は、UAV のように一定の速度で移動しながら等時間間隔で撮影する方法である³⁾。一方、人が撮影する場合は理想的な条件とは異なり、移動速度が変動し易いため、一定の移動量毎に画像を撮影することは容易ではない。対象物や周辺環境の条件によっては UAV の使用が制限される場合もあり、等速移動ができない条件でも移動速

度に応じて静止画を取得する方法が求められている。

前述したような状況において、等間隔で静止画の取得が困難な場合には、SfM に必要な画像情報の欠損を防ぐために、動画撮影で画像データを取得し、適切な間隔で静止画を切り出す方法が考えられる。これは、車上から撮影する場合や、UAV を使用しても撮影環境の制約から等速で移動することが困難な場合にも共通する。ただし、移動速度が一定でないため、等時間間隔の抽出では等間隔に静止画を抽出することは困難である。

そこで、本研究では、SfM を意識しない変速移動で撮影された動画から三次元モデル生成に適した静止画を抽出するために、画像変化量を用いた静止画抽出アルゴリ



図-1 対象物全景と移動経路

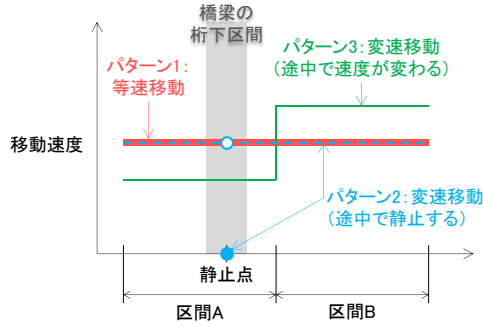


図-2 移動パターンイメージ

ズーム（以下、提案手法）を提案する。その上で、等時間間隔の静止画抽出方法と比較し、SfMによる三次元モデル生成に及ぼす提案手法の効果を検証する。

2. 動画の撮影条件

動画の撮影条件として、対象物、撮影者の移動速度、カメラを以下のとおりに設定することとした。

(1) 対象物

対象物は、本研究では鉄道総合技術研究所が実験設備として所有する橋梁とした。図-1 にその全景と移動経路を示す。本検討では、最も単純な経路を選定している。

(2) 撮影者の移動速度

等速移動を基本条件として、1つの対象物の撮影中に移動速度が変動する変速移動の影響について検討することとした（図-2、表-1）。具体的には、等速移動と静止を組み合わせたパターンと、低速等速移動と高速等速移動を組み合わせた変速移動パターンの計3パターンを設定した。なお、本稿では、所定の移動速度を保つため、表-1に示すメトロノーム（bpm）に合わせて歩行した。

(3) カメラ

カメラは、水平画角 90.6° 、鉛直画角 51.0° の SONY アクションカム FDR-X3000 を用いた。記録画素数は $1,920 \times 1,080$ pixels、フレームレートは 60fps、手振れ補正機能有で撮影した。

表-1 移動パターン

移動パターン	メトロノーム (bpm)		移動時間 (s)	静止時間 (s)	総撮影時間 (s)
	区間A	区間B			
パターン1：等速	74		25	0	25
パターン2：変速（等速＋静止）	74		25	25	50
パターン3：変速（低速＋高速）	50	100	25	0	25

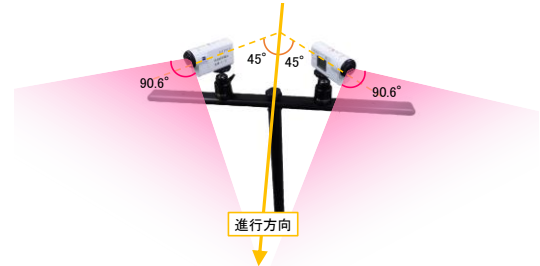


図-3 カメラ設置状況

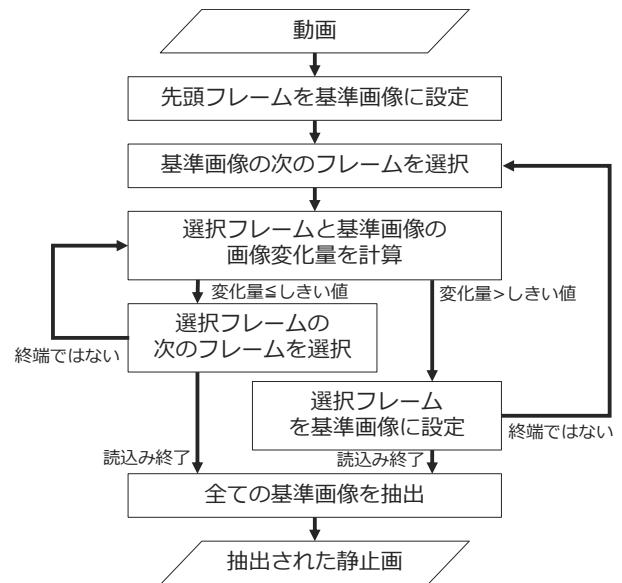


図-4 提案手法のフローチャート

カメラの設置台数は、撮影者の視界をカバーできるように、図-3に示すように2台とした。

3. 画像変化量を用いた静止画抽出方法

本章では、提案する画像変化量を用いた静止画抽出アルゴリズムとそれを用いた場合の静止画抽出結果を示す。

(1) 提案する静止画抽出アルゴリズム

a) 射影変換を用いた画像追跡方法

提案手法では、動画の連続するフレーム間で画像の移動量を求めることで、静止画を抽出する。提案手法のフローチャートを図-4に示す。

まず、先頭のフレームを基準画像に設定する。次に、基準画像の次のフレームを基準画像に対して位置が合うように変換させる射影変換行列を求める。なお、射影変換行列の計算には ECC (Enhanced Correlation Coefficient)⁴⁾を

用いた。変換行列によりフレーム間の画像変化量を算出し、画像変化量がしきい値を超えるまでフレームを更新しながら画像変化量計算を繰り返す。画像変化量がしきい値を超えたフレームを新たな基準画像として、前述した処理を動画の最後まで繰り返す。最後に基準画像として選択されたフレームを静止画像として抽出する。

なお、本稿では、画像サイズに対して画像四隅のいずれかが上下または左右に変化した際の最大の変化率 $x\%$ を画像変化量 (%) と定義する。

b) 画像処理の高速化

提案手法は動画のフレーム数とほぼ同じ回数だけ変換行列を求めることになるため、計算コストが大きい。そこで、画像の解像度を縮小させ、高速化を図る。画像の解像度が小さくなると、画像間の位置合わせ精度は低下するが、本手法の目的である画像変化量の計算精度はそれほど厳密である必要はないため問題はない。

(2) 提案手法および等時間間隔による静止画抽出結果

ここでは、提案手法の場合はしきい値を画像変化量 10% となるように設定し、等時間間隔で抽出する場合は、等速移動時の提案手法の抽出枚数と同等となるよう抽出間隔を設定した (35 フレームに 1 枚抽出)。表-2 は静止画の抽出枚数を示しており、提案手法では移動パターンが変化しても等速移動時の静止画枚数とほぼ同等の枚数の画像を抽出できていることがわかる。

表-2 静止画の抽出枚数

移動パターン	静止画抽出枚数			
	等時間間隔		提案手法	
	区間A	区間B	区間A	区間B
パターン1：等速	84		88	
パターン2：変速（等速＋静止）	172		89	
パターン3：変速（低速＋高速）	62	30	45	39

4. 静止画抽出方法が三次元モデルの生成精度に及ぼす影響

本章では、3 つの撮影パターンの動画に対して、提案手法および等時間間隔で抽出した静止画から生成される三次元モデルを比較する。また、提案手法で画像変化量を変化させた場合のモデル生成結果と解析時間を調べる。

(1) 提案手法と等時間間隔抽出の比較

表-3 は異なる静止画抽出方法から生成された三次元モデルの一覧を示している。

等速移動については、提案手法による抽出と等時間間隔での抽出のどちらの場合においても、対象物全体の三次元モデルが生成できている。

変速移動については、等時間間隔で静止画を抽出した場合はモデルの一部が生成できなかったが、提案手法では三次元モデルを生成できている。これは、等時間間隔での抽出では変速移動時に一定の移動量毎に静止画を抽出できなかったためであると考えられる。実際に、静止区間や速度が遅い区間で過剰に静止画が抽出され、静止画に偏りが生じた。一方で、提案手法では撮影時の速度に依存しない方法で静止画を抽出できるため、どのパターンにおいてもモデル全体が生成できたと考えられる。

(2) 提案手法による静止画抽出時の画像変化量が三次元モデルの生成精度に及ぼす影響

表-4 は提案手法において画像変化量を 5% から 50% まで変化させて静止画を抽出した際の三次元モデルの一覧を示している。橋台の検査項目の一つには傾斜が挙げられ、それを確認するためには橋台前面の平面性が高いこ

表-3 SIM で生成された三次元モデル (モデル全体図中の黄色点線枠内を拡大図として表示)

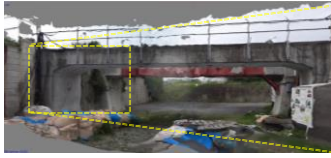
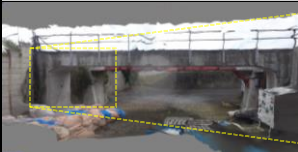
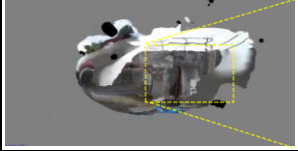
撮影パターン	静止画抽出方法			
	等時間間隔		提案手法	
	モデル全体	一部拡大	モデル全体	一部拡大
パターン1：等速 (74bpm)				
パターン2：変速 (74bpm＋静止 25s)				
パターン3：変速 (50bpm→100bpm)				

表-4 異なる画像変化量の静止画を用いた三次元モデル

画像移動量	モデル全体	一部拡大
5%		
10%		
20%		
30%		
50%		



(a) テクスチャ表示 (b) サーフェス表示

図-5 橋台前面における平面回帰の対象領域

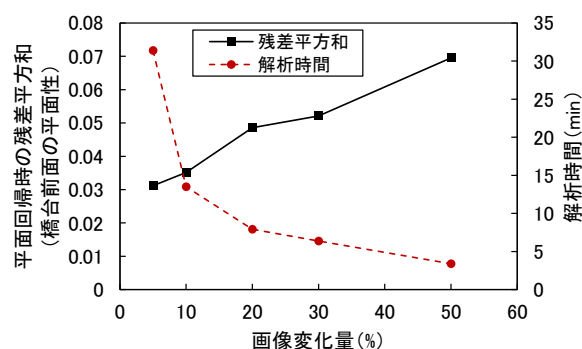


図-6 異なる画像変化量における平面性と解析時間

とが望ましい。そこで、本稿では、生成されたモデルの質を、図-5 中に示す黄色破線で囲んだ橋台前面を構成する三次元座標を平面回帰した際の残差平方和を用いて、橋台前面の平面性を評価した。図-6 は平面回帰時の残差平方和と三次元モデル生成時の解析時間を示している。

表-4 より、画像変化量が30%を上回るとモデル全体が再現されなくなる。図-6 より、橋台前面の平面性は画像変化量を小さくするほど向上し、解析時間は画像変化量が5%で急増する結果となった。人間の視覚的に画像変化量10%と5%で差異がないことを考慮すると、本検討条件においては、画像変化量10%が最も効率良く三次元モデルを生成できる条件であると言える。

5. おわりに

本研究では、SfMを意識しない不均等な移動速度で撮影された動画から三次元モデル生成に適した間隔で静止画を抽出するために、画像変化量を用いた静止画抽出アルゴリズムを提案し、その効果を検証した。

検討の結果、提案手法を用いることで、撮影時の移動速度が不均等な場合でも、動画から所定の間隔で静止画を抽出できることを明らかにした。さらに、提案手法に

より抽出された静止画を用いてSfMで三次元モデルを生成した結果、撮影時の移動速度の影響を受けずに三次元モデルが生成できること確認した。

本成果は、構造物の維持管理に役立つだけでなく、災害等で十分な調査時間が確保できないような状況においても、短時間かつ一般的な機材で発災直後の状況を三次元モデルとして記録することにも貢献できると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：第4次社会資本整備重点計画の概要、<http://www.mlit.go.jp/common/001104257.pdf>，（入手 2019.5.30）。
- 2) 新名恭仁，野中秀樹，小林裕介，長峯望，西岡英俊：多視点画像三次元モデルの土木構造物維持管理への適用に向けた提案と試行結果，土木学会論文集F4（建設マネジメント），Vol.74，No.2，pp.L19-L30，2018。
- 3) 早川健太郎，黒台昌弘，笠博義：建設分野におけるUAVの活用事例とUAV画像による3次元モデリング，日本リモートセンシング学会誌，Vol.38，No.3，pp.213-218，2018。
- 4) Georgios D. Evangelidis, Emmanouil Z. Psarakis: Parametric Image Alignment Using Enhanced Correlation Coefficient Maximization, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.30, No.10, pp.1858-1865, 2008。