

UAV を用いた浅水底の写真測量のための水面反射軽減技術

山口大学	正会員	○神野 有生
国土交通省	非会員	上田 修靖
山口大学	非会員	I GD Yudha PARTAMA
山口大学	正会員	赤松 良久
山口大学	正会員	関根 雅彦

1. 目的

UAV を用いた写真測量(SfM-MVS)は広く利用されており、清澄な河川・海岸などでは水面下への応用も期待されている。しかし、浅水底の写真測量では、水面反射による太陽直達光・天空光の写りこみにより画像間のマッチングが不十分となり、得られる点群の密度・精度が不十分となることが多い。そこで本研究では、動画撮影と時間最小値フィルタを用いた水面反射軽減技術を提案し、現地実験によってその効果を検証した。

2. 方法

2-1. 水面反射軽減技術

提案する水面反射軽減技術では、次の手順で、各撮影位置について水面反射の少ない画像を得る。

1. 通常の写真撮影の代わりに、ホバリングしながら、数秒間の動画撮影を行う。
2. UAV の動きに伴うぶれ（撮影範囲の変位・変形）を補正する。
3. 各画素について、R, G, B に、全フレーム中の最小輝度値をそれぞれ割り当てた画像を合成する。

手順3は、動画に時間方向の最小値フィルタを適用することに相当する。このフィルタを浅水底の写真測量に応用するのは本研究が初めてである。

2-2. 現地実験

山口県の瀬戸内海に面した潮間帯で、満潮時に UAV による動画撮影を行った。撮影位置は高度 30m で、水平方向に 5 m 間隔の格子状に配置した $9 \times 9 = 81$ 点とした。撮影には DJI Phantom 4 のカメラ（画角 94 度；4000 × 3000 画素；29.97 フレーム/s）を用いた。また、干潮時にトータルステーション(TS)で多地点を測量した。

撮影した動画に基づき、提案技術を用いた場合、用いない場合（各撮影位置につき、動画から無作為に選んだ 1 フレームを使用した場合；通常の写真撮影を模擬）の両方について、SfM-MVS を行った。TS で測量した地点のうち、密な点群の点が近傍（距離が元の画像で 1 画素以内）に複数あり、それらの標高推定値の平均値（これを写真測量で得た同地点の標高とする）の標準誤差が 0.1 m 未満の地点を有効な精度検証地点とし、標高（または水深）に関する写真測量の誤差（写真測量で得た標高と TS 測量で得た標高の差）を評価した。

3. 現地実験の結果

図-1 に例示するように、提案技術を用いた場合、水面反射光によるぎらつき(sunglint)がほぼ除去され、水底が明瞭に見える画像が得られた。また、波によって底面上に出来る光のパターン(caustics)も軽減された。結果として、提案技術を用いない場合より密な点群が得られ、表-1 に示すように、上で定義した「有効な精度検証地点」が大幅に増えるとともに、RMS 誤差（5 地点を水面屈折補正に用いた交差検証による）も減少した。図-2 に晴れのケースの水深について、写真測量による推定値と TS 測量を用いた計算値の関係を例示する。

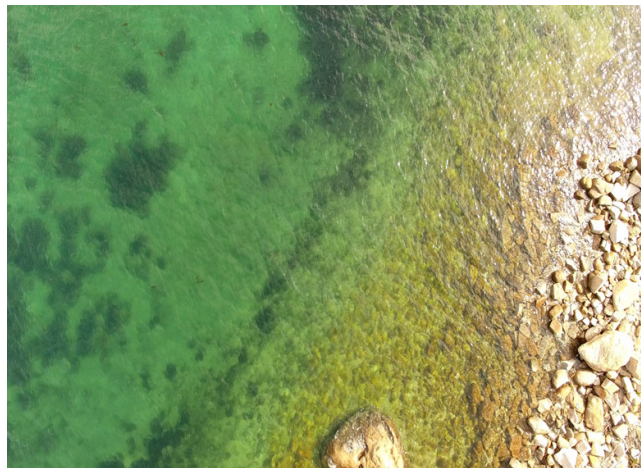
UAV が撮影高度に到達した後、81 地点の動画撮影に要した時間は約 680 秒であった。飛行コースの長さは 400 m であることから、UAV の速さは平均 0.59 m/s となる。通常の写真撮影の場合は、各撮影位置でのホバリングが不要で、数 m/s で移動しながら撮影できるため、提案技術は、撮影の時間効率の面では不利である。

キーワード SfM-MVS, 時間フィルタ, 動画

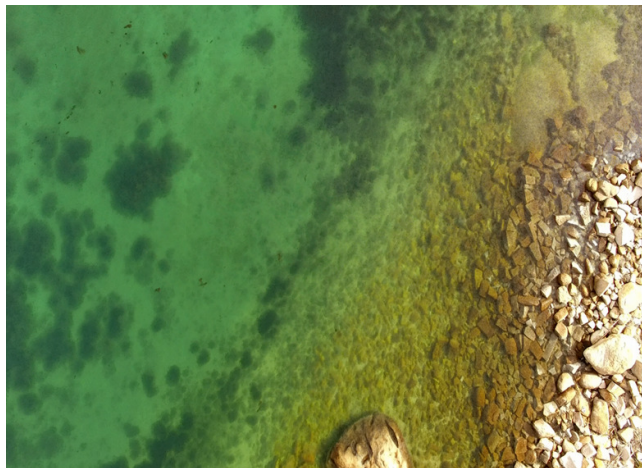
連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 神野有生 TEL 0836-85-9310

4. 結論

提案技術は、特別な装置を必要とせず、水面反射光の影響を軽減し、水面下の写真測量の密度・精度を向上させる効果がある。通常の写真撮影より時間を要するため、計算機資源の制約で撮影する画像を増やせない場合など、撮影の時間効率より画像1枚1枚の品質が重要になる状況で有用であると考えられる。



(a) 無作為に選んだ1フレーム（通常の写真撮影に相当）

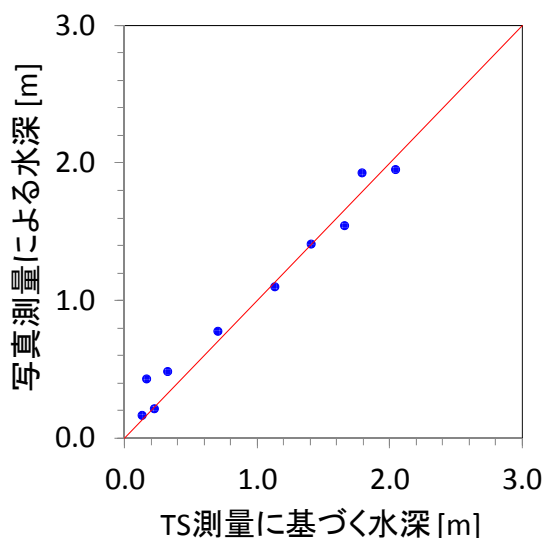


(b) 提案技術による画像

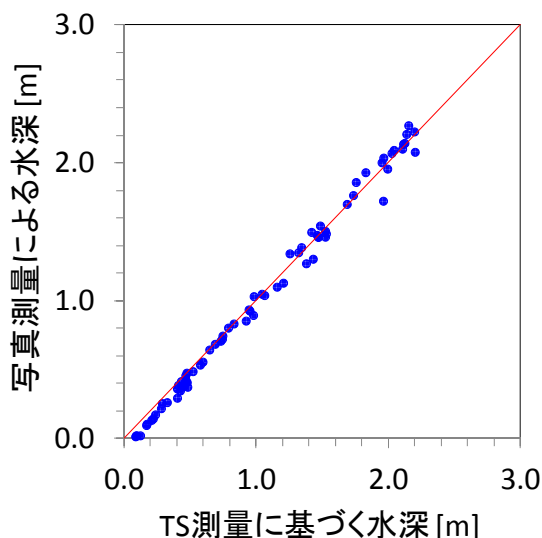
図-1. 現地実験（晴れ）で得られた画像の例.

表-1. 現地実験における有効な精度検証地点数と、交差検証により評価した写真測量のRMS誤差

現地実験の ケース	方法	TSで 測量した 地点数	有効な精度検証地点全て		両方法ともに有効な 精度検証地点	
			地点数	RMS 誤差 [m]	地点数	RMS 誤差 [m]
1. 曇り	通常	55	10	0.464	9	0.492
	提案技術		18	0.098		0.103
2. 晴れ	通常	92	11	0.145	10	0.149
	提案技術		75	0.076		0.065



(a) 無作為に選んだ1フレームを用いた場合



(b) 提案技術を用いた場合

図-2. 現地実験（晴れ）における、写真測量による水深推定値とTS測量に基づく計算値の散布図.