

2020年 6月26日

### <研究目的>

カメラを用いた水中環境の計測や解析において、水中カメラの設置、使用が困難な場合や、空撮画像を用いる場合などでは水面越しに撮影された画像が用いられる。しかし、水面越しの撮影では、水面の波によって撮影された画像上に、光の反射、屈折による歪みや、水面の鏡面反射によるサチュレーションが生じ、鮮明な水中の画像を取得することができないという問題がある。

この問題に対して、これまで動画像を用いて水面の波による歪みを補正し鮮明な水中画像を再構成する研究が行われている。従来研究では、動画像の全画像フレームの平均画像をテンプレートとして、全画像フレームに非剛体変形による位置合わせを施すことによって動画像中の歪みの補正を行っている。しかしながら、位置合わせの基準となるテンプレートに平均画像を用いる場合では、全体がぼやけた画像に対して位置合わせを行うために、波によるゆらぎが大きい領域においては局所解に収束しやすく歪みが残ってしまうという問題がある。これに対して、最も鮮明な画像フレームをテンプレートとして位置合わせを行うことで、波による画像フレーム上の点のゆらぎをトラッキングし、その平均の位置を水面が平坦な場合の位置として、全画像フレームを変形させる手法も提案されている。しかし従来手法では、水面に鏡面反射が発生していない動画像を対象としている。画像フレーム上に発生する鏡面反射領域は水面の波の角度によって時間ごとに異なる領域に発生する。従って、鏡面反射が発生している動画像に対して従来手法を適用した場合、反射領域の影響により適切な画像フレーム間の位置合わせを行うことができず、再構成画像に歪みが起こってしまう。そのため、従来手法は、波による歪みと鏡面反射がともに発生する実環境においては有効ではない。そこで本研究では、水面の波による歪みや鏡面反射が発生している動画像に対して、鏡面反射領域及び歪みの補正を行い、鮮明な水中画像を再構成する手法を提案する。

### <提案手法と実験>

提案する水中画像再構成手法の主要な工程は、反射領域の抽出、画像上の点のゆらぎの追跡、座標の真値の推定、全フレームの変形の四つから構成される(図1)。反射領域の抽出においては、サチュレーションが発生している鏡面反射領域では、発生していない場合と比較して、輝度と彩度が大きく異なることを利用して、画像フレーム上の動画像の全フレームに対してクラスタリング処理を行う。画像上の点のゆらぎの追跡においては、従来手法と同様に非剛体変形を用いて画像フレーム間の点の対応を求める。ここで、前の工程で抽出した反射領域を除外して画像フレーム間のマッチングを行うことで、鏡面反射領域が及ぼす位置合わせへの影響を軽減する。座標の真値の推定においては、前の工程で得られた画像フレーム上の各点の各時刻における座標情報を利用して、水面が平坦な場合の座標の真値を推定する。波による画像フレーム上の点のゆらぎは水面に波が発生していない場合の点を中心とした2次元のガウス分布状になると仮定する。ここで、前の工程で追跡した点の座標に関して、反射領域部分を欠損値とみなして、欠損がない場合のガウス分布のパラメータ推定を行い、推定されたパラメータから波が

ない場合の点の座標を決定する。最後に前の工程で推定した波がない場合の点の座標を基準として全画像フレームを変形させ、歪みのない鮮明な水中画像を再構成する。

また、提案手法により再構成された水中画像の復元精度評価を行った。復元精度評価においては、複数のサイン波の合成により実際の波を模して画像を変形させて作成した合成動画と、水槽内の水に波を発生させた状態で水槽の底の画像を撮影した動画のそれぞれに対して、従来手法と提案手法のそれぞれで水中画像の再構成を行い、再構成結果の画像と波がない場合の画像を比較して復元精度を評価した。ここで従来手法は Oreifej の手法 (2011) と Halder (2017) の手法、評価指標には PSNR および SSIM を使用した。実験の結果例を図 2、精度比較の結果を表 1 に示す。図 2 より従来手法では対応できなかった鏡面反射が発生している動画に対しても、提案手法では波による歪みを補正することができており、鮮明な水中画像を再構成できていることを確認した。また評価指標では画像 Pepper の PSNR では、Oreifej の手法に及ばなかったが、それ以外は提案手法のほうが良い結果となった。

以上の結果より、従来手法と比較して、波による歪みがない画像を高精度で再構成できることを確認した。

### <今後の展望>

提案手法の課題としては、二つ挙げられる。一つは位置合わせ時の評価関数および最適化処理の検討である。従来手法と比較して再構成精度が向上した一方で、位置合わせにおける推定誤差が各点の座標の真値推定に影響し、再構成画像の一部に歪みが残った。そのため、位置合わせの精度を向上に向けて、適切な評価関数の設計や、位置合わせ時の最適化処理における検討を行う必要がある。

二つ目の課題として、座標の真値推定手法の検討が挙げられる。まず、再構成精度向上のために、位置合わせ時の推定誤差に頑健な真値推定手法を検討する必要がある。現在の手法では分布推定においてノイズとなるデータの影響が大きいため、ノイズに頑健な分布パラメータの推定を行えるような改良が必要である。加えて、今後実環境においても適用するためには、風などの影響により点の軌跡の分布が二次元ガウス分布として近似できない場合も踏まえて、適切な確率密度関数のモデルを選択することが望ましい。

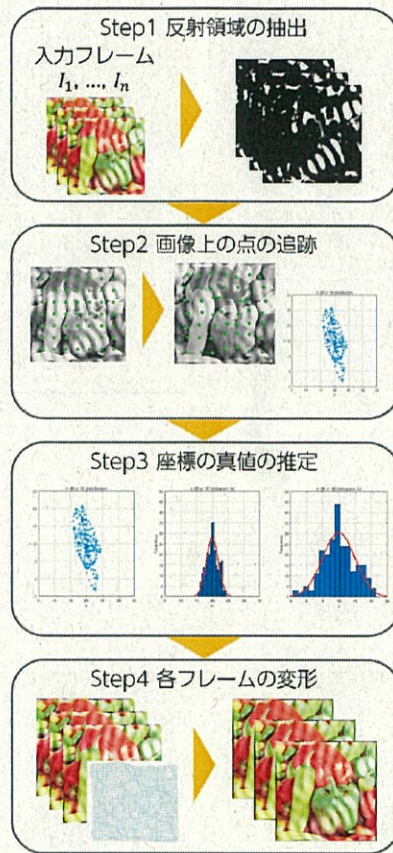


図1 提案する水面揺らぎ除去手法の流れ



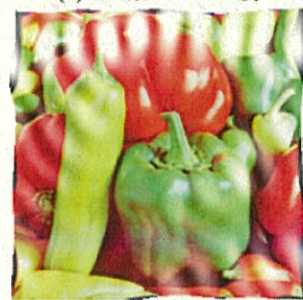
(a) 正解画像



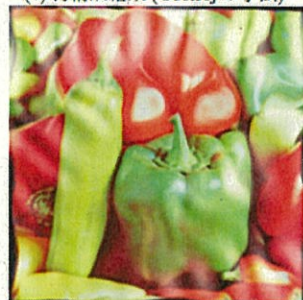
(b) 動画フレームの例



(c) 再構成結果 (Oreifej の手法)



(d) 再構成結果 (Halder の手法)



(e) 再構成結果 (提案手法)

図 2 実験結果例 (Pepper)

表 1 画像再構成の精度比較結果

画像	手法	評価指標	
		PSNR	SSIM
Mandrill	Oreifej の手法	22.72	0.676
	Halder の手法	22.81	0.704
	提案手法	23.97	0.726
Pepper	Oreifej の手法	21.12	0.717
	Halder の手法	19.78	0.716
	提案手法	20.34	0.744