

屈折と吸収に基づく水中物体と動的水面の形状復元

陰山 賢太[†] 松岡 諒[†] 岡部 孝弘[†]

[†] 九州工業大学情報工学部知能情報工学科

1. はじめに

画像による水面や水中物体の形状復元は、水中設備の外観検査や水中生物の調査など、非接触測定を行う上で必要不可欠な技術である。これまで、動画像から得られるオプティカルフローを手がかりに水面の形状を復元する手法[1]や、水中における近赤外光の吸収を手がかりに水中の形状を復元する手法[2]が提案されている。しかし、これらの手法は水中または水面の形状が既知であることを前提としており、どちらも未知の場合は復元が困難となる。

そこで本稿では、多波長動画像から水中物体と動的水面の両方の形状を復元する手法を提案する。具体的には、可視光域／近赤外光域では、反射率の変動が大きいこと／小さいこと、ならびに、水が透明／半透明であることに着目して、可視光の屈折に基づく幾何学的な手掛りと近赤外光の吸収に基づく光学的な手掛りを統合することで、両方の形状を復元する。

2. 提案手法

図1はカメラで水中物体を撮影したときの光の経路を模式的に表したものである。このとき、スネルの法則により、水面での光の屈折はそれぞれの媒質の屈折率 η_1 、 η_2 と水面での法線ベクトル \mathbf{n} を用いて

$$\eta_1(\mathbf{e} \times \mathbf{n}) = \eta_2(\mathbf{r} \times \mathbf{n}) \quad (1)$$

のように表すことができる。入射ベクトル \mathbf{e} が較正済みのとき、水面の法線ベクトル \mathbf{n} を求めることで、屈折ベクトル \mathbf{r} を一意に定めることができる。

近赤外光は水に吸収されるため、水中物体による反射光は水深に応じて減衰する。吸収による光線のエネルギーの減衰は、Lambert-Beerの法則に従う。近赤外波長 λ_1 、 λ_2 における分光反射率 $s(\lambda)$ が $s(\lambda_1) \approx s(\lambda_2)$ を満たすとき、水の吸光係数 $\alpha(\lambda)$ と各波長で観測される輝度 $I(\lambda)$ を用いて、光路長 l は

$$l \approx \frac{1}{2(\alpha(\lambda_2) - \alpha(\lambda_1))} \log \frac{I(\lambda_1)}{I(\lambda_2)} \quad (2)$$

のように求められる[2]。

本手法では、可視光域1バンドと近赤外光域2バンドからなる動画像を利用して水中物体と動的水面の形状復元を行う。水面は動的であるが恒常性を持ち、かつ、水中物体は静的であることを仮定すると、可視動画像から求まるオプティカルフローを利用することで静水時(水面が平面のとき)の画像を復元できる。このとき、各画素について、式(1)から屈折角を、式(2)からその方向の水深を求めることで、

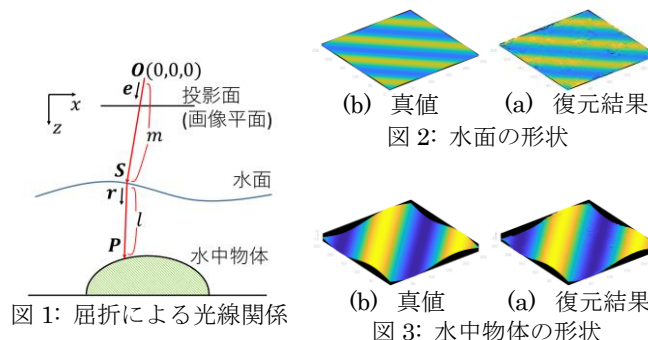


図1: 屈折による光線関係

図2: 水面の形状

図3: 水中物体の形状

水中物体の形状を求めることができる。

次に、得られた水中物体の形状とオプティカルフローを用いてフレーム毎に水面形状を求める。具体的には、式(2)より、各フレームの画素毎に水深 l が求まる。ここで、水中物体 P と入射ベクトル \mathbf{e} が既知であるため、図1の屈折による光線関係を辿ることでフレーム毎の水面形状が求まる。

3. 実験

CGで動画像を作成して実験を行った。ここでは、水底に複雑なテクスチャを持つ波状の物体があり、水面では水中物体の形状と直交するような正弦波の波が発生していることを想定して多波長動画像を作成した。図2, 3に復元した水面と水中物体の形状を示す。水面と水中物体のそれぞれで真値と比較して良好な結果が得られていることがわかる。一方で、オプティカルフローの誤差によるノイズが発生していることもわかる。

4. むすび

本稿では、屈折と吸収を手がかりに、静的水中物体と動的水面の両方の形状を復元する手法を提案し、その有効性をCG実験により確認した。実画像実験や動的な水中物体の形状復元への拡張は今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H05011 の助成を受けた。

参考文献

- [1] H. Murase, "Surface shape reconstruction of an undulating transparent object", In Proc. IEEE ICCV1990, pp.313-317, 1990.
- [2] Y. Asano, Y. Zheng, K. Nishino, and I. Sato, "Shape from Water: Bispectral Light Absorption for Depth Recovery", In Proc. ECCV2016, pp.635-649, 2016.