1V-08

参照物体を用いた燐光物体の法線推定

村上 時代　　日高 大地　　岡部 孝弘
九州工業大学 情報工学部

1　はじめに

物質が光を蓄えて発光する現象，またはその光全般を燐光といい，そのような物質を含む物体を燐光物体という．燐光物体は入射光の波長と等しい反射光に加えて，短波長の光を吸収して得られたエネルギーを，長波長の光として長時間に渡って放出する特性を持っている．燐光物質は避難誘導標識，ストラップ，テープなどの人工物に多く含まれている．その吸収・放出の分光的・時間的特性は燐光物質によって様々である．

画像から物体の形状を復元することは，コンピュータビジョンにおける重要な課題の 1 つである．照明変化に伴う明るさの変化を手掛かりにして形状を復元する照度差ステレオ法において，物体そのものが発光する燐光物体はこれまで考慮されてこなかった．燐光物体の形状復元を実現できれば，燐光物体の外観検査だけでなく，燐光特性・反射特性の推定と組み合わせて，写実的な画像・動画像の生成が可能になると考えられる．

光源を動かしながら燐光物体を撮影すると，ある光源下の画像は過去の光源の影響も受けるため，古典的照度差ステレオ法 [1] による燐光物体の法線推定は困難である．この問題を回避するために，ある光源で照射したときの発光が止まるのを待ってから，次の光源で照射することが考えられる．さらに，遠赤外線を用いた照度差ステレオ法 [3] と同様に，燐光の時間的特性をモデル化して，時間的特性を考慮した形状復元を行うことも考えられる．ところが，これらの方法には発光が止まるのを待つための時間を要したり，時間的特性のモデル化を要するという問題がある．

そこで本稿では，形状が既知で対象物体と同一の発光特性を持つ参照物体を用いた照度差ステレオにより，燐光の時間的特性を復元することなく，燐光物体の法線を簡便かつ効率的に推定する手法を提案する．具体的には，対象物体と参照物体を同時に撮影するときに，法線が同一であれば照明変化に伴う輝度変化も同一であることに基づいて法線を推定する．実画像を用いた実験を行い，提案手法の有効性を示す．

2　関連研究

一般的な反射特性を持つ物体に対する形状復元のアプローチとして，参照物体を用いた照度差ステレオ法 [2] がある．形状が既知 (例えば球) で，対象物体と同一の反射特性を持つ参照物体を対象物体と同時に撮影することで，対象物体の法線を推定する．入射光が平行光線のとき，同じ法線ベクトルを持つシーン中の二点は，反射特性が同じであれば，同じ輝度パターンを出力するという考え方である．この手法の利点は，反射特性に関する仮定が必要ない点である．

また，時間的特性を用いた手法として，熱伝導の経時特性に基づく成分分解による遠赤外照度差ステレオ法 [3] がある．遠赤外光を物体に照明すると，反射光に加えて物体内部における熱伝導によって放射強度は空間的に広がる．そこで放射強度の時間変化を計測し，放射成分をその経時特性に基づいて分解することにより，表面法線を推定する．

本研究では，参照物体を用いた照度差ステレオ法 [2] の枠組みが，燐光物体の形状復元にも有効であることを示す．また，遠赤外光を用いた照度差ステレオ法 [3] のような時間的特性のモデル化が不要であることも示す．

3　提案手法

提案手法では，発光特性が同一な参照物体と対象物体を，同一の照明条件のもとでカメラで撮影した複数の画像を入力とする．このとき，任意の方向の平行光線を仮定する．

図 1 に撮影画像の一部を示す．図 1 の状態では，右下の方から照明を行い，その前段階では左上の方から照明した．燐光物質を含まない反射物体では球の左上が陰で暗くなるが，燐光の発光によって明るくなっていることが確認できる．

発光特性が同一で光源方向も同一の場合，参照物体と復元対象で同じ法線を持つ点は，輝度値も同じである．そこで，光源方向を変化させて撮影した複数の画像において，対象物体上のある画素 p の輝度値の変化と参照物体上のある点 q での輝度値の変化の差が最小となるような点 q を探すことで，点 p の法線を点 q の法線とみなすことができる．

具体的には，対象物体上のある点 p について N 枚の入力画像の輝度値 $I_{p,n}(n = 1, 2, 3, ..., N)$ を並

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

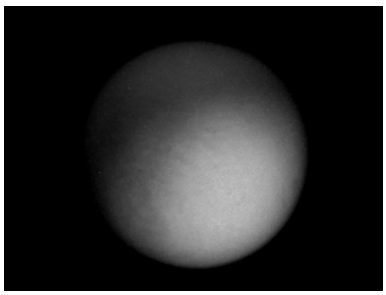


図 1: 燐光の発光が見える様子

べたベクトル $\boldsymbol{V}_p$ を

$$\boldsymbol{V}_p = (I_{p,1}, I_{p,2}, \cdots\cdots, I_{p,N-1}, I_{p,N})^t \tag{1}$$

のように表す．同様に参照物体上のある点 q において N 枚の入力画像の輝度値 $I_{q,n}(n = 1, 2, 3, ..., N)$ を並べたベクトル $\boldsymbol{V}_q$ を

$$\boldsymbol{V}_q = (I_{q,1}, I_{q,2}, \cdots\cdots, I_{q,N-1}, I_{q,N})^t \tag{2}$$

と表す．ここで点 p の法線は $\boldsymbol{V}_p$ と $\boldsymbol{V}_q$ との差を最小とするような点 q の法線であり，2つのベクトルの距離を $\|V_p - V_q\|$ と表すと，その式は

$$\hat{q} = \arg\min_q \|V_p - V_q\|_2^2 \tag{3}$$

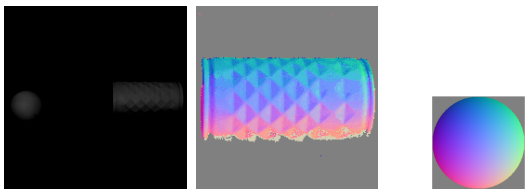
となる．

4 実験

撮影には Point Grey 社の Flea3 カメラを使用した．光源をオンにして対象物体と参照物体を一定時間照明した後で，光源をオフにしてからカメラで撮影をした．この動作を光源の位置を変更しながら 15 回行った．今回の実験で用いた対象物体と参照物体は，同一の燐光塗料を塗付したものである．ところが，元の物体の光沢の違いが，燐光塗料の塗付後も観察された．光源をオフにした状態で撮影することにより，このような鏡面反射成分の影響を除去することができる．

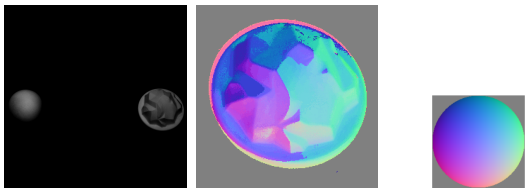
図 1 と図 2 に実験結果を示す．円柱状 (飲料缶) の燐光物体を撮影し，参照物体を用いた燐光物体の法線推定を行った．図 2 の (a) に示すような入力画像 15 枚用いて，燐光物体の法線を推定して可視化した結果が (b) である．また (c) は参照物体の球の法線を可視化したものである．(b) と (c) の法線を比較すると，定性的に正しく形状復元が行えていると考えられる．

さらにもうひとつの実験として，別の形状の燐光物体を撮影し，参照物体を用いた燐光物体の法線推定を行った．図 3 の (a) に示すような入力画像を 15 枚用いて，対象物体の法線を推定して可視化した結果が (b) である．また (c) は参照物体の球の法線を可視化したものである．(b) と (c) の法線を比較すると，定性的に正しく形状復元が行えていると考えられる．



(a) 入力画像　(b) 結果画像　(c) 参照球

図 2: 実験結果 1



(a) 入力画像　(b) 結果画像　(c) 参照球

図 3: 実験結果 2

5 むすび

本稿では，参照物体を用いて，燐光物体の法線を推定する手法を提案した．推定手法には，燐光の時間的特性や反射特性を推定することなく，画像から直接，法線を推定できるという利点がある．実画像を用いた実験により，提案手法の有効性を確認した．

今後は，形状復元だけでなく，燐光の分光的・時間的特性の推定にも取り組んでいきたい．

謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 JP18H05011，および，JP17H00744 の助成を受けた．

参考文献

[1] R. Woodham, “Photometric method for determining surface orientation from multiple images”, Optical Engineering, Vol.19, No.1, pp.139-144, 1980.

[2] A. Hertzmann and S. Seitz, “Example-based photometric stereo reconstruction with general, varying BRDF”, IEEE Trans. PAMI, Vol.27, No.8, pp.1254-1264, 2005.

[3] N. Ikeya, K. Tanaka, T. Takaya, N. Kubo, T. Funatomi, and T. Mukaigawa, “Time-resolved light transport decomposition for thermal photometric stereo”, In Proc. CVPR2018, pp.4804-4813, 2018.

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.