

画像応用としての偏光
宮崎大輔,
動的画像処理実利用化ワークショップ,
Article no. SS03, 2 pages, 2015.03

This file is a draft version. It may be different from the published version.

画像応用としての偏光

宮崎 大輔[†]

Daisuke Miyazaki[†]

[†] 広島市立大学, <http://ime.info.hiroshima-cu.ac.jp/>

<要約> 本講演では、偏光を活用した画像解析技術を紹介する。偏光は人間の目には見えない物理現象であるが、現実世界の状況を理解するための豊富な情報を保有している。我々の研究グループでは、これまで偏光を活用した様々な技術を開発してきた。物体の表面形状の計測を中心に、空の偏光状態の解析、鏡面反射の除去、散乱光の除去など広範囲の目的に偏光解析が役に立つことを示す。

<キーワード> 偏光, 形状計測

1. はじめに

本論文では、コンピュータビジョンの分野における偏光を用いた研究をいくつか紹介する。

2. 鏡面反射成分と拡散反射成分の分離

非偏光な光を物体に照射したときに、カメラの前に設置した直線偏光板を使って鏡面反射と拡散反射の成分を分離する手法がある。偏光板を回転させたときの観測光の最大輝度を I_{\max} 、最小輝度を I_{\min} と表記する。Wolff ら [28] は、各画素の観測輝度を、横軸に I_{\min} 、縦軸に I_{\max} をとる 2 次元平面にプロットして、鏡面反射成分と拡散反射成分を分離した。Nayar ら [20] は、ある画素でもし I_{\max} と I_{\min} の差が小さければ拡散反射成分のみの画素であることを利用して拡散反射成分と鏡面反射成分を分離した。Lin ら [11] はカメラの R チャンネルに 0° の直線偏光板、G チャンネルに 60° の直線偏光板、B チャンネルに 120° の直線偏光板を取り付けたカメラで撮影を行い、鏡面反射成分と拡散反射成分を分離した。Umeyama ら [26] は独立成分分析により鏡面反射成分と拡散反射成分を分離した。

3. 形状計測

物体表面法線は極座標系で表現し、方位角を ϕ 、天頂角を θ で表す。物体表面に非偏光を照射したとき、鏡面反射光は部分偏光する。このとき、 I_{\min} が観測されるとき、偏光角から物体表面の方位角を決定することができる。1 つの視点・光源からでは方位角のみが決定されるだけであり、法線を一意に決定することができない。そこで、別の視点・光源からの情報も使えば法線が決定されることを Wolff ら [28] が示した。しかし、2 視点の偏光データを物体表面上の同一点で解析する必要がある。そこで、対応点の初期値を与え、それに基づき物体形状を計算し、その形状に基づき再び対応点を計算することを繰り返す方法を Rahmann ら [22] は提案した。一方、

Miyazaki ら [17] は視体積交差法で物体形状の概形を計算し、その形状に基づいた対応点を利用して複数視点の偏光データから法線を一意に決定した。

偏光度とは、光の偏光状態を表す尺度の 1 つで、0 から 1 の値をとり、完全偏光は 1、非偏光は 0 の値で表す。Atkinson ら [3] や Miyazaki ら [14] は、拡散反射光の偏光度を利用して、不透明物体の形状を計測する手法を提案した。Barbour [5] は偏光度と天頂角の関係を近似して形状を計測するセンサを開発した。Huynh ら [9] は、拡散反射物体の偏光を利用して、形状だけでなく屈折率も推定する手法を開発した。

鏡面反射光の偏光度から法線の天頂角を推定する場合は、解として 2 つの候補が出てくる。Miyazaki ら [15] は、2 視点から物体を観測することによりこの曖昧性を除去する方法を提案した。

偏光解析により求めた方位角は 180° の曖昧性が存在する。Atkinson ら [1], [2], [4] は、2 視点からの偏光画像からその曖昧性を解いた。2 視点からのデータに対応点で解析すればこの曖昧性を解くことができる。彼らは法線のそれぞれの候補について局所的に形状を復元し、形状が一致するかどうかで、対応点を求めた。Morel ら [19] は照射する光源方向を変えて複数枚の偏光画像を取得することにより、方位角の曖昧性を解いて形状を推定した。

熱放射光の場合、偏光度と天頂角は 1 対 1 の対応関係があることを利用し、Miyazaki ら [13] は透明物体の形状計測を行った。Miyazaki ら [16] は、偏光を用いたレイトレーシング法の逆問題を反復計算で解くことにより、透明物体の形状を計測する手法を提案した。Koshikawa ら [10] は、ミューラー計算法を用いて鏡面物体の表面法線を求める手法を提案した。また、Guarnera ら [8] は Koshikawa らの研究を発展させた手法を提案した。Drbohlav ら [7] は、偏光の性質と照度差ステレオ法を組み合わせることで物体形状を計算する手法を提案している。Zhang ら [29] は、カメラと同じ位置にある照明からなる陰影情報を利用し、偏光板の角度が未知の場合で形状と屈折率を推定する手

法を提案した .

4. その他の研究

Schechner ら [24], [25] はまた , 霧がかかった日や水の中のシーンにおいて , 偏光を使って見えを改善する手法を提案した . 物体から発生した非偏光は霧の影響で減衰する . また , 太陽からの光が途中で大気中の微粒子で散乱して部分偏光した光も観測される . まず , 空だけを観測し , 太陽の影響による偏光度を計算する . その偏光度と , 物体が観測された画素での I_{\max} と I_{\min} により , 物体光と太陽の散乱光を単純なかけ算などで分離することができる . Miyazaki ら [18] は空が観測されていないシーンでも適用できるようにするため道路標識などの既知の参照物体を利用することで減衰パラメータを推定し , 見えを改善した .

Schechner ら [23] は偏光を解析することにより , ガラス面での反射と透過を分離する手法を提案した . Wolff と Boulton と Chen [6], [27], [28] は , 偏光解析を用いて対象物体を金属か誘電体であるかを区別する手法を開発した . Nayar ら [21] や Mannami ら [12] は , 液晶を使ってハイダイナミックレンジ画像を測定する装置を開発した .

参考文献

- [1] G.A. Atkinson, E.R. Hancock. Multi-view surface reconstruction using polarization. In *ICCV*, 309–316, 2005.
- [2] G.A. Atkinson, E.R. Hancock. Polarization-based surface reconstruction via patch matching. In *CVPR*, 495–503, 2006.
- [3] G.A. Atkinson, E.R. Hancock. Recovery of surface orientation from diffuse polarization. *IEEE TIP*, 15(6), 1653–1664, 2006.
- [4] G.A. Atkinson, E. R. Hancock. Shape estimation using polarization and shading from two views. *PAMI*, 29(11), 2001–2017, 2007.
- [5] B.A. Barbour. Apparatus and method for extracting information from electromagnetic energy including target 3D structure and materials. *U.S. Patent*, 8,320,661, 2012.
- [6] H. Chen, L.B. Wolff. Polarization phase-based method for material classification in computer vision. *IJCV*, 28(1), 73–83, 1998.
- [7] O. Drbohlav, R. Šára. Unambiguous determination of shape from photometric stereo with unknown light sources. In *ICCV*, 581–586, 2001.
- [8] G.C. Guarnera, P. Peers, P. Debevec, A. Ghosh. Estimating surface normals from spherical Stokes reflectance fields. In *ECCV Workshop*, 340–349, 2012.
- [9] C.P. Huynh, A. Robles-Kelly, E.R. Hancock. Shape and refractive index from single-view spectro-polarimetric images. *IJCV*, 101, 64–94, 2013.
- [10] K. Koshikawa, Y. Shirai. A model-based recognition of glossy objects using their polarimetric properties. *Adv. Rob.*, 2(2), 137–147, 1987.
- [11] S. Lin, S.W. Lee. Detection of specularities using stereo in color and polarization space. *CVIU*, 65(2), 336–346, 1997.
- [12] H. Mannami, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, T. Echigo, Y. Yagi. High dynamic range camera using reflective liquid crystal. In *ICCV*, 1–8, 2007.
- [13] D. Miyazaki, M. Saito, Y. Sato, K. Ikeuchi. Determining surface orientations of transparent objects based on polarization degrees in visible and infrared wavelengths. *JOSA A*, 19(4), 687–694, 2002.
- [14] D. Miyazaki, R.T. Tan, K. Hara, K. Ikeuchi. Polarization-based inverse rendering from a single view. In *ICCV*, 982–987, 2003.
- [15] D. Miyazaki, M. Kagesawa, K. Ikeuchi. Transparent surface modeling from a pair of polarization images. *PAMI*, 26(1), 73–82, 2004.
- [16] D. Miyazaki, K. Ikeuchi. Inverse polarization raytracing: estimating surface shape of transparent objects. In *CVPR*, 910–917, 2005.
- [17] D. Miyazaki, T. Shigetomi, M. Baba, R. Furukawa, S. Hiura, N. Asada. Polarization-based surface normal estimation of black specular objects from multiple viewpoints. In *3DIMPVT*, 104–111, 2012.
- [18] D. Miyazaki, D. Akiyama, M. Baba, R. Furukawa, S. Hiura, N. Asada. Polarization-based dehazing using two reference objects. In *ICCV Workshop*, 852–859, 2013.
- [19] O. Morel, C. Stolz, F. Meriaudeau, P. Gorria. Active lighting applied to three-dimensional reconstruction of specular metallic surface by polarization imaging. *Appl. Opt.*, 45(17), 4062–4068, 2006.
- [20] S.K. Nayar, X.S. Fang, T. Boulton. Separation of reflection components using color and polarization. *IJCV*, 21(3), 163–186, 1997.
- [21] S.K. Nayar, V. Branzoi. Adaptive dynamic range imaging: Optical control of pixel exposures over space and time. In *ICCV*, 1168–1175, 2003.
- [22] S. Rahmann, N. Canterakis. Reconstruction of specular surfaces using polarization imaging. In *CVPR*, 149–155, 2001.
- [23] Y.Y. Schechner, J. Shamir, N. Kiryati. Polarization and statistical analysis of scenes containing a semireflector. *JOSA A*, 17(2), 276–284, 2000.
- [24] Y.Y. Schechner, S.G. Narashimhan, S.K. Nayar. Polarization-based vision through haze. *Appl. Opt.*, 42(3), 511–525, 2003.
- [25] Y.Y. Schechner, N. Karpel. Recovery of underwater visibility and structure by polarization analysis. *JOE*, 30(3), 570–587, 2005.
- [26] S. Umeyama, G. Godin. Separation of diffuse and specular components of surface reflection by use of polarization and statistical analysis of images. *PAMI*, 26(5), 2004.
- [27] L.B. Wolff. Polarization-based material classification from specular reflection. *PAMI*, 12(11), 1059–1071, 1990.
- [28] L.B. Wolff, T.E. Boulton. Constraining object features using a polarization reflectance model. *PAMI*, 13(7), 635–657, 1991.
- [29] L. Zhang, E.R. Hancock. Robust shape and polarisation estimation using blind source separation. *CAIP*, 6854, 178–185, 2011.