Vol.2019-CVIM-217 No.21
2019/5/30

天井裏における偏光情報を用いた特徴点対応の評価

小川和樹[1,a)]　間下以大[1]　浦西友樹[1]　Ratsamee Photchara[1]　竹村治雄[1]

概要：新築時から数年，数十年経過した建物に対して，改築や増築を行ったり設備を更新したりすることがある．この際設計図の入手が必要となるが，現状設計図がなく，設計図を作るために図面から作ることが多い．この場合建物の計測を行う必要があるが，天井裏についてこのような状況が発生した場合，現状専門の技術者によって人手と時間をかけて計測が行われるため，コストが高くなる．本研究では天井裏の計測の自動化を実現するための第一歩として，計測を困難にしている要因の一つである鏡面反射の問題を解決するために，偏光カメラを用いる．これによって特定の 4 方向に振動する光のみを取得することができるため，その情報から鏡面反射の成分を計算し，それを除去した画像を取得することで鏡面反射に強い特徴点対応を実現することができる．これによって鏡面反射が見られる物体の特徴点対応の精度向上が見られたが，実際に天井裏で特徴点対応を行ってみたところ，特徴点の数などに変化は見られたものの，大きな差は見られなかった．これは鏡面反射抜きで画素の RGB 値が上限に達し，鏡面反射を検出できなかった領域があったことに起因すると考えられる．

キーワード：天井裏，偏光カメラ，特徴点対応付け

1. はじめに

新築時から数年，数十年経過した建物に対して，改築や増築を行ったり設備を更新したりすることがある．この際，運び込める部品のサイズ，工事の際に他の設備が邪魔にならないかといったことを事前に知るために，設計図の入手が必要となる．しかし，現状，設計図がなく，設計図を作るために図面から作ることが多い．この場合，図面を作るために建物の計測を行うことになる．

天井裏についても例外ではなく，例えばエアコンの冷媒配管を交換するケースなどが考えられるが，このような天井裏の工事の際に建物の計測が必要となる場合が多い．しかし，天井裏の計測は専門の技術者によって人手と時間をかけて行われているため高コストであるという問題がある．

このような問題を解決するための方法としてロボット等によってセンサを用いた計測を行うという方法が考えられるが，天井裏はセンサを用いた計測が難しい．例えば光学的な計測の場合には，**図 1** のように配管等の金属が光を反射し，金属面で鏡面反射が起こり，見た目が大きく変化するためにステレオ視に基づく形状計測が困難である．また，電波を用いた計測の場合には，鉄筋やコンクリートが電波を阻害する問題が発生する．

[1] 大阪大学
Osaka University
[a)] ogawa.kazuki@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp

本研究では，金属の反射等の問題を解決し，天井裏のような環境でも機能する光学的計測技術の開発を目的とする．具体的には，偏光カメラを用いて鏡面反射の成分を計算し，鏡面反射を除去した画像を生成してそれを用いて特徴点対応を実行することで複数視点での物体の対応付けを目指す．

2. 関連研究

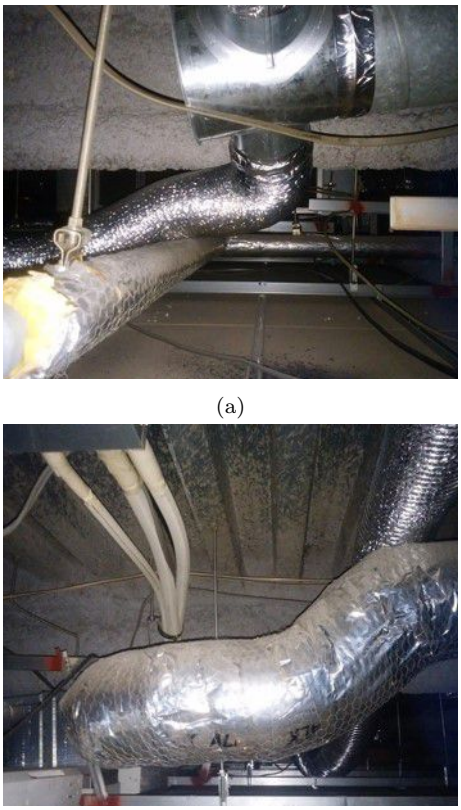
2.1 反射物体の 3 次元形状の復元

Weinmann らの研究 [1] では，カメラで観測された反射パターンから多視点の法線場の調整とクラスタリング [6] をベースにして形状を推定している．ただしこれは観測されたことがないパターンに弱いという問題がある．他にも法線を利用した形状復元の手法は陰影を用いたもの [2] や照度差ステレオを用いたもの [3] やそれを拡張して鏡面性のような，理想的な反射 (ランバート反射) に反する条件に対応させたもの [4], [5] があるが，これらは影や相互反射は考慮されていない．

2.2 セグメンテーションを用いたアプローチ

金子らの研究 [7] では，セグメンテーションを用いて動物体や遠方領域といった計測が困難な領域を SLAM で利用する特徴点の対象から除外することで計測困難な領域が多く含まれる画像における位置推定や軌道推定の精度を上

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan



(a)

(b)

図 1 天井裏の様子

げている．これを応用すれば金属領域についても SLAM の精度向上が見込めるが，精度は ORB-SLAM 等よりは上がるものの高いとは言えないと言及されている．また計測困難な領域が大部分を占める天井裏においてはほとんどの領域が除外され，計測が行えないという事態になることが考えられる．

3. 偏光カメラを用いた計測手法

鏡面反射は物体表面で即反射するのに対し，拡散反射は物体の屈折率が不均一であるため乱反射する．この違いにより，鏡面反射光は**図 2** のように偏光角により強さが異なるが，拡散反射光は偏光角によらず強さが均一な非偏光となる．そのため，鏡面反射の偏光角，強さといった偏光情報を算出できれば，鏡面反射と拡散反射の成分を分離することができ，鏡面反射を除去できる．

3.1 偏光カメラ

偏光カメラは**図 3** のように 0 度，45 度，90 度，135 度の方向に偏光板が張られた画素の組を持ち，特定方向に振動する光のみを得ることができる．これを用いることで偏光情報を算出して鏡面反射を除去できると考えられる．

3.2 偏光情報の計算

3.2.1 偏光角と光の強さに関する仮定

角度によらない非偏光の拡散反射成分と，角度によって周期的に変化している鏡面反射成分の 2 つのみを持っているものと仮定すると，0 度と 180 度が同一の状態であることから以下の式で各画素の RGB 値

$$I_\phi = I_b + I_a \cos(2\theta - \phi)$$

と表すことができ，**図 4** のように偏光角と光の強さの関係を表すことができる．また，この仮定から，0 度，45 度，90 度，135 度の 4 種類の画素の RGB 値 I_0，I_{45}，I_{90}，I_{135} について，

$$\begin{aligned} I_0 &= I_b + I_a \cos(2\theta) \\ I_{45} &= I_b + I_a \cos(2(\theta + 45)) \\ I_{90} &= I_b + I_a \cos(2(\theta + 90)) \\ I_{135} &= I_b + I_a \cos(2(\theta + 135)) \end{aligned}$$

という関係を定めることができる．グラフ中の最低値 I_{min} は $I_b - I_a$，最大値 I_{max} は $I_b + I_a$ に相当する．また，偏光角によって変動している成分である $I_{max} - I_{min}$ 鏡面反射成分，逆に偏光角によらない成分である I_{min} が拡散反射成分に相当する．

3.2.2 画素の RGB 値を用いた I_a，I_b の導出過程

鏡面反射を除いた成分を算出するには I_b，I_a を算出する必要がある．まず $\cos(2\theta + 180) = -\cos(2\theta)$ から，

$$I_a \cos(2\theta) = \frac{(I_0 - I_{90})^2}{2}$$

$\cos(2\theta + 90) = -\sin(2\theta)$，$\cos(2\theta + 270) = \sin(2\theta)$ から，

$$I_a \sin(2\theta) = \frac{(I_{135} - I_{45})}{2}$$

従って以下の式で I_a を求めることができる．

$$I_a = \frac{\sqrt{(I_0 - I_{90})^2 + (I_{135} - I_{45})^2}}{2}$$

また，$cos(2\theta)$，$cos(2\theta+90)$，$cos(2\theta+180)$，$cos(2\theta+270)$ は全て足すと θ がどんな値でも 0 になるため，以下の式で I_b を求めることができる．

$$I_b = \frac{I_0 + I_{45} + I_{90} + I_{135}}{4}$$

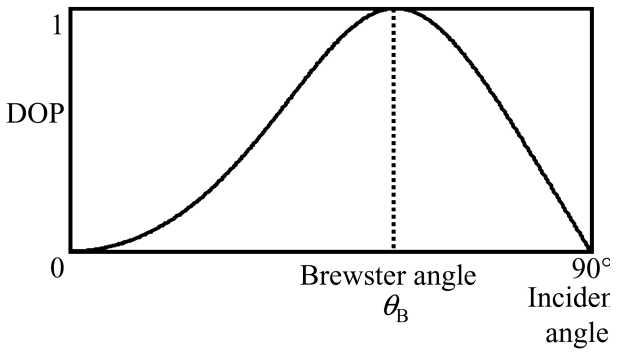
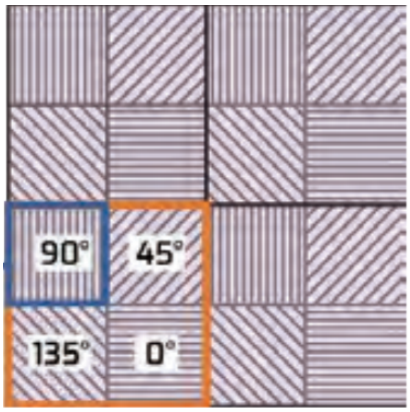


図 2 偏光角と偏光度の関係 [8]



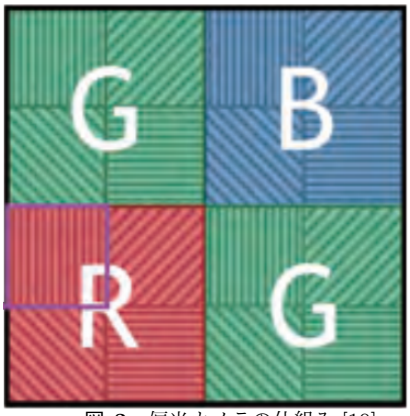


図 3　偏光カメラの仕組み [10]

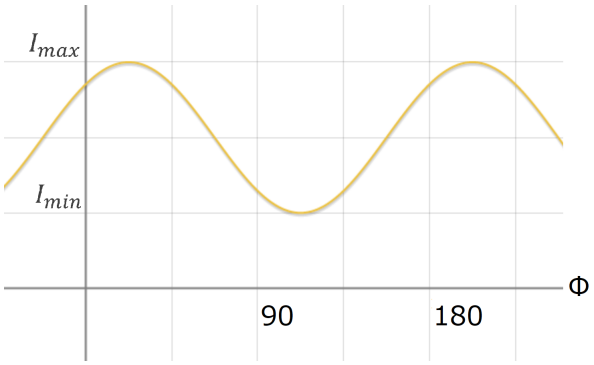


図 4　偏光角 ϕ と光の強さ I_ϕ の関係

3.2.3　偏光情報を用いた鏡面反射の除去方法

3.2.2 で示した方法で I_a，I_b を求めたら，それを用いて鏡面反射を除いた成分 I_{min} を計算することで鏡面反射を除去した成分を求める．I_{min} は $I_b - I_a$ に等しいため，$I_b - I_a$ を画素の RGB 値として画像を生成すれば，**図 5** のように鏡面反射を除去した画像を得られる．そして**図 6** のように鏡面反射によって特徴点対応の精度を上げることができる．

4.　システム

偏光カメラとして ViewPlus 社の VP-PHX050S-Q を使用する．偏光カメラから画像やピクセルのフォーマット等を取得するが，これは PHX-050S-Q 付属の ArenaAPI[11] を用いて行う．これらを用いて鏡面反射を除去する処理も同様に ArenaAPI で行う．特徴点対応については OpenCV3.1.0 を用いて行う．

表 1　VP-PHX050S-Q の仕様 [9]

規格		GigE Vision v2.0
カメラインターフェース		1000BASE-T PoE
ゲイン		0 48dB
撮像素子	素子	SONY IMX250MYR
	タイプ	2/3 インチ，4 方向偏光フィルタ
	解像度	2448 × 2048
	ピクセルサイズ	3.45 μ m
	シャッタータイプ	グローバル

5.　天井裏画像の特徴点対応

5.1　実験内容

偏光カメラを用いて天井裏の物体を複数の角度で撮影する．次に 3.2 章で示した方法で，取得した画像の画素の RGB 値から鏡面反射成分を計算し，除去した画像を生成する．そして鏡面反射を除去した画像を用いて特徴点対応を実行する．比較のために，鏡面反射除去の処理を行う前の画像についても同様に特徴点対応を実行する．そして特徴点対応の結果を比較することでその精度を評価していく．

5.2　結果と考察

5.2.1　結果

特徴点対応の評価にあたって，強い照明を用いた場合 6 枚，弱い照明を用いた場合 6 枚の計 12 枚の画像について，鏡面反射を除去する前後の対応を比較して特徴点対応の精度を吟味していく．今回は**図 7**，8 が特徴点対応の結果の一例で，図 7 が弱い照明，8 が強い照明を用いたものである．図 7 では画像 (a) の中央やや右にある物体と (b) の中央左にある物体が同じもの，**図 8** は左上の配管が同じものである．特徴点対応の結果を見ると鏡面反射を除去した画像を用いた方が対応の数が減っていることが分かる．これは鏡面反射を除去したことによって特徴点自体の数が減っていることなどが要因として考えられる．ただし，鏡面反射を除去する前の画像と後の画像で対応が重複しているものがかなり多かった．

5.2.2　考察

今回の特徴点対応では鏡面反射除去による精度の明らかな向上が見られなかった．これはカメラが対応できる輝度範囲が限られており，実世界の全ての明るさを表現することはできないことに起因するものである．3.2 章で述べた手法における I_{min} の時点でカメラが取得できる画素の RGB 値の最大値に達しているため，実世界における輝度と画素の RGB 値の対応付けに失敗し，鏡面反射の除去に失敗するという問題がある．この問題を解決するために高ダイナミック・レンジ (HDR) 画像を用いるという方法が

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

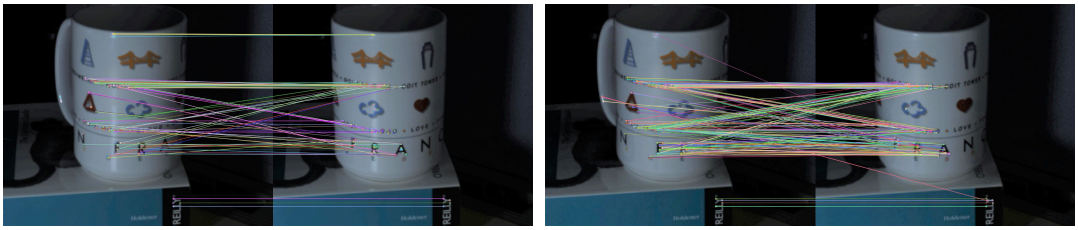


(a) 鏡面反射除去を行う前の画像 (1)　(b) 鏡面反射除去を行った後の画像 (1)　(c) 検出された鏡面反射成分 (1)



(d) 鏡面反射除去を行う前の画像 (2)　(e) 鏡面反射除去を行った後の画像 (2)　(f) 検出された鏡面反射成分 (2)

図 5　鏡面反射除去の処理



(a) 鏡面反射除去前の特徴点対応　(b) 鏡面反射除去後の特徴点対応

図 6　鏡面反射除去前後の特徴点対応の比較

考えられる．HDR 画像とはシャッタースピードまたは照明の強さを変化させて輝度範囲の異なる複数枚の画像撮影し，それを用いて作った幅広い輝度に対応した画像のことである．これを用いることで鏡面反射の除去が成功しやすくなると考えられる．

6. おわりに

本研究では，偏光カメラを用いて天井裏の画像を取得し，鏡面反射を除去して特徴点対応を行った．まず，PHX-050S-Q という偏光カメラを用いて画像を取得し，画素の RGB 値から偏光情報を計算して鏡面反射成分を除去してから特徴点対応を行った． しかし，鏡面反射除去の処理は不完全であったため，金属等の反射の問題を完全に解決することはできず，精度が大きく向上することはなかった．したがって，今後の課題としては，まず第一に鏡面反射除去の処理を改善する必要 がある．そのために HDR 画像を用いるなどして幅広い輝度に対応させるつもりである．また， 最終目標である間取り図の作成を達成するためには，特徴点対応からさらに発展させてステレオ計測を行い，モデルの生成をする必要がある．

参考文献

[1] M.Weinmann, A.Osep, R.Ruiters, R.Klein，“Multi-View Normal Field Integration for 3D Reconstruction of Mirroring Objects,” *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 2504–2511, 2013.

[2] B.K.Horn，“Shape from shading: A method for obtaining the shape of a smooth opaque object from one view,” Technical report, Cambridge, MA, USA, 1970.

[3] R.J.Woodham，“Photometric method for determining surface orientation from multiple images,” Optical Engineering, Vol. 19(1), pp. 139-144, 1980.

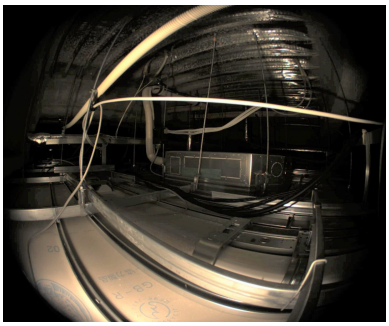
[4] R.Basri, D.Jacobs, and I.Kemelmacher. “Photometric stereo with general, unknown lighting,” *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, Vol. 72, pp. 239-257.

[5] C.Wu, Y.Liu, Q.Dai, and B.Wilburn，“Fusing multiview and photometric stereo for 3d reconstruction under uncalibrated illumination.” *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 17(8), pp. 1082-1095, 2011.

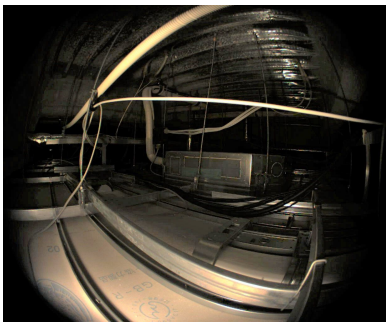
[6] Y.Cheng，“Mean shift, mode seeking, and clustering,” *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*, Vol. 17(8), pp. 790-799, 1995.

[7] M.Kaneko, K.Iwami, T.Ogawa, T.Yamasaki, and K.Aizawa, “Mask-slam: Robust feature-based monocular slam by masking using semantic segmentation,” *the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, ,pp. 258-266, 2018.

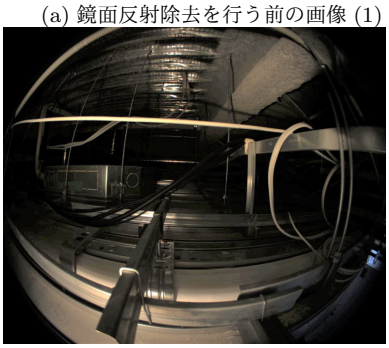
ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan



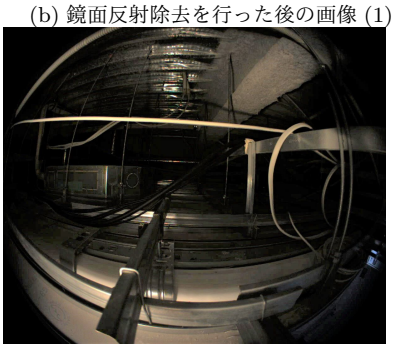
(a) 鏡面反射除去を行う前の画像 (1)



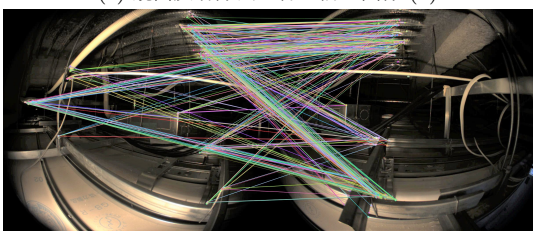
(b) 鏡面反射除去を行った後の画像 (1)



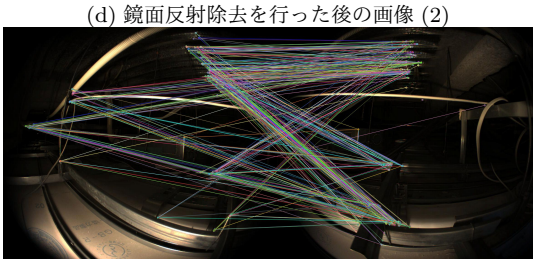
(c) 鏡面反射除去を行う前の画像 (2)



(d) 鏡面反射除去を行った後の画像 (2)



(e) 鏡面反射除去を行う前のの特徴点対応



(f) 鏡面反射除去を行った後の特徴点対応

図 7 特徴点対応の結果 (1)

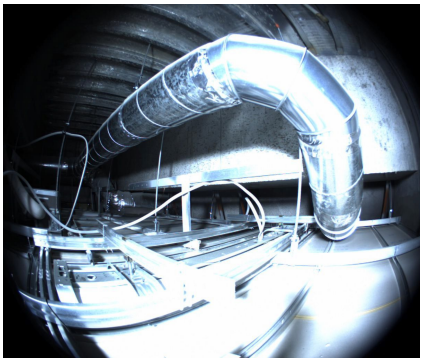
[8] 宮崎大輔，池内克史，“偏光の基礎理論とその応用” 情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 1(1), pp. 64-72, 2008

[9] VP-PHX050S-P/Q LUCID 社製 Products 株式会社ビュープラス ViewPLUS http://-www.viewplus.co.jp/product_lucid/1_index_detail.html （最終アクセス日:2019/2/08）.

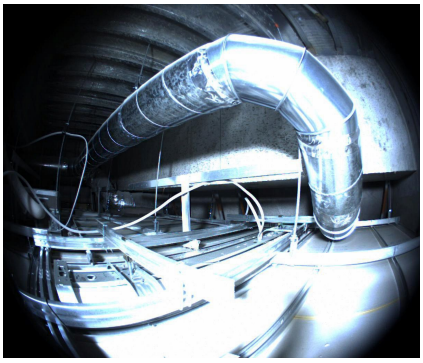
[10] PHX050S-P/Q http://www.viewplus.co.jp/_files/product_lucid/PHX050S-PQ.pdf （最終アクセス日:2019/2/08）.

[11] Arena SDK _ LUCID Vision Labs https://thinklucid.com/arena-software-development-kit/

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan



(a) 鏡面反射除去を行う前の画像 (3)



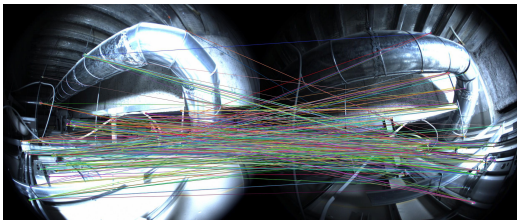
(b) 鏡面反射除去を行った後の画像 (3)



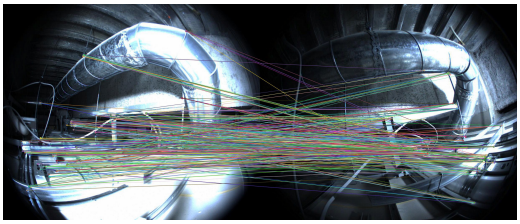
(c) 鏡面反射除去を行う前の画像 (4)



(d) 鏡面反射除去を行った後の画像 (4)



(e) 鏡面反射除去を行う前の特徴点対応



(f) 鏡面反射除去を行った後の特徴点対応

図 8 特徴点対応の結果 (2)

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan