IS3-09

Pro-Cam SSfM：汎用プロジェクタとカメラを用いた分光 3D 計測

李 淳雨， 紋野 雄介， 日高 宏紀， 奥富 正敏　東京工業大学

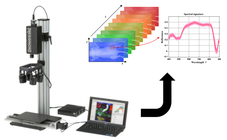
東京工業大学 Tokyo Institute of Technology

研究背景

3次元復元

SfM (Structure from Motion) [7]
Structured-light [2]

従来システム：
- 3D形状復元にフォーカス
- RGB値のみの情報

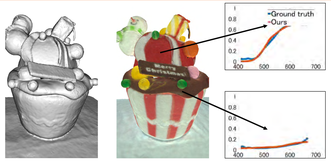


分光イメージング

HSI (Hyperspectral imaging) [3]

従来システム：
- 高価である
- 形状を考慮しない

提案システム：Pro-Cam SSfM
低コストで3D点群と正確な分光反射率を同時に取得可能なシステム

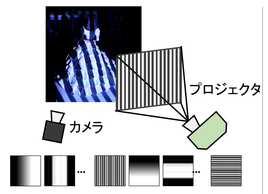


応用：美術品のディジタルアーカイブ、3Dプリンティング

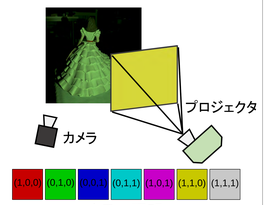
コントリビューション

汎用の RGB カメラとプロジェクタを利用し， キャリブレーション不要で， 3D 形状と分光反射率を同時に推定

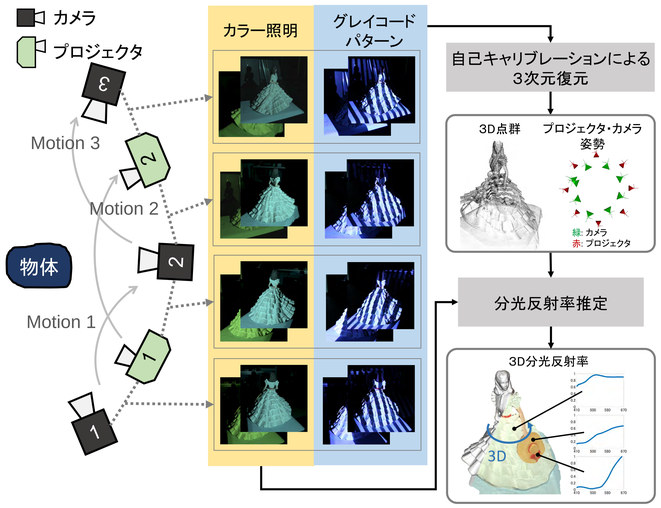
概要



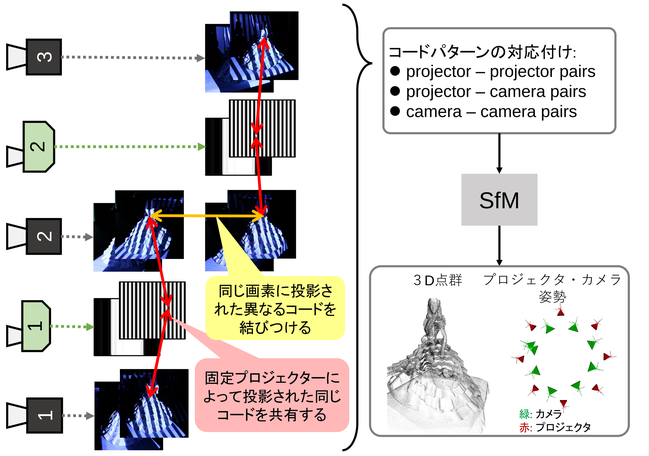
グレイコードパターン
3D形状取得用



カラー照明
分光反射率推定用



自己キャリブレーションによる3次元復元



陰影を考慮した分光反射率推定

コスト関数:

$$\underset{\boldsymbol{\alpha}_k}{\operatorname{argmin}} \underbrace{E_{ren}(\boldsymbol{\alpha}_k)}_{\text{Rendering term}} + \gamma \underbrace{E_{ssm}(\boldsymbol{\alpha}_k)}_{\text{Spectral smoothness term}}$$

k: 3D点インデックス
c: プロジェクターカメラペアインデックス
$\mathcal{V}(k)$: 3D点kが見えているプロジェクターカメラペアの集合
$\boldsymbol{y}^{obs}_{k,c}$: 観測画素値

Rendering term:

$$E_{ren}(\boldsymbol{\alpha}_k) = \sum_{c \in \mathcal{V}(k)} \frac{\left\| \boldsymbol{y}^{obs}_{k,c} - \boldsymbol{y}_{k,c}(\boldsymbol{\alpha}_k) \right\|_2^2}{|\mathcal{V}(k)|}$$

画像生成モデル:

$$\boldsymbol{y}_{k,c}(\boldsymbol{\alpha}_k) = s\, \boldsymbol{C}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{L}\, \boldsymbol{r}_k$$

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_R \\ \hat{y}_G \\ \hat{y}_B \end{pmatrix} = s \quad \overset{31}{\begin{pmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{pmatrix}} \quad \overset{31}{\begin{pmatrix} 0 & & \\ & \ddots & \\ & & 0 \end{pmatrix}} \quad \overset{31}{\begin{pmatrix} \\ \\ \\ \end{pmatrix}}$$

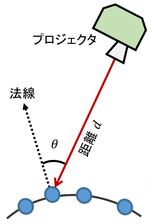
陰影　カメラ感度　光源の分光強度　分光反射率

$\boldsymbol{r}_k$を基底ベクトルの線形和で表す:

$$\boldsymbol{r}_k \approx \boldsymbol{B}\boldsymbol{\alpha}_k = \begin{pmatrix} | & | & & | \\ | & | & \cdots & | \\ | & | & & | \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_8 \end{pmatrix}$$

8つの基底

陰影モデル:



仮定:
- ランバート反射
- 近接点光源

陰影 $s = \dfrac{\cos\theta}{d^2}$

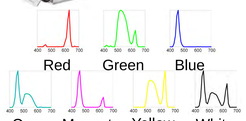
実験と結果

装置

カメラ:
Canon 5D Mark II

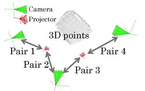
カメラ感度

プロジェクタ:
Asus P3B LED

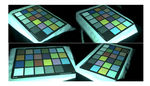


カラーチャートに対する結果

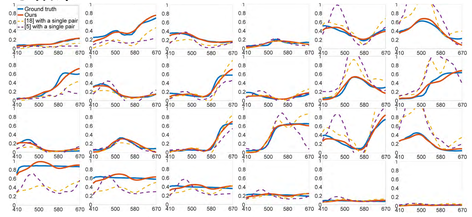
実験環境



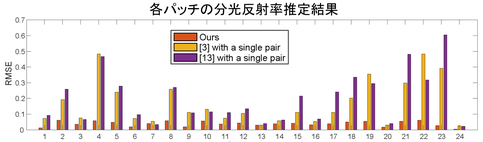
推定プロジェクタ・カメラ姿勢
と3D 点群



入力画像の例



各パッチの分光反射率推定結果

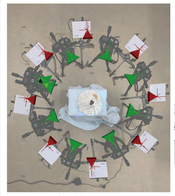


各パッチに対する推定結果のRMSE

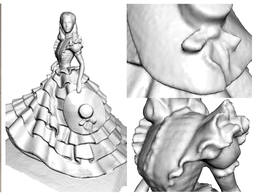
実物体に対する結果

彫刻人形

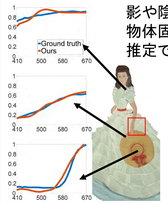
入力画像の例



推定プロジェクタ・カメラ姿勢



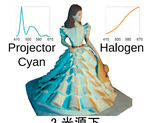
3D形状



提案法(sRGB)

影や陰影に影響されない物体固有の分光反射率を推定できている

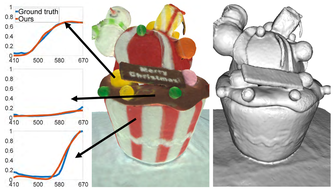
従来法[3]　拡大図



2 光源下

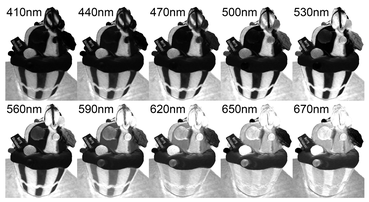
任意の光源位置
リライティング

ぬいぐるみ



分光反射率とsRGB

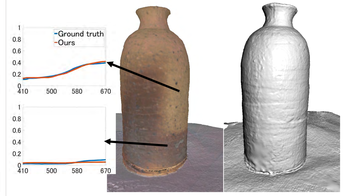
3D形状



各波長に対する3Dモデル結果

備前焼

真贋判定への応用可能性



分光反射率とsRGB　3D形状

発表論文
[1] C. Li, Y. Monno, H. Hidaka, and M. Okutomi, "Pro-Cam SSfM: Projector-camera system for structureand spectral reflectance from motion," ICCV 2019.
[4] C. Li, A. Torii, and M. Okutomi, "Robust, precise, and calibration-free shape acquisition with an off-theshelf camera and projector," ICCE 2018.
参考文献
[2] S. Garrido-Jurado, et al, "Simultaneous reconstruction and calibration for multi-view structured light scanning," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 39, 2016.
[3] Shuai Han, et al. Fast spectral reflectance recovery using DLP projector. Int. Journal of Computer Vision, 110(2):172–184, 2014.
[7] N. Snavely, et al, "Photo tourism: Exploring photo collections in 3D," ACM Trans. on Graphics, vol. 25, no. 3, pp. 835–846, 2006.
[13] Boaz Arad, et al. Sparse recovery of hyperspectral signal from natural RGB images. ECCV, pages 19–34, 2016.

ホームページ