

# リフレクタンス画像に基づく 3D モデルの彩色手法の開発

大石修士, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉 (九州大学)

## Development of Colorization Technique for 3D Model utilizing Reflectance Image

Shuji OISHI, Ryo KURAZUME, Yumi IWASHITA, Tsutomu HASEGAWA (Kyushu university)

Abstract: A laser scanner obtains a range value from the sensor toward the target by measuring the round-trip time of a laser pulse. At the same time, the reflectivity, which is the strength of the reflected light, can be acquired as a by-product of range information. In this paper, we propose a new technique for adding color to a surface of a 3D geometrical model acquired by a laser scanner utilizing laser reflectivity. The proposed technique assigns appearance information to a 3D model by colorizing reflectance image based on the similarity of color and reflectance images at first. Then the color information is transferred to the corresponding range image, and the colorized 3D model is obtained.

### 1. はじめに

本稿では、レーザスキャナ等により観測された実物体の 3 次元幾何モデルに対し、レーザ計測の副産物であるリフレクタンス画像を利用することで、カラー画像の色やテクスチャ情報をモデルに付加する手法を提案する。一般に、幾何モデルとカラー画像はそれぞれ異なるセンサにより取得されるため、適切なテクスチャマッピングを行うにはセンサ間での厳密な位置合わせが必要である [1][2][3]。

一方、我々はこれまでにレーザスキャナを用いた距離計測時に副産物として得られるレーザ反射強度に着目した新たな彩色手法を提案した [4][5]。提案した手法は、カメラ等から得られた色情報を基にリフレクタンス画像を直接カラー化するもので、従来のテクスチャマッピングのような厳密な位置合わせを必要とせず、彩色された 3 次元モデルを生成することができる。本稿では [4][5] の手法を拡張し、距離画像を用いた新たなコスト関数を導入することで、より高精度にカラー化を実現する手法を提案し、[4][5] との比較実験により提案手法の有効性を確認する。

### 2. 提案手法

#### 2.1 リフレクタンス画像

レーザレンジファインダなど Time-of-Flight 式距離センサは、センサから能動的に発射された光（レーザ光など）が、対象物表面に反射して再びセンサに戻るまでの時間を計測することで対象物までの距離を得る一方、副次的にレーザ光の強度（リフレクタンス値）も計測することができる。Fig.2(a)(b) に距離画像およびリフレクタンス値を濃淡値として表示した画像（リフレクタンス画像、あるいは反射率画像）を示す。このレーザ光の反射強度は、距離画像のそれぞれの画素に対して一意に決定できる、言い換えれば、距離画像とリフレクタンス画像は原理的に厳密に位置合わせされた画像であるとも考えられる [6]。

#### 2.2 リフレクタンス画像を用いた 3 次元モデルの彩色

##### 2.2.1 リフレクタンス画像のカラリゼーション

カラリゼーションとは輝度情報のみを持つ濃淡画像に対し、一部の色度情報を他の画像や人手により与え

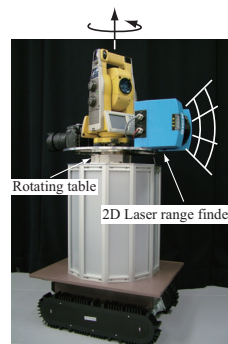


Fig.1 全周囲距離画像の計測システム [7]



(a) Range image



(b) Reflectance image

Fig.2 距離画像とリフレクタンス画像

ることで画像全体の色推定を行う手法である [8][9]。

Yatziv ら [10] は、色度情報を一部含む濃淡画像において、注目画素と色度情報を有する画素とのダイクストラ距離 [11] を求め、その距離に応じた重みづけ平均を算出することで注目画素の色推定を行う手法を提案している。この手法では、注目画素  $i$  における色度  $c_i$  は以下のように決定される。

$$c_i = \frac{\sum_{j \in \Omega_c} w(i, j) c_j}{\sum_{j \in \Omega_c} w(i, j)} \quad (1)$$

$$w(i, j) = \tilde{r}_{ij}^{-\alpha} \quad (2)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \operatorname{argmin}_{r_{ij}} E(r_{ij}) \quad (3)$$

$$E(r_{ij}) = \sum_{k=1}^{n-1} |Y_{p_{k+1}} - Y_{p_k}|_{p_{k+1} \in N(p_k), p_1=i, p_n=j} \quad (4)$$

ただし  $\Omega_c$  は色度情報を持った画素の集合,  $\tilde{r}_{ij}$  は画素  $i, j$  間のダイクストラ距離,  $\alpha$  は重みづけ関数  $w(i, j)$  におけるダイクストラ距離  $\tilde{r}_{ij}$  の影響を制御するパラメータ,  $Y_{p_k}$  と  $N(p_k)$  はそれぞれ画素  $p_k$  における輝度値と近傍画素を示している.

我々はこれまでに, Yatziv らの手法を用いてリフレクタンス画像をカラリゼーションすることで, 3次元モデルへの彩色を実現する手法を提案した [4][5]. しかし, リフレクタンス画像では Fig.2(b) に示すように法線方向の変化が大きいルーフエッジは容易に検出可能であるが, 奥行き値の変化により生じるジャンプエッジは明確に表れないことがあり, カラリゼーションにおいて過度な色の拡散が起きる可能性がある. 一方で, 距離画像 (Fig.2(a)) ではジャンプエッジが鮮明に表れる. そこで本稿では [4][5] を拡張し, エネルギー関数  $E$  (式 (4)) に距離値に基づく重みづけ項を加えることで, ルーフエッジとジャンプエッジの双方を考慮した新たな色推定手法を提案する. 提案手法では, 式 (4) に代えて以下のエネルギー関数  $E$  を定義する.

$$\tilde{r}_{ij} = \operatorname{argmin}_{r_{ij}} E'(r_{ij}) \quad (5)$$

$$E'(r_{ij}) = \sum_{k=1}^{n-1} \{\beta(D_{p_{k+1}} - D_{p_k})^2 + 1\} |Y_{p_{k+1}} - Y_{p_k}| \quad (6)$$

ただし,  $D_{p_k}$  は画素  $p_k$  における距離値,  $\beta$  は式 (6) における距離値に基づく重みづけ項の影響度を制御するパラメータである.

本研究では, カラリゼーションの枠組みを用い, レーザスキャナから得られたリフレクタンス画像の彩色を実現する. すなわち, まずカラー画像とリフレクタンス画像の間で少数の対応点を求め, カラー画像のカラー値をリフレクタンス画像の対応点に与える. その後, 従来手法 [4][5] を拡張した提案手法により, リフレクタンス画像全体のカラリゼーションを行う.

### 2.2.2 HOG を用いたリフレクタンス画像とカラー画像の対応点の決定

提案手法では, リフレクタンス画像とカラー画像の対応点を決定する必要がある. そこで SLIC[12] によりセグメンテーションされた各領域に対し, HOG[13] により特徴量を記述し, 対応点を決定する. 具体的には, まずリフレクタンス画像とカラー画像に対し SLIC によるセグメンテーションを行い, 得られた領域の中心から一定サイズの窓を設け, 窓領域内の画像の特徴を HOG により記述する. 次に両者の HOG を比較し, HOG の類似度によって両者で対応する領域を決定する. (Fig.3)

## 3. 実験

Fig.1 に示す 3次元形状計測ロボット CPS-V[7] を用いて, Fig.4 に示す環境下で実機実験を行った. 計測さ

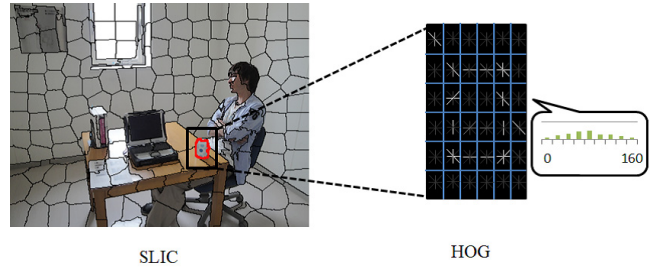


Fig.3 SLIC と HOG による領域の記述



Fig.4 実験環境



(a) 距離画像

(b) リフレクタンス画像

Fig.5 実機実験

れた距離画像, リフレクタンス画像を Fig.5 に示す. ただし, Fig.1 のロボットはスリット状のレーザスキャナ (SICK LMS151) を載せた回転テーブルを回転させながら全周の距離データを取得しており, 画像サイズは距離画像, リフレクタンス画像ともに  $760 \times 1135$  画素である. Fig.5 ではそのうちの一部を拡大して示している.

SLIC と HOG を用いて Fig.4 のカメラ画像と Fig.5(b) のリフレクタンス画像の対応を決定した結果, およびその結果を基にカメラ画像から色度情報を一部転写したリフレクタンス画像をそれぞれ Fig.6(a), Fig.6(b) に示す. さらに, Fig.6(b) を初期画像とし, [4][5] で提案した手法 (式 (4)), および新たに提案した手法 (式 (6)) によりカラリゼーションを行った結果をそれぞれ Fig.6(c), Fig.6(d) に示す. これまでに提案した手法 [4][5] ではリフレクタンス画像中のエッジのみが考慮されているため, 距離の断絶がある領域であってもリフレクタンス値の変化が小さい場合には色が過度に拡散している. 一方で, 距離画像中のエッジも加味した提案手法では, ジャンプエッジの生じている部分で色の拡散が妨げられており, 適切な彩色が行われていることが分かる.

Fig.7(b) は, Fig.6(d) のリフレクタンス画像を基に Fig.7(a) の 3次元幾何モデルへ彩色を行った結果である. この結果から, 距離センサとカメラ間の相対姿勢の推定を行わずに, 幾何モデルが適切に彩色されていることが分かる.

#### 4. まとめ

本稿では, Time-of-Flight 式レーザスキャナによる距離計測時に副産物として得られるレーザ反射強度に着目した 3次元モデルの彩色手法を提案した.

#### 謝辞

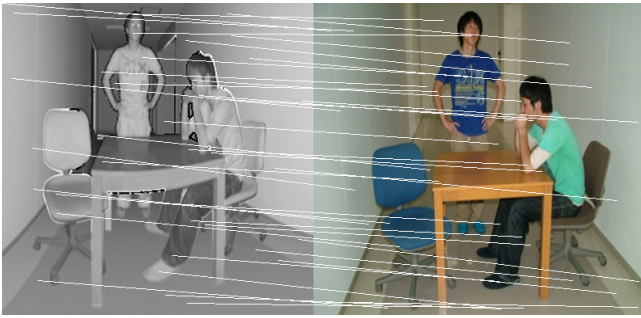
本研究の遂行にあたり, 日本学術振興会科学研究費補助金特別研究員奨励費および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号 23360115) の支援を受けました.

#### 参考文献

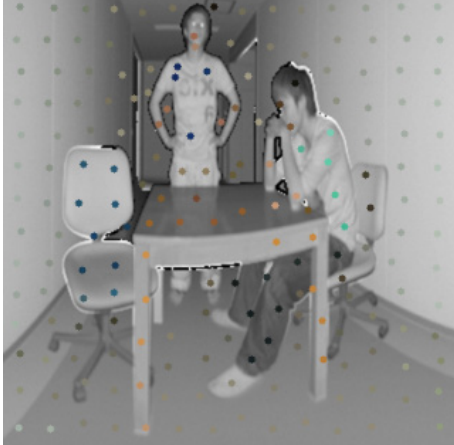
- [1] K. Yoshida and H. Saito. Registration of range image using texture of high-resolution color images. In *IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. pp.150–153, 2002.
- [2] 野田裕介, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉. カラー画像の分割領域を用いた 2d/3d 位置合わせ. 画像の認識理解シンポジウム (MIRU2010), pp. IS2–11, 2010.
- [3] P. Viola and W.M.Well. Alignment by maximization of mutual information. *IJCV*, Vol. Vol.24, No. No.2, pp. pp.137–154, 1997.
- [4] 大石修士, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉. リフレクタンス画像とカラー画像の類似性に基づく 3次元幾何モデルのカラリゼーション. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2012, 2012.
- [5] 大石修士, 辻徳生, 岩下友美, 倉爪亮, 長谷川勉. レーザ反射強度を用いた 3次元幾何モデルのカラリゼーション. 画像の認識理解シンポジウム (MIRU2012), 2012.
- [6] 倉爪亮, 西野恒, M. D. Wheeler, 池内克史. リフレクタンスエッジと濃淡エッジを用いたテクスチャのアラインメント. 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J85-D-II, No. 6, pp. 1038–1046, 2002.
- [7] 倉爪亮, 戸畑享大, 村上剛司, 長谷川勉. Cps-slamの研究-大規模建造物の高精度 3次元幾何形状レーザ計測システム-. 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 8, pp. 1234–1242, 2007.
- [8] P. Lagodzinski and B. Smolka. Colorization of medical images. In *APSIPA ASC 2009*, 2009.
- [9] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss. Colorization using optimization. In *SIGGRAPH2004*, 2004.
- [10] Liron Yatziv and Guillermo Sapiro. Fast image and video colorization using chrominance blending. In *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, Vol. VOL. 15, 2006.
- [11] E.Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. In *In Numerische Mathematik*, 1959.

- [12] Radhakrishna Achanta, Appu Shaji, Kevin Smith, Aurelien Lucchi, Pascal Fua, and Sabine Susstrunk. Slic superpixels. In *EPFL Technical Report*, No. No.149300, 2010.
- [13] Navneet Dalal and Bill Triggs. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. Vol.1, 2005.

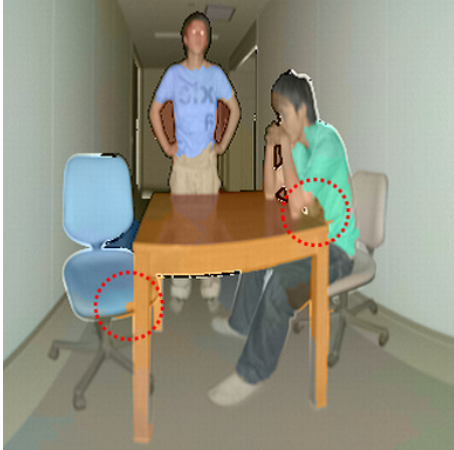




(a) カメラ画像とリフレクタンス画像の対応



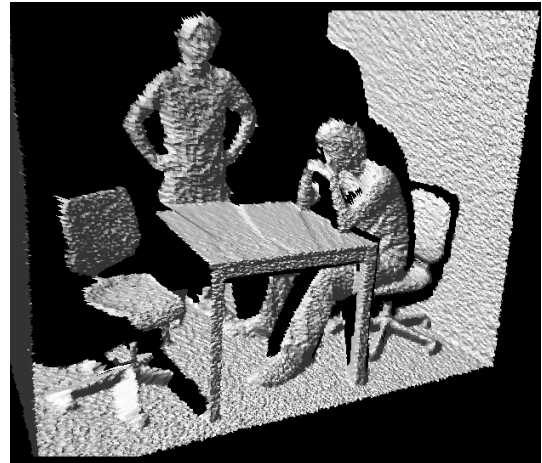
(b) リフレクタンス画像の各 SLIC における色の初期値



(c) 従来手法 [4][5] を用いたカラリゼーション結果



(d) 提案手法を用いたカラリゼーション結果  
Fig.6 リフレクタンス画像のカラリゼーション



(a) 彩色前



(b) 提案手法による彩色

Fig.7 3次元幾何モデルの彩色