

# レーザ反射強度を用いた色付き点群の補正手法

電気通信大学 ○小野寺 亮, 増田 宏

## Revision technique of the colored point cloud using the laser reflection intensity

The University of Electro-Communications: Ryo Onodera, Hiroshi Masuda

The point cloud acquired by the Mobile Mapping System can be colored by projecting three-dimensional coordinates on CCD camera images. However, the correct color information is not often provided because correspondence positions on the image have errors because of the calibration error and distortions of the image. In this paper, we discuss a method for the high-precision correspondence of the point cloud to the image by matching of the laser reflection intensity with the camera image.

### 1. はじめに

移動計測によって取得した点群は、CCD カメラで取得した画像上に 3 次元座標を写像することで、点群に色を付けることができる。しかし、キャリブレーション誤差や画像の歪みなどのため、点群と画像上の対応位置にずれが生じるために、正しい色情報が得られないことも多い。

そこで本稿では、レーザ反射強度と画像との対応付けを行なうことで、点群と画像との対応付けを高精度に実現する手法について検討する。

### 2. 手法の概要

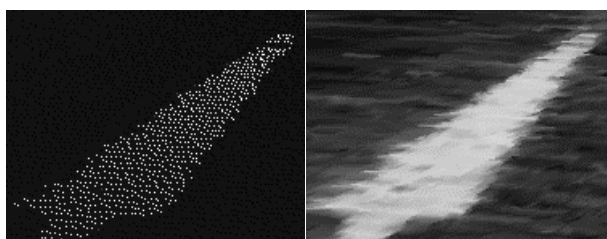
本手法では、点群の反射強度を用いて画像との対応付けの補正を行う。まず、写真と反射強度画像のそれぞれからエッジを検出する。次に、そのエッジを比較することで両画像間の対応をとる。比較の際には写真からのエッジを狭い範囲で平行移動させ、より多く反射強度画像からのエッジと重なった位置を求める。最後に、得られた対応を用いて射影変換を行うことで、点群と画像との対応付けを高精度化する。

### 3. エッジの検出

反射強度の値を輝度として画像上に写像することで反射強度画像を得る事が出来る。まず、この反射強度画像からのエッジ検出について述べる。

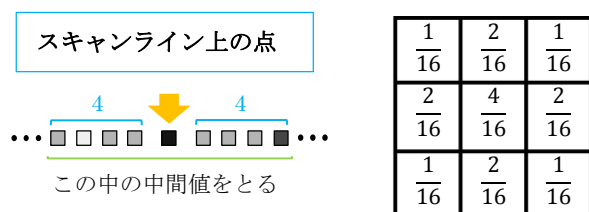
移動計測で得られた点群は、図 1 に示すように密度が低い場合、本研究では、点群をメッシュモデルに変換し、個々の面を画像に投影して反射強度画像を生成する。

反射強度の値にはノイズが多く含まれていることがあり、特に移動計測において大半を占める道路の表面で顕著である。そこで、点群データの並び上でメディアンフィルタをかけることでノイズの



(1) 点群の投影 (2) メッシュの投影

図 1 点反射強度画像



(1) メディアンフィルタ (2) ガウシアンフィルタ

図 2 画像処理のためのフィルタ



図 3 写真(左)と反射強度画像(右)

除去を行う(図 2(1)). その後、カメラパラメータに基づいて、点群を画像上に写像する<sup>[1]</sup>. 結果の例を図 3 に示す. 鮮明なエッジを得るために、反射強度画像に対して 2 次元画像平面上でも再度ノイズの除去を行う. ここでは、ガウシアンフィルタを用いた(図 2(2)).

その後、写真と反射強度画像から Canny 法によってエッジの検出を行う. Canny 法の適用には OpenCV を用いた<sup>[2]</sup>. また、その際の閾値は 150 と 200 に設定した.

### 4. 対応点の取得

#### 4.1 写真からのエッジの連結成分を取得

本手法では、写真からのエッジと反射強度画像からのエッジの比較を行う際に、写真からのエッジの連結成分を 1 つのまとまりとして比較を行う。

まず、連結成分を取得する前に膨張と細線化によってエッジの途切れている部分を繋ぐ。次に、以降の処理を行う際の目安とするために、図 4 のように全ての点を分類する。図 4 ではエッジがある点を白、無い点を黒で表している。ある点から周囲の点を時計回りに見たときに黒から白に移った回数を数える。その回数に応じて、孤立点、端点、通過点、分岐点に分けている。その後、分岐点を消去することで連結成分を分離する。最後に、出来るだけ端点を始点にしながらか連結成分を取得する。

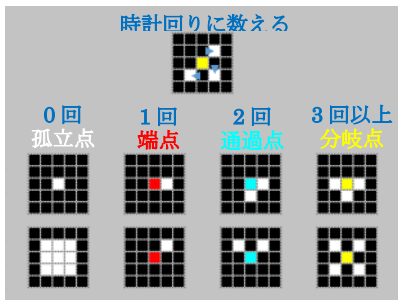


図4 エッジ上の点の分類方法

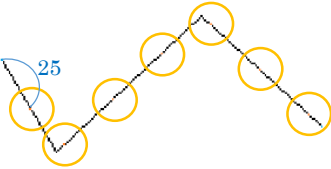


図5 25点間隔で代表点を決定

#### 4.2 写真上の代表点の決定

写真からのエッジと反射強度画像からのエッジを比較する際、比較自体は連結成分によって行うが、その対応付けは連結成分の中の代表点を用いて行う。ここでは、代表点は、連結成分の始点から終点までの間を25点間隔で選択した点を代表点とした。

#### 4.3 代表点と反射強度画像の対応付け

十分に小さい領域では、写真からのエッジと反射強度画像からのエッジのずれは平行移動によって位置合わせできると考えられる。そこで、写真から抽出された連結成分を微小範囲で平行移動させたときに、連結成分と反射強度画像のエッジが一番多く重なる位置を探す。この時、連結成分上の代表点の位置をP、対応する位置までの移動量をEとすると、移動後の代表点の位置はP+Eとなる。このP+Eを反射強度画像上の対応点とする。

#### 5. 射影変換による位置合わせ

最後に、代表点とその対応点から、RANSACを用いた2次元射影変換を行うことにより位置合わせを行う。射影変換とは、ある平面を別の平面に射影しなおすことで画像の変形を行うものである。また、RANSACとはランダムに選んだ組み合わせの中から最も高評価のパラメータを求めることで、外れ値の影響を抑える手法である。実装にはOpenCVのfindHomographyを使用した<sup>4)</sup>。

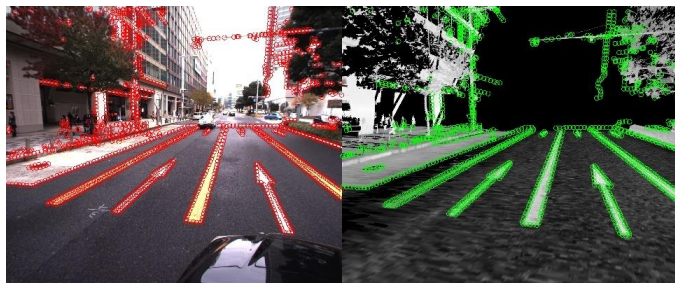


図6 代表点(赤)と対応点(緑)を表示した画像



(1) 位置合わせ前 (2) 位置合わせ後

図7 2つの画像を重ね合わせた状態

射影変換においては画像全体から対応点を取ることが望ましいが、現実には個別に対応点を求めることは難しい。本手法では連結成分の一部が一致していればよいので、図6のように反射強度の存在しない場所からも対応点を取ることができる。

#### 6. 検証実験

本手法の検証においては、図8と図9に示すように、検証点と正解となる投影点を手動で9個選び、それらの元の誤差と本手法によって位置合わせを行った後の誤差を比較した。それぞれの結果は表1、表2のようになった。

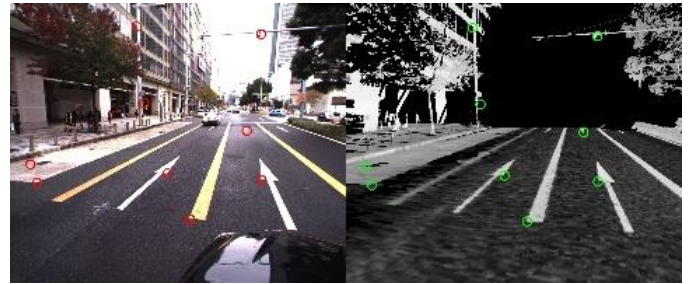


図8 検証点(右:緑)と検証点の射影変換による投影点(左:赤)

表1 図8の検証点の誤差

	平均誤差	最小誤差	最大誤差
元の誤差	16.3	5.7	34.2
位置合わせ後	8.1	1.7	22.5



図9 検証点(右:緑)と検証点の射影変換による投影点(左:赤)

表2 図9の検証点の誤差

	平均誤差	最小誤差	最大誤差
元の誤差	18.5	8.0	33.9
位置合わせ後	8.7	2.0	12.5

どちらの結果においても位置のずれを大きく減少させることができ、より正しい位置へと投影するという目的が達成できている。ただし、対応が適切に取れなかった場所においては、誤差が大きくなった。

#### 7. まとめ

本稿ではレーザー反射強度画像を利用して、点群と写真との対応付けや位置合わせを行う手法について示した。今後はこの手法を用いて、実際に色付けを行うことへの利用や、点群同士のレジストレーションへと利用することを検討している。

#### 参考文献

- [1] 小栗昇悟: 点群と画像の併用による移動計測データからの対話的な形状再構成手法, 精密工学会秋季講演会 2012
- [2] OpenCV 2.2 C++ リファレンス, <http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/index.html>, (参照 2015-01-08)