

# レーザ反射強度を用いた色付き点群の補正手法(第二報)

電気通信大学 ○山川 徹, 増田 宏

## Refinement of colored mobile mapping data using intensity images

The University of Electro-Communications: Toru Yamakawa, Hiroshi Masuda

Mobile mapping systems (MMS) can capture point-clouds of roads and road side objects. For visualizing realistic scenes using point-clouds, RGB colors have to be added to point-clouds. To generate colored point-clouds, each point is projected onto camera images and the RGB color is copied to the point at the projected position. However, incorrect colors are often added to point-clouds because of calibration errors of cameras and laser scanners or the failure of GPS acquisition. In this paper, we propose a new method to correct RGB colors of point-clouds captured by a MMS.

### 1. はじめに

MMS(Mobile Mapping System) は、自動車にレーザスキャナとカメラを搭載し、道路周辺の点群データを取得する。点群に対しては、スキャナとカメラの相対位置情報を用いることで、画像のRGBカラーを付与することが出来る。しかし、点群の誤差やキャリブレーション誤差などにより、画像と点群の正しい位置合わせが出来ず、誤った色が付与されることがあるという問題がある。

倉爪ら[1] は、画像と反射強度画像のそれぞれから得られたエッジから、それらの関係を算出したが、MMSで取得した疎な点群に対しては適用することが出来ない。我々は前報[2]において、MMSで得られた疎な点群をメッシュに変換し、三角形を画像上に投影することで、反射強度画像とカメラから得られたカラー画像との対応付けを行って色の補正を行う手法を示した。

しかしながら、この手法には二つの問題があった。一つ目の問題は、反射強度画像からのエッジ抽出の問題である。疎な点群から生成された明暗画像においては、路面上の白線などの濃度勾配が大きいエッジを検出することはできるが、コントラストが大きい建物境界や縁石などのエッジは十分に検出することが出来ていなかった。二つ目として、反射強度画像とカラー画像との位置合わせが不十分なケースが発生する問題があった。両画像からのエッジ対応に基づいて、射影変換を用いてずれを算出していたが、この方法では、3次元空間に存在する様々な物体に適用するには限界がある。

そこで本研究では、反射強度画像からのエッジ抽出に加えて、点群から生成されたメッシュから3次元エッジを抽出することで、



図1 点群からのメッシュ生成

反射強度画像の低い解像度を補うことを考える。また、位置合わせ

の際、点群をラフな平面ごとにセグメンテーションを行い、そのそれぞれに対して、射影変換行列を算出することで、点群を画像との対応関係の算出を改善することを考える。

### 2. 反射強度画像の生成

反射強度画像は、点群の反射強度を輝度とすることで生成することができる。しかしMMSから得られた点群は点と点の間隙があるため、エッジなどの特徴量抽出を行うのは困難である。そこで、図1のように離散的な点群から三角形メッシュモデルを生成する。ここでは、GPS時刻を用いて、メッシュ生成する方法を用いた[3]。

次に、ピンホールカメラモデルを用いて、メッシュモデルの各三角形をカラー画像と同じ座標系に投影する。その際、三角形の頂点の反射強度値から、三角形内部を線形補間によって補間する。それにより、反射強度画像が生成される。反射強度にはノイズが多く含まれているので、点群のスキャンラインに対してメディアンフィルタを、反射強度画像にガウシアンフィルタを用いてノイズの除去を行う[2]。

### 3. 点群からの3次元エッジの検出

前報では、カラー画像と反射強度画像から、Canny法を用いて2次元エッジ検出を行った。しかしながら、カラー画像からのエッジ検出は良好に行えるものの、反射強度画像においては、疎な点群から生成されたために解像度が低く、また明暗値のみであることから、未検出のエッジが多く発生するという問題があった。

そこで本稿では点群から変換したメッシュモデルからエッジ検出を行う。検出したエッジは、ピンホールカメラモデルに基づいて、反射強度画像上に投影して、画像のエッジと見做すものとする。

エッジの検出においては、隣り合う三角形面の法線の内積を計算し、その絶対値が十分に小さいときに、3次元エッジとする。図2に反射強度画像のみから検出されたエッジと、3次元エッジを追加した画像を示す。ここに示すように、検出されるエッジが増加していることがわかる。

### 4. 位置合わせ手法

#### 4.1 カラー画像と反射強度画像のエッジの対応付け

カラー画像のエッジと反射強度画像のエッジの対応付けは連結成分の代表点を用いて行う。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とした。

次に、カメラ画像から取得したエッジを反射強度画像上に投影し、微小範囲で平行移動させながらエッジの連結成分と反射強度画像のエッジが最も多く重なる位置を探す。図 3 に算出された代表点と対応点の組み合わせを示す。

#### 4.2 平面検出によるセグメンテーション

前報では、反射強度画像とカラー画像を2次元の射影変換によって位置合わせを行っていた。しかし、この方法での、路面と建物を同じ射影変換で位置合わせすると、誤った対応がなされることがあった。

そこで本研究では、同一平面上ごとに反射強度画像を分割する。ここでは、RANSAC 法を用いて、平面検出を行った。ただし、平面検出においては、閾値を緩く設定し、全体を大まかな平面集合に分割する。結果を図 4 に示す。垂直に近い面上の建物と水平面に近い路面が分離できていることがわかる。

#### 4.2 射影変換による2次元のいち合わせ

次に、同一平面上と判定された部分ごとに、図 3 に示す代表点位置がエッジ上に乗るような射影変換を求めて、位置合わせを行う。ただし、対応点には外れ値が含まれているため RANSAC を用いた射影変換を行う。まずランダムに 4 組の代表点と対応点をパラメータとして選定し、その組み合わせに基づきホモグラフィ行列を計算する。得られたホモグラフィ行列から射影変換を行い、パラメータ以外での対応点の誤差を算出する。これを繰り返し行い、最も誤差が少ない対応点の組み合わせを用いて射影変換を行い、反射強度画像とカラー画像との位置合わせを行う。



(a) 反射強度画像のみからのエッジ (b) 三次元エッジの追加

図 2 反射強度画像から検出されたエッジ

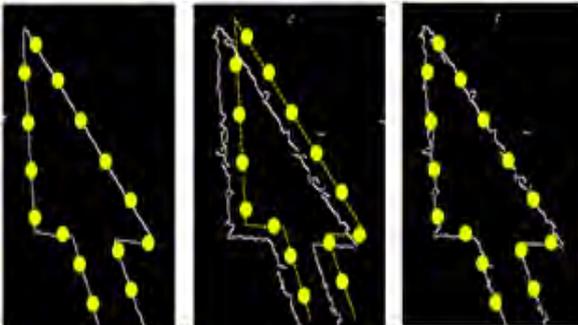


図 3 代表点と対応点の検出結果



図 4 セグメンテーションの結果

前報の手法との比較を行った結果を図 5 に示す。前報では、立て



(a) 前報の位置合わせ結果 (b) 本手法の位置合わせ結果

図 5 位置合わせの結果

看板のように、路面から離れた場合にずれが生じやすかったが、本手法においては改善されている。

## 5. 結論

本稿では MMS から得られた比較的疎な点群に対してメッシュ化を行って反射強度画像を作成し、カラー画像と比較することで色付き点群の補正する方法について示した。提案手法では、3次元の点群からエッジ抽出を行うことで、解像度の低い反射強度からのエッジ抽出を補い、また、点群をラフな平面集合に分割することで、反射強度画像とカラー画像のいち合わせを、2次元の射影変換に帰着させた。

今後は、より多様なシーンの点群で本手法を検証していくことが必要である。また、射影変換以外の方法についても検討していきたい。

### 参考文献

- [1] 倉爪亮, 西野恒, Mark D.W, 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”, 信学論(D-II), Vol.85, pp.1038-1046, 2002
- [2] 小野寺亮, 増田宏”レーザ反射強度を用いた色付き点群の補正手法”, 精密工学会春季学術講演会, 2015
- [3] H. Masuda, J. He, TIN generation and point-cloud compression for vehicle-based mobile mapping systems, Advanced Engineering Informatics, 29(4), pp. 841-850, 2015