

レーザ反射強度を用いた色付き点群の補正手法

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

山川 徹†, 小野寺 亮†, 増田 宏†

Toru YAMAKAWA†, Ryo ONODERA†, and Hiroshi MASUDA†

†:電気通信大学情報理工学研究科知能機械工学専攻, h.masuda@uec.ac.jp

概要: 車載の移動計測によって取得された点群データは, デジタル画像との照合によって, RGB カラーが付与される. しかしながら, キャリブレーション誤差や画像の歪みなどのため, 点群の色にずれが生じることがある. 本手法では MMS から得られた点群のレーザ反射強度とデジタル画像とを照合することによって, 色付き点群の補正を行う. 画像の画素が格子状に配置されているのに対して, 点群にそのような構造は見られず, また密度が低いため, 画像との照合は容易ではない. そこで, 点群のメッシュ化を行い反射強度画像に変換した後に特徴抽出を行うことで, デジタル画像との位置合わせを行う.

1. 緒言

近年, 国内の道路や道路周辺インフラの老朽化が深刻になってきており, 劣化状況などの情報を効率的に取得する技術が重要視されている. この技術の一つとして, 車載の移動計測装置 (Mobile Mapping System, 以後, MMS) が現在注目されている. MMS とは図 1 のように自動車にレーザスキャナなどを搭載した計測装置である.

MMS ではレーザスキャナによって, 周囲の点群データを, 車両を走行しながら取得することができる. また, デジタルカメラも搭載しており, カメラとレーザスキャナの相対位置の情報を用いて, 点群の属性としてデジタル画像の RGB 値を付加することができる.

MMS によって得られた点群に RGB 値を付加するためには, 図 2 のようなピンホールカメラモデルを用いて, 点群の座標をカメラ画像上に投影することで, 色を点に付加する. この色付き点群を作成することで, リアルな点群の描画が可能となる. しかしながら, キャリブレーション誤差や車両位置の誤差などにより, 画像と点群の正しい位置合わせが出来ず, 図 3 のように色情報が誤って表示されてしまうことがある.

従来研究では, カメラとレーザスキャナとの位置関係に基づき点群の写真上での対応位置を算出する手法[1]が提案されている. 対応位置の求め方の例として Herrera ら[2]はチェッカーボードと平面を用いる手法を提案している. また, Scaramuzza ら[3]は人

が対応点を見つけやすい BA 画像から手動で対応点を選び較正を行っている.

自動で対応を求める手法として, カメラ画像と点群から生成される距離画像のそれぞれからエッジを検出し, 比較することで較正を行う手法も提案されている. Allen ら[4]は点群からデプスマップを作成してエッジを求め, カメラ画像からのエッジと比較している. しかし, 写真からは色や模様などによるエッジも検出されるのに対し, 距離データからはそのようなエッジを検出することが難しい.



図 1 MMS の外観

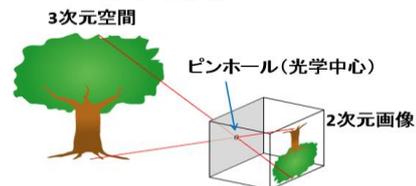


図 2 ピンホールカメラモデル



図 3 位置ずれの例

倉爪ら[5]はカメラ画像と反射強度画像との対応付けを行うことで、対応位置を較正する手法を提案した。この手法では、点群が持つ反射強度から反射強度画像を生成し、カメラ画像から得られた濃淡エッジと、反射強度画像から得られたリフレクタンスエッジを比較することで対応位置を求めている。我々の手法でも同様のアプローチを用いるが、倉爪らの手法は、高密度かつ格子状の点群が取得できる固定式レーザスキャナによる測定を前提にしている。MMS においては点の密度が十分でなく、また点群の並び方に規則性が乏しいため、倉爪らの手法が適用できない。

そこで本稿では、MMS によって得られた比較的疎な点群に対してメッシュ化を行うことで点群の密度の不足を補い、レーザ反射強度画像を作成する。それをもとにカメラで撮影したカラー画像との対応付けを行い、色の補正を行う手法を検討する。

2. MMS (Mobile Mapping System)

移動計測は自己位置を計測する GPS/IMU とレーザスキャナを移動体に搭載して計測を行うことで、一度に広範囲の点群を取得することができる。移動計測には航空機を用いた航空測量と自動車を用いた MMS があるが、本稿では MMS について述べる。

MMS は自動車にレーザスキャナ、GPS、IMU、カメラを搭載し、道路を走行しながら点群を取得する。

レーザスキャナでは、スキャナ固有の座標系での座標を取得し、その後、車両の位置、レーザスキャナの車両原点からの相対位置を用いて、大域的な座標系に変換する。大域的な座標系としては、平面直角座標系や緯度経路などが用いられる。自動車の位置や姿勢を計測するためには GPS を用いるが、十分な個数の GPS 衛星が捕捉できないときには、IMU、オドメータで補正を行う。精度を向上させるために、電子基準位置の情報を用いることもある。

本研究で用いる点群とカメラ画像には、車載の移動計測システム MMS-X320R (三菱電気) を用いて計測されたデータを採用する。この MMS に搭載されているレーザスキャナは、VQ-250(Leica-Geosystems) であり仕様を表1に示す。

表1 レーザスキャナの仕様

機種	VQ-250
走査範囲	360°
分解能	0.12°
周波数	100Hz
測定範囲	75m

3. 本手法の概要

従来手法では、レーザスキャナとデジタル画像の相対位置から、点群と画素との対応を計算していた。本手法では、点群の反射強度を用いて反射強度画像を作成し、カラー画像との対応付けを行う。反射強度画像は点群から作成されるため、反射強度画像の各画素と点群には、直接的な対応が付けられている。そのため、カラー画像と反射強度画像の対応がわかれば、点群とカラー画像の画素との対応を補正することが可能になる。図4は手法の概要である。まず、反射強度画像の作成方法について述べる。

4. 点群の色補正手法

4.1. 反射強度画像の生成

4.1.1. 点群のメッシュ化

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隙間があるため、エッジなどの特徴量抽出を行うのは困難である。そこで、点の隙間を埋めるために点群からメッシュを生成する。図5にメッシュ生成の手順を示す。点群を時系列順に接続し、スキャンラインを生成する(b)。次に、隣接するスキャンラインから最近傍点を探索し、点の間にエッジを追加する(c)。最後に、エッジによって生成された多角形を三角形に分割することで三角形の面を生成する(d)。

4.1.2. 反射強度画像生成

点群の反射強度画像にはノイズが多く含まれている。そこで、図5(b)のように、点群を計測した順に連結し、その点列の反射強度に対してメディアンフィルタを適用し、ノイズの除去を行う。この処理では、前後4個ずつの点を調べ、その中間値をその点での反射強度とした。

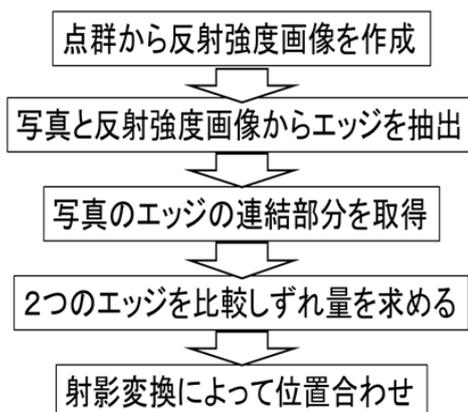


図4 本手法の概要

次に、点群を三角形メッシュに変換する。そしてピンホールカメラモデルに基づき、各三角形を画像上に投影することで反射強度画像を生成する[6]。まず、三角形の3頂点を投影し、投影された画素では、反射強度を輝度とする。三角形の内部では、3頂点の反射強度の距離による重み付き平均を輝度とする。

次に、エッジをより鮮明に得るために、反射強度画像にガウシアンフィルタを用いてノイズ除去を行う。図8に点群から生成した反射強度画像と、本手法でメッシュから生成した画像を示す。図6を比較すると、本手法により画像上の点の隙間を面で埋めることができていることが分かる。

4.2. エッジの抽出

カメラ画像と反射強度画像に対してCanny法を施し、エッジを抽出する。本手法では実験に基づき、その閾値は150と200に設定した。その結果を図7、図8に示す。しかしながら、写真から得られたエッジは、途切れたエッジが多く含まれている。そのため、途切れているエッジ同士を接続させる必要がある。そこで本手法では、モルフォロジ演算を用いてエッジの画素を膨張させ、そのあとにエッジの細線化を行うことでエッジを連結させる。エッジの細線化にはZhang-Suenのアルゴリズムを用いている[7]。

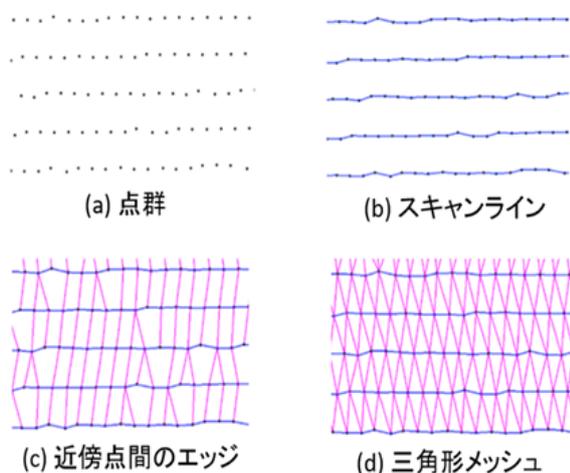


図5 メッシュ生成の手順

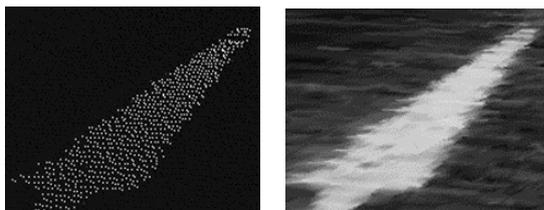


図6 点群 (左) とメッシュ (右)



図7 カメラ画像(上)とCanny法適用結果(下)

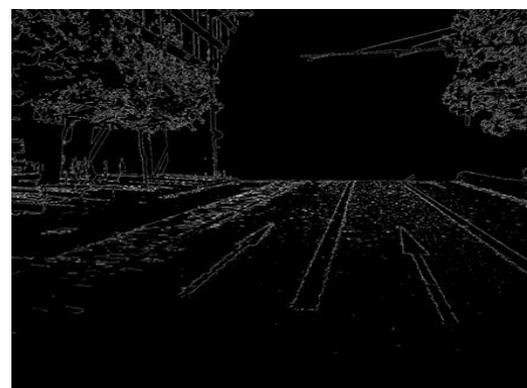


図8 反射強度画像(上)とCanny法適用結果(下)

4.3. カメラ画像と反射強度画像の対応付け

カメラ画像のエッジと反射強度画像のエッジの対応付けはエッジ連結成分の代表点を用いて行う。カメラ画像上におけるエッジ連結成分上の点を、図9のように始点から一定間隔に抽出していき、取得した点を代表点とする。本研究では25点間隔で点を抽出した。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10に実際に算出された代表点と対応点の組み合わせを示す。

算出した対応全体からランダムに複数の対応(4組)を抽出し、それらの対応から射影変換の行列を計算する。この変換行列を抽出されなかった他の対応に当てはめ、誤差が許容範囲であればこの変換行列に投票をする。この処理を繰り返して行い、最も投票数が多かった変換行列を射影変換に用いる。

5. 検証実験

本手法を用いて、実際にどの程度位置合わせが出来たか検証実験を行う。まず図3に適用した結果を図11に示す。本手法により、位置合わせが改善されていることがわかる。また、図12、図13から本手法により投影位置が改善されている。本手法の位置合わせにおける誤差量の変化を表2～表4に示す。

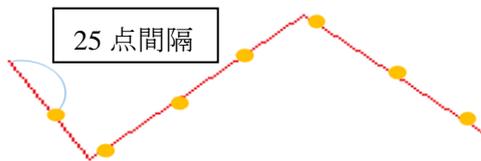


図9 代表点の取得

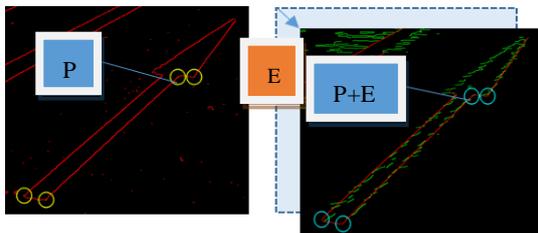


図10 誤差量Eの取得



図11 図3に適用させた結果

一方で、我々の評価実験では、位置合わせの改善に失敗した事例もあった。その例を図14に示す。この原因は、特徴点を誤って取得してしまい、位置合わせが上手くいかなかったためである。

本手法では、画像特徴量によって位置合わせを行うため、路面上に白線などが無い場合には適用ができないという制約がある。実際にそのような事例では、エッジを対応付けに失敗し、位置合わせができなかった。反射強度画像に加えて、点群の幾何情報からエッジを抽出するなどの方法を検討必要がある。

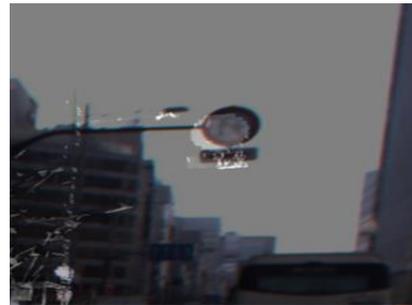


図12 位置合わせ前(上)と位置合わせ後(下)



図13 位置合わせ前(上)と位置合わせ後(下)



図 14 位置合わせ前(上)と位置合わせ後(下)

表 2 図 11 における位置合わせ後の誤差量の変化

	平均誤差 (画素)	最小誤差 (画素)	最大誤差 (画素)
位置合わせ前	16.3	5.7	34.2
位置合わせ後	8.1	1.7	22.5

表 3 図 12 における位置合わせ後の誤差量の変化

	平均誤差 (画素)	最小誤差 (画素)	最大誤差 (画素)
位置合わせ前	15.6	11.3	23.3
位置合わせ後	7.43	2.36	15.6

表 4 図 13 における位置合わせ後の誤差量の変化

	平均誤差 (画素)	最小誤差 (画素)	最大誤差 (画素)
位置合わせ前	12.2	4	17.9
位置合わせ後	9.07	3.04	14.9

6. 結論

本稿では、レーザ反射強度を用いて、点群の RGB 値を補正する方法を示した。MMS で取得した疎な点群データをメッシュに変換し画像上に投影することによって、反射強度画像を生成し、反射強度画像とカメラ画像との照合を行うことで、点群とカラー画

像の対応付けを行った。本手法により、点群の位置を改善させることを確認した。一方で、本手法を用いて対応付けが適切にできない事例もあったため、今後は、特徴量の計算法などを工夫していく必要がある。

参考文献

- [1] 浅井俊弘, 神原誠之, 横矢直和, “全方位距離画像と全方位カラー画像の統合による屋外環境の三次元モデル化“, 画像電子学会誌, vol.34, no.5, p.529-538, 2005
- [2] D, HERRERA; J, KANNALA; and J, HEIKKILÄ, “Accurate and practical calibration of a depth and color camera pair“, In: Computer analysis of images and patterns, Springer Berlin Heidelberg, p. 437-445, 2011
- [3] D, SCARAMUZZA; A, HARATI; and R, SIEGWART, “Extrinsic self calibration of a camera and a 3d laser range finder from natural scenes“, In: Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on, IEEE, p.4164-4169, 2007
- [4] I, STAMOS; and P.K.ALLEN, “Integration of range and image sensing for photo-realistic 3D modeling“, In: Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on, IEEE, p. 1435-1440, 2000.
- [5] 倉爪亮, 西野恒, D.W.Mark, 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メント“, 信学論(D-II), vol.85, p.1038-1046, 2002
- [6] 小栗昇悟, “移動計測データに基づく対話的な形状再構成手法, 卒業論文, 東京大学工学部システム創成学科, 2012
- [7] T.Y.ZHANG; C.Y.SUEN, “A fast parallel algorithm for thinning digital patterns“, Communications of the ACM, vol.27, no.3, p.236-239, 1984

山川徹：2014年，東洋大学理工学部機械工学科卒業。同年，電気通信大学大学院情報理工学研究科修士課程在学中。コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。

増田宏：1985年，東京大学工学部精密機械工学科卒業，1987年，同大学院工学系研究科修士課程修了。同年，日本アイ・ビー・エム(株)入社，東京基礎研究所に勤務。1998年，東京大学大学院工学系研究科 准教授，2013年より電気通信大学大学院情報理工学研究科 教授。形状モデリング，3次元計測，コンピュータグラフィックス，CADに関する研究に従事。工学博士。