

# 点群画像を用いた道路縁石の抽出

電気通信大学 ○辺 春日, 森 悠真, 小平 圭祐, 増田 宏

## Reliable Detection of Road Curbs Using Point-Cloud on 2D Lattice

The University of Electro-Communications: Bian Chunri, Yuma Mori, Keisuke Kohira, Hiroshi Masuda

Mobile mapping systems (MMS) can acquire point-clouds of roads and roadside objects. In this study, we discuss methods for stably detecting road curbs from point-clouds. In our method, point-clouds are converted into point-cloud images, and then wireframe models are created by connecting adjacent points. Next, intersecting points are calculated by cutting the wireframe models using section planes, which are placed at small intervals perpendicular to the trajectory of the MMS. Then the corners of road curbs are detected. In addition, we detect the curb boundary using intensity values of curbs, which are typically larger than the ones of roads. We evaluate our method using point-clouds of urban areas.

### 1. 緒言

道路縁石の情報は車道と歩道, 安全地帯との境界線として, 車両の自動運転や道路周辺のインフラ設備の保守管理などに重要な役割を果たしている. 道路縁石の情報を取得するための技術として, 移動計測装置 (Mobile Mapping System, 以後 MMS)の活用が有効である. MMS は車両の上にレーザスキャナ, GPS などを搭載した装置で, 走行しながら道路周辺の地物情報を 3 次元点群として取得することができる.

しかし, 点群から道路縁石を正確かつ安定的に検出するためには, いくつかの問題が存在する. 点群の間隔は車速によって変化するため, 閾値が適切に設定されなければならない. また, 道路がカーブしている場合, 単なる直線検出では, 縁石を安定的に検出できない. さらに, 縁石は車の進入箇所などでは段差が小さくなっているため, そのような箇所での縁石検出は難しい.

そこで, 本研究では, MMS で得られた点群からの道路縁石を安定的に検出する方法について検討することを目的とする.

### 2. 道路縁石の抽出

本研究では, 図 1 に示す縁石上下の角と縁石の端の検出を行う. ここでは, 縁石の段差によって角となっている箇所を角点と呼ぶ.

我々の手法では, まず, GPS 時刻とレーザスキャナのパラメータを用いて, 点群を 2 次元に構造化し, 点群画像[1]を生成する. そして, 点群画像上で隣接した点を連結することにより, ワイヤフレームモデルを生成する.

次に, ワイヤフレームモデルを進行方向に垂直な平面で等間隔に切断する. ここでは, 切断面を十分小さい間隔に設定することで, 点群のアップサンプリングを行い, 車速の変化による点群の疎密の問題を解決する. また, 縁石上の点を十分に密に取得できれば, 道路がカーブしている場合でも, 切断線のコーナを追跡することで, 縁石を安定的に検出できることが期待される.

また, 縁石部分は, 道路とは異なる素材で構成され, 反射強度が相対的に大きい. このことを利用して, 縁石の領域を検出し, 縁石の境界線を検出する. それにより, 車両の進入口などで縁石の段差が検出できない場合に対応する.

### 3. 道路縁石の角点 (上部と下部) の抽出

#### 3.1. メッシュ生成と断面点の算出

図 2 に, MMS で取得した点群から生成された点群画像を示す. 点群画像上において, 隣接する点間距離が閾値よりも小さいときに 2 点間にエッジを生成し, 図 3 のように, ワイヤフレームモデルを生成する. 次に, 車両の走行軌跡のデータを用いて, 走行軌跡に垂直な切断面を生成する. 切断面の間隔をレーザスキャナのスキャンラインの間隔よりも小さくし, 切断点を算出することで, 車両の進行方向に疎である点群の密度を増やすことができる. 図

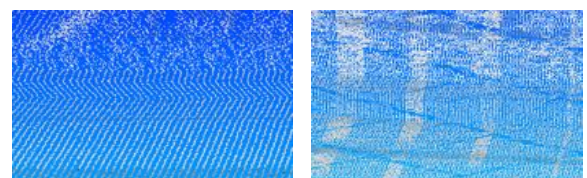
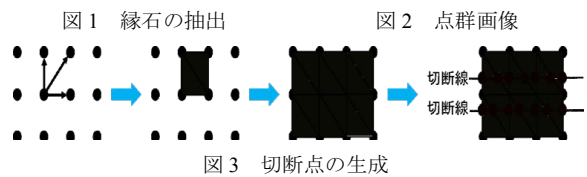
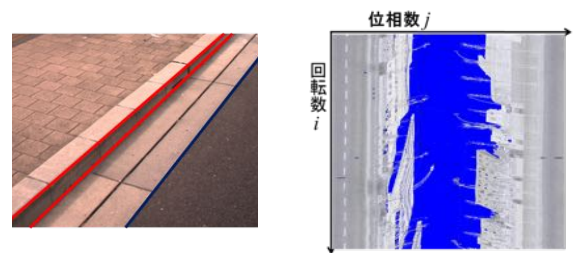


図 4 切断点による点群のアップサンプリング

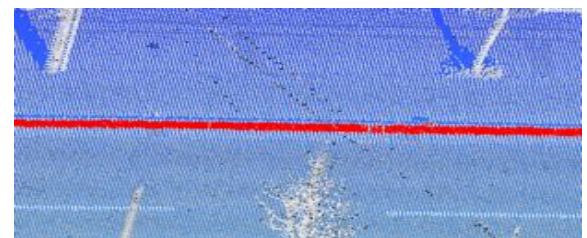


図 5 縁石の候補

4 に切断点として得られた点群を示す.

#### 3.2. 縁石の角点の検出

典型的な縁石は, 図 1 に示す様に, 上面, 下面, 垂直面の三つの平面から構成される. そこで, これらの平面を算出することで, 縁石の角点を算出する.

まず, 各断面の点群に対して, 走行軌跡からの距離が最も近い点 (車両の真下付近の点) をシード点にして, 路面の端の方向に断面点を走査していく. 縁石のある箇所では, 断面点の高さが車道よりも高くなっているため, 路面からの高さが閾値  $h$  よりも大きいとき, その点を縁石候補点群とする. 検出した縁石候補点群を赤色で図 5 に示す. なお, 本研究では  $h = 2.5\text{cm}$  とした.

その後、縁石候補点群の近傍点をグルーピングして縁石の候補点群を得る(図6)。この点群に対してRANSAC法に基づく面当てはめを施す。面当てはめの結果を図7に示す。

最後に、算出した平面から、縁石の角点を算出する。まず、隣接する平面間の交線を計算し、この交線と走行軌跡に垂直な面との間で交点を求めて、縁石の角点とする。各断面で連続的に求めた角点をエッジで結んだ様子を図8に示す。この図に示すように、角点が密に得られているため、道路がカーブしている場合であっても安定して縁石を算出することが可能である。

#### 4. 縁石の端点の抽出

##### 4.1. 反射強度を用いた縁石点群の抽出

図9に反射強度に基づいた点群画像を示す。このように、縁石部分は路面と比較して反射強度が高い傾向にある。そこで、本研究では、反射強度を用いて縁石領域の検出を行うことを考える。

そのために、図10に示すように、縁石付近の点群画像に対して2値化処理を施し、反射強度が高い部分を縁石領域として検出する。その際、200点以下で構成される細かい連結成分をノイズとして除去した。

##### 4.2. 縁石の端点の検出

縁石の角点と抽出した縁石領域から縁石の端点を求める。

はじめに、縁石の角点ごとに2次元距離が最も近い点を求める。算出した角点の真下の点を図11中の緑ピクセルで示す。これらの点をシード点にして、点群画像上を横方向(位相数の方向)に、縁石領域内を成長させていき、縁石領域の境界を探索する。ノイズの影響を考慮して、連続してN点欠落するまで領域を辿っていき、成長が終わった点を縁石の端点として抽出する。本研究では実験から $N = 4$ とした。本手法で抽出した縁石の端点をエッジで結んだ様子を図12に示す。

また、本手法では、縁石境界を算出していることから、図13のように、段差がない部分でも、縁石の端点を検出することで、縁石が連続して存在していることが確認できる。

#### 5. 評価実験

本研究では、広島市の市街地の約500mの計測データを用いて提案手法を検証した。今回の評価実験では、MMSから近い方の道路縁石を抽出対象とする。段差がある道路について、走行軌跡を2mおきに区切って検証を行った。1つの区間において縁石の角点と端点が1m以上検出できたら成功とした。その他の物体を検出した場合や検出に漏れが1m以上ある場合を失敗とした。市街地の約500mのうち、縁石がある距離は全部で約422mであった。表1に本手法の抽出結果を示す。

縁石の角点と端点の抽出率はそれぞれ95.3%と73.5%となった。端点の検出は、一部、道路境界ではない壁などの誤って抽出した例もあったものの、角点の抽出率は95%以上と良好な結果を得ることができた。端点の抽出については、落ち葉や水たまりが原因で、正確に縁石領域を推定できないとき、失敗するケースがしばしば見られた。

表1 縁石抽出の成功率

	成功率
縁石の角点	95.3%
縁石の端点	73.5%

#### 6. まとめと今後の展望

本稿では、ワイヤフレームの断面点を用いて、移動計測点群から道路縁石を安定的に検出する方法を示した。また、反射強度に基づく、縁石端点の検出方法も示した。

段差が低い車の進入箇所や横断歩道などの道路境界については、縁石領域の境界から道路境界を推定することができる。今後は、段差が低い部分に関しても、検出した縁石の前後関係から道路境



図6 縁石セグメント

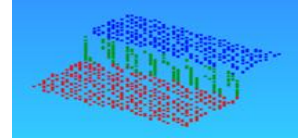


図7 面の当てはめ

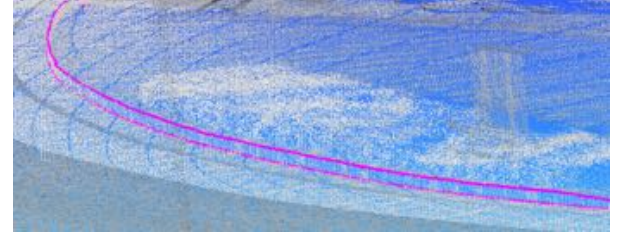


図8 縁石の境界線

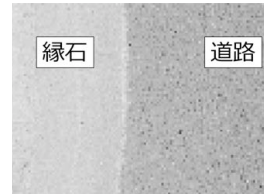


図9 縁石と道路の反射強度



図10 2値化処理の結果



図11 縁石の端点の探索

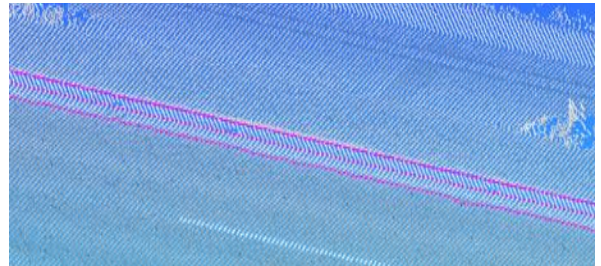


図12 縁石の端点を求めた結果

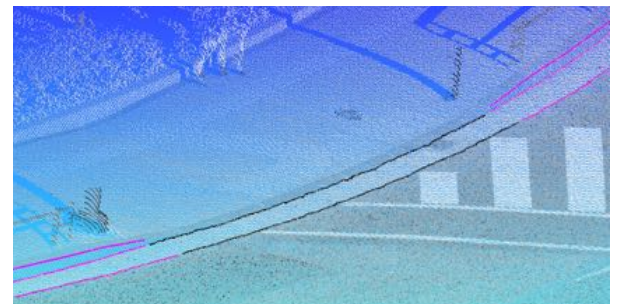


図13 段差がない箇所の道路境界の推定

界を検出する手法を実装する予定である。

#### 参考文献

- [1] 小平 圭祐, 増田宏: 移動計測データからのロバストなメッシュ生成手法, 平成28年度精密工学会秋季大会 2016