

# 機械学習を用いたガードレールの抽出と形状再構成

電気通信大学 ○松本 裕稀, 森 悠真, 増田 宏

## 1. 緒言

近年, 自動運転やインフラ保守の効率化などを目的として, 道路周辺地物のモデルを含んだ 3 次元地図に大きな関心を持たれている. 3 次元地図の作成には, 道路周辺地物の膨大な 3 次元情報が必要となる. 移動計測装置 (MMS, Mobile Mapping System) は道路周辺地物の 3 次元点群を短時間で広範囲に取得できるため, 3 次元地図を効率的に作成する手段として有望である.

道路周辺地物の中でも, ガードレールは車両と歩道を分離するために設置されるため, 自動運転の安全性の面でも 3 次元地図での重要度は高い. ガードレールは国土交通省により設置規格が規定されているが, その形状規格は規定されておらず, 地域によって様々な形状が存在する. したがって, 全国の 3 次元地図に対して同じ形状のテンプレートを当てはめることはできない.

MMS で取得した点群を用いて多様な形状のガードレールの 3 次元モデルを生成できることが望ましいが, MMS で取得した 3 次元点群は点の密度が低いため, ガードレールの点群を確実に抽出し, 忠実に形状再構成を行うことは難しい.

そこで本手法では, MMS を用いて取得した 3 次元点群について, 対応する画像を用いて物体認識を行うことでガードレールの点群を抽出する. また, 抽出された点群について, 同一形状のガードレールを重ね合わせることで点密度を上げ, 3D モデルを生成する手法を提案する.

## 2. 手法の概要

本手法では, レーザスキャナとカメラを搭載した MMS で計測された点群と画像を用いる. ガードレールの例を図 1 に示す.

最初にガードレールの点群の抽出を行う. ここでは, 森らの手法[1]を用いる. この手法では, 点群から道路を除去し, 地物の候補を抽出する. 次に, 図 2 に示すように, 地物の点群を走行軌跡に沿って平行に切断する. そして, 分割された点群をカメラ画像に投影し, 点群に対応する領域の画像を抽出する. 抽出された画像は, 機械学習器を用いて, ガードレールかどうかを識別される. ガードレールと判定された画像に対応する点群を, ガードレールの点群として抽出する.

次に, 抽出された点群を用いてガードレールのモデルを生成する. まずポール部分を検出し, 点群を基本単位ごとに分割する. 次に, それぞれの点群を 2 次元平面に投影した後, 点密度を上げるために, 重ね合わせる. そして, 2 次元平面上でスケルトンを抽出して, ガードレールの 2 次元モデルを生成する.

## 3. ガードレールの抽出

まず, MMS で取得した点群からガードレールの点群を抽出する. MMS で取得した点群は点密度が低く, また形状のパターンが多様であるため, 点群だけから安定してガードレールを抽出することは難しい. そこで, カメラ画像による機械学習を用いる.

まず, 点群から地面の除去を行う. 本研究で用いた点群データには走行軌跡が含まれているため, おおよそ地面の高さはわかっている. そこで, Z 座標が地面位置付近であり, 近傍点から算出される法線が Z 方向に近いとき, 地面点であるとして除去する.

MMS で取得された点群は, レーザスキャナの回転数とパルス

繰り返し周波数を用いて, 2 次元格子上に写像できることが知られている. そこで, 地面除去後の点群を 2 次元格子に写像し, 近傍を連結することで, 個々の地物に対応した連結なワイヤフレームモデルを生成する.

次に, 図 2 のように, 連結なワイヤフレームモデルを走行軌跡に沿って分割する. ここでは, 個々の分割された点群が, ガードレールであるかどうかを判定する. 本研究では, カメラとレーザスキャナの位置関係がわかっているので, 3 次元の点群を 2 次元画像上に投影することができる[1]. そこで, 図 2 のように分割された個々の点群を画像上に投影して, 点群が投影された領域のカ



図 1 ガードレールのカメラ画像

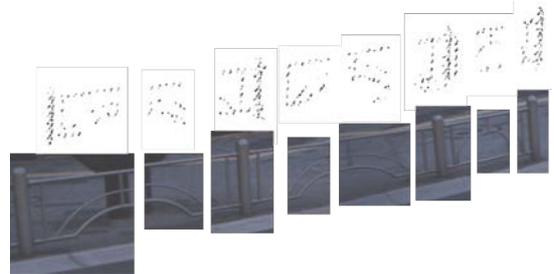


図 2 分割されたガードレールと対応する画像

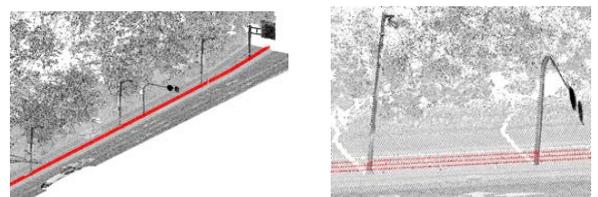


図 3 ガードレールに分類された点群

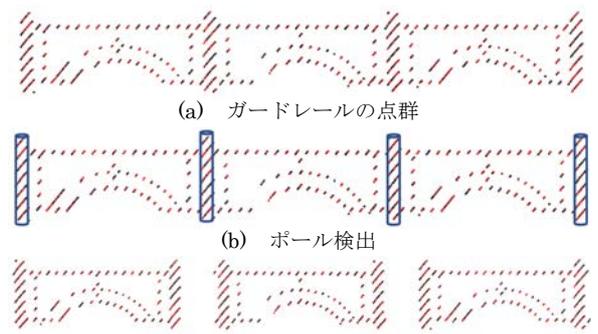


図 4 パターンごとの分割

メラ画像を切り出す。

点群がガードレールであるかの判定は、対応する画像を用いて行う。ここでは、あらかじめガードレールの画像を学習させた Convolutional Neural Network (CNN) を用いた。

図 3 に、ガードレールと判定された点群を示す。ここでは、地物が複数の領域に分割されているので、各地物ごとに得票率の高いものを分類結果とする。なお、ガードレールとして認識された点群には、ガードレール以外の点群が含まれることがある。そこで、ガードレールと形状が大きく異なる点群を除外する。また、ガードレールとして認識された小領域が十分な長さで連結していない場合には、誤認識として除外する。

#### 4. ガードレールの形状再構成

##### 4.1. パターンごとの分割

一般に、ガードレールには基本単位となるパターンが存在し、それらを垂直なポールを介して複数連結させている。図 1 の例では、基本単位となるデザインが細いパイプから構成され、それらが垂直なポールで規則的に連結されている。ここでは、ガードレールの点群を基本単位ごとに分割する。ポール部分は比較的太い円柱なので、既存の柱状物体検出手法[2]によって検出可能である。そこで、検出されたポールを基準として、基本単位への分割を行う。図 4 にポール検出によって基本単位に分割された点群を示す。

##### 4.2. 点群の位置合わせ

個々の基本単位の点群は点密度が低いため、細いパイプの形状を正確にモデリングすることは困難である。そこで、複数の基本単位の点群を重ね合わせることで点密度を高くすることを考える。

ここでは、それぞれの点群から算出した最小 2 乗平面に投影した 2 次元の点群を用いる。ここでは、地面に水平方向の軸を  $x$  軸、垂直方向の軸を  $y$  軸とする。2 次元の点群の位置合わせでは、剛体レジストレーションである ICP (Interactive Closest Points) を用いる。点数の多い基本単位の点群を基準として、他の点群の位置合わせを行う。図 5 は、6 個の基本単位を重ね合わせたものである。この例のように、個々の基本単位の点群密度は低くても、重ね合わせを行うことで、点密度の高い点群を得ることができる。

##### 4.3. 地面に垂直なパイプのモデル化

地面に垂直なパイプのモデル化を考える。まず、投影された点群について、縦軸を点数、横軸を  $x$  座標としたヒストグラムを作成する。作成されたヒストグラムを図 6 上に示す。図からわかるように地面に対して垂直なパイプでは、点数が多くなる。よって点数が閾値を超えている  $x$  の範囲を算出し、図の赤い範囲で示す。最後に、各範囲において、その中点を中心軸が通り、直径がその範囲になるように円柱を生成し、地面に対して垂直なパイプのモデルをとす。生成したモデルを図 6 下に示す。

##### 4.4. 地面に垂直でないパイプのモデル化

位置合わせ後の点群から、地面に垂直なパイプに用いた点は、除去する(図 7 左上)。残った点群を用いて地面に垂直でないパイプのモデル化を考える。まず、点群を  $x$  軸について等間隔に分割する。次に分割されたそれぞれの点について、ドロネー三角形分割を用いる。そしてそれぞれの点の集合ごとに重心を算出し、それらをパイプの中心軸上の点とする(図 7 右上)。これらの点を順につなぎ、平滑化処理を施す(図 7 左下)。最後にそれらの点を用いて一般化円筒を生成することによって、地面に垂直でないパイ

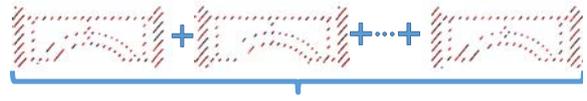


図 5 位置合わせ後の点群

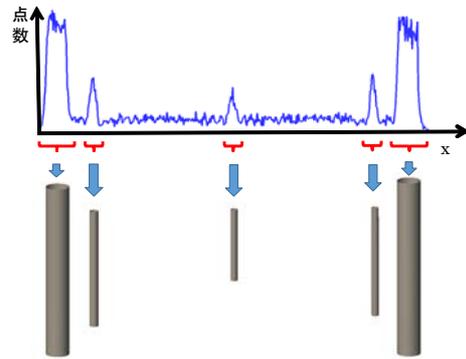


図 6 地面に垂直なパイプのモデル化

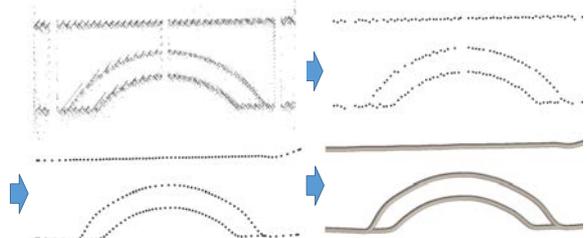


図 7 地面に垂直でないパイプのモデル化



図 8 生成されたガードレールのモデル

プのモデルを生成する。生成されたモデルは図 7 右下のようになる。最後に、地面に垂直なパイプのモデルとマージすることによって、ガードレールの最小単位のモデルとする。実際のガードレールは複数個連なっているので、複数個繋げることによって図 8 のようなガードレールのモデルを生成することができる。

#### 5. 結言

本研究では、MMS を用いて取得した点群から、画像の機械学習を用いることでガードレールの点群を抽出し、また、複数のガードレールを重ね合わせることでモデルを生成できることを示した。

今後は、生成されたガードレールのモデルと実物との比較を行い手法の評価を行なう。また、様々な形状のガードレールのモデルを安定して生成できるように手法の改良を行なっていく。

#### 参考文献

- [1] 森悠真, 増田宏: 機械学習を用いた道路周辺地物の自動抽出, 精密工学会春季講演会(2018)
- [2] K. Fukano, H. Masuda, "Detection and Classification of Pole-Like Objects from Mobile Mapping Data," Laser Scanning 2015, pp.57-64 (2015)