原著論文

完成平面図を用いた道路面地物の 点群データの抽出に関する研究†

中村 健二*1・塚田 義典*2・田中 成典*3・梅原 喜政*4・中畑 光貴*5

近年、レーザ計測技術の発達に伴い、点群データ等の3次元情報の利活用に関する取り組みが盛んである。道路分野に着目すると、路面性状調査や柱状物体の変状検出に点群データが広く活用されている。これらの業務では、解析対象となる道路地物を区別する必要があるが、点群データには様々な道路地物が混在している。そのため、点群データから道路地物を識別する技術が求められている。既存研究では、道路面地物とその他の点を大別することで高精度に道路地物を抽出する手法が提案されている。しかし、標高値の低い点を道路面の基準としているため、道路面に立体交差や連続的な勾配変化がある場合に、正しく道路面の点群データを抽出できない課題がある。そこで、本研究では、完成平面図を用いて車道部の標高を推定し、高精度に道路面地物の点群データを抽出する手法を提案する。

キーワード：道路、完成平面図、道路面地物、点群データ、地物抽出

1. はじめに

近年、レーザ計測技術の発展に伴い、地物を3次元で把握可能な機器が盛んに開発されている。国土交通省では、それらの機器を活用し、建設現場の生産性向上を目指すi-Construction [1, 2] を推進している。中でも、道路分野では、Mobile Mapping System（以下、MMS）や地上設置型レーザスキャナ（以下、TLS）、UAV 写真測量により取得した点群データに注目が集まっている。点群データは、自動運転のための道路基盤地図の生成 [3]、路面性状の調査 [4]、道路付帯構造物の点検 [5] や図面のない橋梁のモデル生成 [6] に用いられる等、その利用価値は高い。しかし、道路空間には様々な地物が混在するため、路面性状調査であれば車道部の点群データのみを抽出する等の点群データの取捨選択が必要である。この作業には、点群データを処理するためのソフトウェア [7] が必須であり、人手での作業を要する課題 [8] がある。そのため、点群データの効率的な運用を目的として、道路空間全体の点群データから特定の道路地物の点群データを自動抽出する手法が提案 [9–16] されている。

機械学習を用いた既存手法 [9–12] では、道路地物を識別するために、道路地物毎の教師データとなる点群データを用意して特徴を学習している。しかし、膨大な点群データから精度を担保するためには、質の高い教師データを用意する必要があり、相応の時間を要する。幾何形状の特徴に着目して道路地物を抽出する手法 [13–15] は、単一の構造物を対象としたアルゴリズムであるため、構造物の種類が増加するたびに新たなアルゴリズムを考案する必要がある。包括的に複数の地物を点群データから抽出することができない。そこで、これらの課題に対応するために、道路工事完成図等作成要領 [17] に準拠した完成平面図に着目し、学習データに依存すること無く、道路地物の点群データを高精度に抽出する手法 [16] が提案されている。しかし、既存手法 [16] では、標高値の低い点を道路面の基準とみなし、それら道路面の点を抽出しているため、道路面が立体交差する場合や、連続的な勾配変化がある場合に、正しく道路面の点群データを抽出できない課題がある。そこで、本研究では、既存手法 [16] の課題を解消し、道路面地物の点群データの高精度な抽出手法を検討することで、既存手法 [16] の高精度化を目指す。本研究により既存手法 [16] を高精度化できれば、点群データから道路地物を適確に抽出でき、道路舗装の性状調査や法面のはらみ出し点検等の各道路地物に着目した運用が可能となる。

まず、2章にて、道路面の抽出に関する既存研究について、その特徴や課題点を整理し、3章にて、それらの課題に対応する手法を提案する。次に、4章～6章にて、提案手法の詳細を説明する。そして、7章にて、提案手法の有用性の評価実験を実施し、最後に、8章にて、本研究を総括する。

2. 道路面の抽出に関する既存研究

点群データから道路面を抽出するアルゴリズムとして、Cloth Simulation, グリッド法, ローラー法, 領域拡張法が提案 [18–21] されている。

Cloth Simulation [18] は、標高値を反転させた点群データに、

† Research for Extracting Point Cloud Data Related to Road Surface Features Using Plan of Completion Drawing

Kenji NAKAMURA, Yoshinori TSUKADA, Shigenori TANAKA, Yoshimasa UMEHARA, and Koki NAKAHATA

*1 大阪経済大学情報社会学部

Faculty of Information Technology and Social Sciences,
Osaka University of Economics

*2 摂南大学経営学部

Faculty of Business Administration, Setsunan University

*3 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

*4 関西大学先端科学技術推進機構

Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology, Kansai University

*5 関西大学大学院総合情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kansai University

図1 既存手法の課題

一定の剛性を持った布を被せ、布から一定距離の点を道路面として抽出する手法である。本手法は、図面を用いた既存手法 [16] で採用されている。しかし、図 1 上に示すとおり、道路面が立体交差する場合、高架道路の下に位置する道路面で布が遮られ、高架道路の点群データが抽出できない。また、図 1 下に示すとおり、道路面に連続的な勾配変化がある場合、布が持つ剛性により道路面を布が追従できない。以上のように、Cloth Simulation は、道路面が立体交差する場合や、道路面に連続的な勾配変化がある場合に、正しく道路面の点群データを抽出できない課題がある。

グリッド法 [19] は、点群データ上にグリッドを生成し、そのグリッド内に含まれる点の最下点を抽出する手法である。本手法は、単一のグリッド毎に最下点を抽出するため、隣接するグリッドに影響されず、勾配変化のある道路面においても適用できる。さらに、処理が単純であるため、膨大な点群データの処理に適している。しかし、最下点を抽出するため、道路面が立体的に交差している場合、下部の道路面の点群データは抽出できるが、上部の道路面の点群データは抽出できない。また、グリッドで点を間引くため、対象形状の再現性が低下する問題がある。

ローラー法 [20] は、点群データに対して、下側から円筒状のローラーを接するように回転させ、ローラーが接した点を抽出する手法である。本手法は、固定径のローラーを回転させて、点群データを抽出するため、連続的な勾配変化のある道路面においても対応できる特徴がある。しかし、グリッド法と同様に、下側からローラーを当てるため、道路面が立体交差する

表1 道路工事完成図等作成要領に示される道路地物

分類	地物	
道路面地物	・車道部	・路面電車停留所
	・歩道部	・自転車駐車場
道路面以外を構成する地物	・車道交差部	・自動車駐車場
	・踏切道	・島
その他	・軌道敷	
	・植栽	・盛土法面
道路面以外を構成する地物	・区画線	・切土法面
	・停止線	・斜面对策工
その他	・横断歩道	・擁壁
	・地下横断歩道	・橋梁
その他	・建築物	・トンネル
	・橋脚	・シェルター
その他	・ボックスカルバート	・シェッド
		・横断歩道橋
その他	・道路中心線	・管理区境界
	・距離標	・測点

場合に対応できない。

領域拡張法 [21] は、標高値の変化が一定値以下である隣接点を繰り返し探索する手法である。本手法は、探索の開始点を 1 点指定することで、その 1 点と地続きの平面領域を拡大しながら抽出するため、道路面が合流している限り立体交差や勾配変化に対応できる。しかし、縁石等の段差がある場合は、標高値が大きく変化するため、適切に道路面を抽出することが難しい。

以上のように、既存研究をそのまま活用した手法では、標高値の低い点を基準とみなすため、「道路面が立体交差する場合の課題」と「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」があることがわかった。そこで、本研究では、これらの課題を解消し、点群データから高精度に道路面を抽出し、道路面地物毎に分割する手法を開発する。

3. 研究概要

3.1 研究目的

本研究では、既存研究の「道路面が立体交差する場合の課題」と「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」を解消し、道路面の点群データを高精度に抽出する手法の確立を目的とする。そして、既存研究 [16] を参考に、完成平面図中の幾何情報に基づいて道路面地物を抽出することで高精度化を図る。なお、本研究で対象とする道路は、直轄国道で、さらに、過年度に道路工事等が行われており、道路工事完成図等作成要領 [17] に準拠した完成平面図が存在することとする。本研究により、道路面地物を正確に抽出できることで、既存研究 [16] における道路地物の推定精度の向上が期待できる。

3.2 道路面地物の点群データ抽出方策

本研究では、点群データから各道路面地物を構成する点群データのみを適切に抽出するために、道路工事完成図等作成要領で示される道路面地物に着目する。この要領で定義されている道路地物の分類を表 1 に示す。本研究では、表 1 に示される道路面地物を対象として、点群データの分類方針を検討した。

まず、道路面地物が含まれる道路面の点群データを抽出する。次に、道路面の点群データと道路工事完成図書の完成平面図とを重畳し、完成平面図に含まれる道路面地物の幾何情報を用いて点群データを抽出する。最後に、本手順で抽出されなかった点群データを道路面地物以外の点群データとして分類する。

3.3 課題への対応方針

3.3.1 道路面が立体交差する場合の課題

図1上に示すとおり、既存手法では、道路面が立体交差する場合、下部の道路面の点群データが影響して、上部の道路面の点群データが正常に抽出されないことがわかった。そこで、本研究では、道路面が存在する標高値を点群データから推定する。そして、推定した標高値未満の点を除去した点群データを対象として、Cloth Simulation を用いて道路面の点群データを抽出する。本研究では、本手順を推定した道路面の標高値すべてに対して繰り返し実施することで、道路面が立体交差する環境においても、様々な標高にある道路面を正確に抽出する。

3.3.2 道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題

図1下に示すとおり、既存手法では、道路面に連続的な勾配変化がある場合、Cloth Simulation の布が標高値の低い点の影響を受けて、標高値の高い点の抽出漏れが生じることがわかった。そこで、本研究では、点群データの標高値の変化が単一の道路面地物内で生じており、第3.3.1項において推定する道路面の標高値を複数特定すれば、標高値の高い点の抽出漏れを防止できることに着目する。まず、道路面地物の外形線とともに、完成平面図に記述されている道路中心線を取得する。そして、道路中心線に対する垂線を一定間隔で生成し、道路面地物の外形線を区切る。これにより、単一の道路面地物に連続的な勾配変化がある場合においても、複数の推定標高値により道路面の点群データを抽出する。

3.4 処理の流れ

本提案手法は図2に示す通り、外形線データ抽出機能、道路面を構成する点抽出機能、道路面地物抽出機能により構成される。入力データは、全体の点群データと道路工事完成図等作成要領に準拠した完成平面図とし、出力データは、道路面地物の点群データとする。

外形線データ抽出機能では、道路工事完成図等作成要領の仕様に基づき、完成平面図の2次元CADデータから道路面地物の外形線データを抽出する。道路面を構成する点抽出機能では、道路面地物の外形線データに基づいて点群データの標高値を確認することで、道路面の標高値を取得する。そして、道路面の標高値周辺の点を抽出することで、点群データから道路面を構成する点と道路面以外を構成する点に分離する。道路面地物抽出機能では、道路面地物の外形線データと道路面を構成する点とを重畳することで、道路面地物の点群データを抽出する。

以上の通り、本提案手法では、道路面を構成する点抽出機能において、完成平面図の外形線データに基づいて道路面が存在する標高値を推定し、その標高値を参照して点群データを道路

図2 処理フロー

面とそれ以外に分離する。そして、道路面地物抽出機能において、推定した道路面の標高値に基づいて正しく道路面地物の点群データを抽出する手法を提案する。これにより、既存研究の「道路面が立体交差する場合の課題」と「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」を解消する。

4. 外形線データ抽出機能

本機能は、完成平面図の2次元CADデータから、道路面地物 $FEATURE = \{feature_1, feature_2, feature_3, \dots, feature_i\}$ (ただし、 $feature_i$ は任意の道路面地物) の外形線データ $OL_i = \{ol_{(i,1)}, ol_{(i,2)}, ol_{(i,3)}, \dots, ol_{(i,j)}\}$ (ただし、 $ol_{(i,j)}$ は任意の外形線データ) と道路中心線 olc を抽出する。道路工事完成図等作成要領では、基本地物の30地物のうち9種類が道路面地物として定義されている。完成平面図は、地物単位でレイヤに分割した2次元CADデータである。そのため、完成平面図を解析することによって、地物毎に2次元的な幾何形状を外形線データとして取得する。

5. 道路面を構成する点抽出機能

本機能は、入力データである点群データを外形線データに基づいて解析することで、道路面を構成する点と道路面以外を構成する点に分割する。本機能では、以降に詳述する処理を道路面地物 $feature_i$ 毎に実施することで、「道路面が立体交差する場合の課題」と「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」を解消する。

5.1 道路面の標高値推定処理

本処理では、入力データである点群データ $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_k\}$ (ただし、 p_k は任意の点) から外形線デー

図3 道路面の標高値推定処理

タを用いて道路面の標高値を推定する。まず、図3中①に示す通り、外形線データ $ol(i,j)$ のZ座標値を0として設定し、外形線データ $ol(i,j)$ と点群データ p_k を重畳する。次に、外形線データ $ol(i,j)$ を無限の高さを持つ領域として生成し、その領域内に存在する点 $Prect_i = \{p_{rect(i,1)}, p_{rect(i,2)}, p_{rect(i,3)}, \dots, p_{rect(i,l)}\}$ (ただし、 $p_{rect(i,l)}$ は任意の点) を抽出する。次に、抽出した点 $p_{rect(i,l)}$ には、道路上にある車や柱状物体等の人工構造物が含まれているため、図3中②に示す通り、各点 $p_{rect(i,l)}$ について、法線ベクトルとZ軸のなす角 $angle(i,l)$ を確認し、閾値 T_{angle} 以上の点を人工構造物として除去する。次に、図3中③に示す通り、点群データ $Prect_i$ に対してユークリッド距離に基づいた3次元ラベリングを行い、点群データにラベル $Plabel_i = \{plabel(i,1), plabel(i,2), plabel(i,3), \dots, plabel(i,m)\}$ (ただし、 $plabel(i,m)$ は任意のラベル) を付与する。次に、図3中④に示す通り、最も大きいラベルを保持する点群データ $Pbig_i = \{pbig(i,1), pbig(i,2), pbig(i,3), \dots, pbig(i,n)\}$ (ただし、 $pbig(i,n)$ は任意の点) を取得する。最後に、図3中⑤、⑥に示す通り、点群データ $pbig(i,n)$ を道路中心線 olc に対して垂直に一定間隔で分割し、それぞれの最下点のZ座標値を道路面の標高値 $GZ_i = \{gz(i,1), gz(i,2), gz(i,3), \dots, gz(i,o)\}$ (ただし、 $gz(i,o)$ は任意の標高値) として取得する。

5.2 道路面の候補点取得処理

本処理では、図4に示す通り、道路面を構成する点を抽出するために、その候補となる点を取得する。まず、外形線データ $ol(i,j)$ と点群データ p_k を重畳する。次に、閾値 T_{length} 分だけ外形線データ $ol(i,j)$ の領域を拡大する。そして、外形線データ $ol(i,j)$ のZ座標値に0を設定し、無限の高さを持つ領域として

図4 道路面の候補点取得処理

図5 道路面を構成する点の抽出処理

生成する。最後に、その領域内に存在する点群データ p_k を道路面の候補点 $CP_i = \{cp(i,1), cp(i,2), cp(i,3), \dots, cp(i,q)\}$ (ただし、 $cp(i,q)$ は任意の点) として取得する。

5.3 道路面を構成する点の抽出処理

本処理では、点群データ CP_i を対象として、道路面の標高値 GZ_i に基づいて道路面を構成する点 $RP = \{rp_1, rp_2, rp_3, \dots, rp_r\}$ (ただし、 rp_r は任意の点) を抽出する。まず、図5中①に示す通り、道路面の標高値 $gz(i,o)$ を昇順にソートする。次に、それら標高値 $gz(i,o)$ の数だけ以下の処理を繰り返し実行する。最後に、道路面を構成する点 rp_r として判定されなかった点 $cp(i,q)$ を道路面以外の点 $NRP = \{nrp_1, nrp_2, nrp_3, \dots, nrp_s\}$ (ただし、 nrp_s は任意の点) とする。

STEP1:

点群データ $cp(i,q)$ のZ座標値を確認し、道路面の標高値 $gz(i,o)$ 以下の点を除去 (図5中②)

STEP2:

Cloth Simulation を用いて道路面付近の点 $CPcand_i = \{cpcand(i,1), cpcand(i,2), cpcand(i,3), \dots, cpcand(i,t)\}$ (ただし、 $cpcand(i,t)$ は任意の点) を取得 (図5中③)

図6 標高値フィルタリング処理

STEP3:

ユークリッド距離に基づいた3次元ラベリング処理を行うことで、点群データ $cpcand_{(i,t)}$ にラベル $Cplabel_i = \{cplabel_{(i,1)}, cplabel_{(i,2)}, cplabel_{(i,3)}, \dots, cplabel_{(i,u)}\}$ (ただし、 $cplabel_{(i,u)}$ は任意のラベル) を付与 (図5中④)

STEP4:

外形線データ $ol_{(i,j)}$ の領域に1点も含まれないラベル $cplabel_{(i,u)}$ の点群データ $cpcand_{(i,t)}$ を除去することで、構造物の混入を防止 (図5中⑤)

STEP5:

残った点群データを道路面の点 rp_r として追加 (図5中⑥)

6. 道路面地物抽出機能

本機能は、道路面を構成する点から道路面地物の点群データを抽出する。本機能では、以降に詳述する処理を道路面地物 $feature_i$ 毎に実施する。

6.1 道路面地物抽出処理

本処理では、道路面を構成する点 rp_r を入力データとして、外形線データ $ol_{(i,j)}$ を用いて、道路面地物の点群データ $ROP_i = \{rop_{(i,1)}, rop_{(i,2)}, rop_{(i,3)}, \dots, rop_{(i,v)}\}$ (ただし、 $rop_{(i,v)}$ は任意の点) を抽出する。まず、道路面地物の外形線データ $ol_{(i,j)}$ のZ座標値に0を設定し、点群データ rp_r と重畳する。次に、外形線データ $ol_{(i,j)}$ に無限の高さを持たせる。最後に、その領域内に含まれる点群データ rp_r を道路面地物の点群データ $rop_{(i,v)}$ として抽出する。

6.2 標高値フィルタリング処理

本処理では、混在した立体交差等の点を除去するために、抽出した道路面地物の点群データ $rop_{(i,v)}$ に対して標高値に基づいたフィルタリング処理を行う。まず、図6に示す通り、道路面の標高値推定処理にて算出した道路面の標高値 $gz_{(i,o)}$ の最低値 $gzmin_i$ と最高値 $gzmax_i$ を定義する。そして、道路面地物の点群データ $rop_{(i,v)}$ の中から標高値が $gzmin_i$ から $(gzmax_i + T_{height})$ の範囲外の点を除去する。

7. 実証実験

本実験では、提案手法により既存手法の課題を解消し、道路面地物を適確に抽出できているかを検証するため、提案手法と既存手法を用いて抽出した道路面地物と手作業で作成した正解データとを比較し、評価する。既存手法としては、図面を用い

た既存手法 [16] を採用する。また、提案手法の適用限界の分析を通じ、今後の研究につながる課題を明らかにする。なお、本実験で利用する点群データは、実験現場の環境を限なく計測するために TLS を複数位置に設置して計測された点群データを利用する。

7.1 実験条件

本実験では、表2に示すとおり、道路面に立体交差や連続的な勾配変化のある現場を含めた5地点を対象に計測を行った。高島市については、立体交差した現場であるが、高架道路や法面が隣接しており、道路面に連続的な勾配変化が見られた。そこで、本研究では、下道の点群データを手動で除去したデータを実験対象として追加することで、勾配変化のある現場における提案手法の有用性を確認する。計測には、TLS である FARO 社の Focus3D X330 [22] を採用した。TLS で計測した点群データは、座標系がローカル座標系となっており、複数地点から計測した点群データを重畳するためには位置合わせが必要となる。そこで、PENTAX 社の GNSS 機器 G3100-R2 [23] を用いて、特徴的な点の座標値を基準点として計測し、これらの基準点を用いて複数地点から計測した TLS の点群データをグローバル座標系に変換して重畳した。なお、本作業は、グローバル座標系で計測が可能な機器や MMS を用いた場合は省略が可能である。計測結果を図7に示す。また、本研究では各計測現場にて作成された完成平面図に基づいて外形線データを抽出する。

7.2 実験方法

本研究で想定する利用場面である道路舗装 [24] や道路土工 [25] では、点群データでの地物の再現密度として、10 cm 四方で1点以上が求められる。各現場の点群密度を確認すると、すべての現場で要求密度を満たしていることがわかった。そこで、本研究では、それらの点群データからどの程度地物の点群データを適確に抽出できるかを確認する。具体的には、既存手法と提案手法を用いて道路面地物の点群データを抽出し、それらを正解データと比較することで、道路面地物の抽出精度を確認する。正解データは、点群データを可視化するアプリケーション [7] を用いて、該当領域の完成平面図と見比べながら手作業で道路面地物の点群データを切り出した。

また、本実験では、正解データに対して、提案手法や既存手法で抽出した点群データを対比し、適合率、再現率、F 値の3つの値を算出することで、道路面地物の抽出精度を評価する。適合率は、システムの正確性の割合を示し、再現率は、システムの網羅性を示す。F 値は、適合率と再現率の調和平均により算出され、適合率と再現率の両方を同時に評価するための指標として一般に用いられる。例えば、適合率は、提案手法で車道部として抽出した点が、どの程度正解データでも車道部として抽出されているかを示す。再現率は、正解データが車道部として抽出している点の内、どの程度提案手法でも車道部として抽出できているかを示す。F 値は、適合率と再現率のどちらかだけが低い状況では低下し、両方の値が高い時のみ増加する。適合率だけが低い場合、誤った点を車道部として抽出している割

表 2 実験現場

区分	名称	場所	工事名称	図面に含まれる 道路路面地物	計測結果の 平均点群密度 (点/10cm ²)
平坦	城陽市	京都府城陽市寺田金尾付近	国道 24 号金尾交差点改良舗装他工事	車道部, 歩道部, 車道交差部	7.43
	堺市歩道橋付近	大阪府堺市堺区宿院町西付近	国道 26 号宿院地区舗装修繕工事	車道部, 歩道部	7.10
	堺市軌道敷付近			歩道部, 車道交差部, 軌道敷	11.83
立体交差	堺市橋梁付近			車道部, 歩道部, 車道交差部	12.77
勾配変化	高島市	滋賀県高島市安曇川町青柳付近	国道 161 号青柳北地区舗装他工事	車道部, 車道交差部	10.74
	高島市 (下道除去)			車道部	13.83

図 7 計測結果

合が高く、再現率だけが高い場合、本来車道部として抽出すべき点を抽出できていない割合が高い。そのため、システムの精度を評価するには、適合率と再現率の両方を確認する必要がある。そこで、本研究では、F 値を算出することで、適合率と再現率の両方が高いことを確認する。

7.3 実験パラメータ

本実験では、提案手法のパラメータとして、Cloth Simulation に関するパラメータ、 T_{angle} 、 T_{length} と T_{height} を設定する。なお、本研究において設定するパラメータ値の妥当性の評価は今後の課題とする。

• Cloth Simulation に関するパラメータ

本パラメータは、道路面の点を抽出する際に用いる Cloth Simulation に関する値である。この値は、既存研究 [16] の知

表 3 Cloth Simulation のパラメータ

パラメータ項目	入力値
Scene	Flat
Cloth Resolution	0.2
Max Iteration	500
Classification Threshold	0.5
Slope Processing	False

見を参考にして、表 3 に示す値を用いる。

• パラメータ T_{angle}

本パラメータは、道路面の標高値推定処理にて、構造物の点を除去する際の値である。この値は 30 度と設定する。

• パラメータ T_{length}

本パラメータは、道路面を構成する点の抽出処理にて、外形

表 4 実験結果

区分	名称	地物名	既存手法			提案手法			差分
			適合率	再現率	F値	適合率	再現率	F値	
平坦	城陽市	車道部	0.82	0.93	0.87	0.83	0.93	0.88	<u>0.01</u>
		歩道部	0.91	1.00	0.95	0.91	1.00	0.95	0.00
		車道交差部	0.91	0.98	0.94	0.91	0.98	0.94	0.00
	堺市歩道橋付近	車道部	0.89	1.00	0.94	0.88	0.99	0.94	0.00
		歩道部	0.68	0.99	0.81	0.65	0.99	0.79	-0.02
	堺市軌道敷付近	歩道部	0.81	0.78	0.79	0.81	0.78	0.80	<u>0.01</u>
		車道交差部	0.92	0.90	0.91	0.92	0.90	0.91	0.00
		軌道敷	0.65	0.82	0.72	0.65	0.82	0.72	0.00
立体交差	堺市橋梁付近	車道部	0.88	0.72	0.79	0.90	0.85	0.88	<u>0.09</u>
		歩道部	0.79	0.85	0.82	0.79	0.84	0.82	0.00
		車道交差部	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	<u>0.01</u>
	高島市	車道部	0.89	0.82	0.85	0.91	0.92	0.92	<u>0.07</u>
		車道交差部	0.82	0.92	0.87	0.82	0.92	0.87	0.00
勾配変化	高島市（下道除去）	車道部	0.35	0.14	0.20	0.73	0.91	0.81	<u>0.61</u>

図 8 可視化結果

線データの拡張幅を示す値である。この値は、実験データである点群データと完成平面図との位置関係を確認し、その位置ずれの大きさから 0.5 m と設定する。

・パラメータ T_{height}

本パラメータは、標高値フィルタリング処理にて、道路面の標高値の最大値に加算する値である。この値は、Cloth Simulation の Classification Threshold の値に加え、布の沈み込みを考慮し、1.0 m と設定する。

7.4 結果と考察

実験結果を表 4 に示す。なお、表 4 中の差分について精度が向上した地物を下線で示す。また、抽出した道路面地物の可視化結果を図 8 に示す。本実験結果から次の 4 点が明らかとなった。

(a) 平坦な現場では既存手法と同等の精度であることがわかった

表 4 を確認すると、平坦な現場である城陽市、堺市歩道橋付近と堺市軌道敷付近の F 値において、差分は平均 0.00 ポイントとなり、既存手法と同等の数値であった。また、図 8 を確認すると、提案手法と既存手法とで、可視化結果に変化は見られなかった。これらのことから、提案手法は、平坦な現場において既存手法と同様の抽出結果が得られることがわかった。

(b) 立体交差がある現場においては、精度が向上することがわかった

表 4 を確認すると、立体交差がある現場の高島市、堺市橋梁付近の F 値において、車道部は平均 0.08 ポイント向上した。堺市橋梁付近を確認すると、図 9 に示す通り、既存手法では Cloth Simulation の布が橋梁下部に存在する点（図 9 中赤枠）

図9 堺市橋梁付近の例

図10 高島市の車道部の例

に妨げられ、橋梁中心付近の点の取得に失敗している。一方で、提案手法では、橋梁中心付近の点（図9中緑枠）の取得に成功している。また、高島市を確認すると、図10に示す通り、既存手法では、Cloth Simulationの布が高架道路まで届かなかったため点の抽出漏れ（図10中赤枠）が生じていた。一方、提案手法では、道路面の標高値に基づいて道路面地物を抽出することで、高架道路の点（図10中緑枠）の取得に成功している。これらのことから、提案手法は、「道路面が立体交差する場合の課題」を解消できることがわかった。

(c) 連続的な勾配変化のある現場においては、精度が向上することがわかった

表4を確認すると、連続的な勾配変化がある現場の高島市（下道除去）のF値において、車道部は0.61ポイント向上した。各手法で取得した点群データを確認すると、図11に示す通り、既存手法では、道路面の連続的な勾配変化にCloth Simulationの布の剛性が追従できず車道部の抽出漏れ（図11中赤枠）が生じていた。一方、提案手法では、道路面を一定間隔に区切る

ことで、連続的な勾配変化の影響を最小限に抑え、車道部の取得に成功（図11中緑枠）している。このことから、提案手法は「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」を解消できることがわかった。

(d) 点群データと完成平面図との間にズレが生じている問題が明らかとなった

図8を詳細に確認すると、点群データと完成平面図との間にズレが生じていることが明らかとなった。ズレが生じている例を図12に示す。図12左に示す通り、点群データ上の地物が完成平面図とは異なる位置に存在していることがわかる。また、図12右に示す通り、設置位置毎の点群データ同士にもズレが生じていることがわかる。これらは、レーザやGNSSの測量誤差、各点群データの位置合わせ誤差等が累積したことによるものである。以上のように、点群データは外形線データに対して計測位置毎のズレが発生しており、精度低下の要因となっていることがわかった。このことから、道路地物の点群データの抽出精度を向上するためには、ズレが生じている各計

図 11 高島市（下道除去）の車道部の例

図 12 ズレの確認結果

測位置の点群データの位置合わせ技術と、点群データと図面の間に生じているズレを補正する技術が必要不可欠であることがわかった。計測位置毎のズレへの対応としては、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム [26] を用いて点群データの位置を合わせることで対応できると考えられる。また、図面とのズレへの対応としては、基準となる地物を定義し、その地物の外形線データと点群データとを比較する。そして、比較して得られたズレ量に基づいて点群データを移動することで対応できると考えられる。

8. おわりに

本研究では、図面を用いた既存研究 [16] における道路地物の抽出精度の向上を目的として、立体交差や連続的な勾配変化

のある地点において、点群データから道路面地物を高精度に抽出する手法を提案した。提案手法では、完成平面図に基づいて道路面の標高値を推定し、その標高値に従って道路面地物の点群データを抽出することで、既存研究の「道路面が立体交差する場合の課題」と「道路面に連続的な勾配変化がある場合の課題」を解消している。そして、実証実験により、提案手法の有用性が示された。本研究により、高架道路や橋梁のような標高値に変化のある環境に囚われることなく、様々な環境にて点群データから道路面地物を抽出できるため、点群データの運用効率の向上に寄与できると考えられる。

しかし、実験結果から、各計測位置の点群データと完成平面図の外形線データについてズレが生じる課題が明らかとなった。そこで、今後は、各計測位置の点群データの位置を合わせ

る技術や図面とのズレを補正する技術の開発を行い、道路地物の抽出精度を改善する予定である。また、本実験では、設定した実験パラメータの妥当性の評価が不十分である。そこで、今後は、各パラメータについて、詳細なパラメータ検証を実施し、適切な設定値を評価する予定である。

謝辞

本研究（又は本研究の一部）は、新都市社会技術融合創造研究会の研究助成「道路事業における3次元データの利活用に関する研究」、2018年度関西大学学術研究員研究費、及びJSPS科研費JP18H01563の助成を受け実施した。ここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 国土交通省, ICTの全面的な活用: http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html [accessed Dec. 10, 2018]
- [2] 国土交通省, i-Construction: <http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> [accessed Dec. 10, 2018]
- [3] 原孝介, 斎藤英雄: “勾配画像処理に基づく3次元点群からの高精度地図の自動生成,” 自動車技術会論文集, Vol.47, No.1, pp. 183-188, 2016.
- [4] 森石一志, 中村博康, 渡邊一弘: “3次元点群データを用いた新たな路面評価手法の検討,” 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.69, No.3, pp. I_9-I_16, 2013.
- [5] 新垣仁, 島村潤, 谷口行信: “幾何モデル当てはめによる柱状構造物のたわみ判定手法の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.90, pp. 79-84, 2014.
- [6] 塚田義典, 田中成典, 窪田諭, 中村健二, 岡中秀騎: “点群データを用いた橋梁の3次元モデルの生成に関する研究,” 知能と情報, Vol.27, No.5, pp. 796-812, 2015.
- [7] CloudCompare, Open Source Project: <https://www.danielgm.net/cc/> [accessed Dec. 10, 2018]
- [8] 藤田陽一, 小林一郎, 緒方正剛, C. Wongsakorn: “点群データ用エディタの開発と利用法について,” 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.70, No.1, pp. 48-55, 2014.
- [9] 深野健太, 増田宏: “移動計測データに基づく柱状物体の分類に適した幾何特徴量,” 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.70, No.1, pp. 40-47, 2014.
- [10] Q. Charles, H. Su, K. Mo, and L. Guibas: “PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation,” *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 77-85, 2017.
- [11] T. Hackel, N. Savinov, L. Ladicky, J. Wegner, K. Schindler, and M. Pollefeys: “Semantic3D.net: A New Large-scale Point Cloud Classification Benchmark,” *ISPRS Annals of the Photogrammetry*, Vol.IV-1/W1, pp. 91-98, 2017.
- [12] P. Navarro, C. Fernandez, R. Borraz, and D. Alos: “A Machine Learning Approach to Pedestrian Detection for Autonomous Vehicles Using High-Definition 3D Range Data,” *Sensors*, Vol.17, No.1, pp. 1-20, 2017.
- [13] 井上裕貴, 安室喜弘, 檀寛成, 小林晃: “3次元画像計測による点群データからのパイプラインの変形量の取得,” 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.71, No.2, pp. I_72-I_78, 2015.
- [14] 平岡透, 碓正敬: “バイラテラルフィルタを用いたレーザプロファイラデータからの樹木抽出,” 写真測量とリモートセンシング, Vol.49, No.2, pp. 103-108, 2010.
- [15] 樋口輝和, 石川貴一郎: “Mobile Mapping データにおける大規模3次元点群からの道路周辺地物の認識 (第9報): 点群分布に基づく空中架線の特徴量抽出,” 精密工学会学術講演会講演論文集, pp. 467-468, 2016.
- [16] 中村健二, 寺口敏生, 梅原喜政, 田中成典: “完成平面図に基づいた点群データの地物推定技術に関する研究,” 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, pp. I_424-I_432, 2017.
- [17] 国土交通省国土技術政策総合研究所: 道路工事完成図等作成要領 (第2版), 2008.
- [18] W. Zhang, J. Qi, P. Wan, H. Wang, D. Xie, X. Wang, and G. Yan: “An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation,” *Remote Sensing*, Vol.8, No.6, pp. 501-522, 2016.
- [19] G. Vosselman: “Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data,” *Proc. of 19th Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.1, pp. 935-942, 2000.
- [20] 横田宏行, 中島保, 民野孝臣: “ローラー法によるフィルタリングの紹介,” 写真測量とリモートセンシング, Vol.45, No.4, pp. 18-21, 2006.
- [21] G. Forlani and C. Nardinocchi: “Adaptive Filtering of Aerial Laser Scanning Data,” *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.36, No.3, pp. 130-135, 2007.
- [22] FARO, Laser Scanner Focus: <https://www.faro.com/ja-jp/products/construction-bim-cim/faro-focus/> [accessed Dec. 10, 2018]
- [23] PENTAX, G3100-R2: http://www.pentaxsurveying.com/upload/product/pdf_1pQfwr.pdf [accessed Dec. 10, 2018]
- [24] 国土交通省, 地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領 (舗装工事編) (案), 2017.
- [25] 国土交通省, 地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領 (土工編) (案), 2018.
- [26] S. Rusinkiewicz and M. Levoy: “Efficient Variants of The ICP Algorithm,” *Proc. 3rd Int. Conf. on 3D Digital Imaging and Modeling*, pp. 145-152, 2001.

(2019年1月18日 受付)

(2019年4月17日 採録)

【問い合わせ先】

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

関西大学先端科学技術推進機構

梅原 喜政

TEL: 06-6368-1178

E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp

—— 著者紹介 ——

なかむら けんじ [正会員]
中村 健二 [正会員]

1981年生。2009年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士(情報学)。現在、大阪経済大学情報社会学部教授。

2016年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞「科学技術振興部門」受賞。

つかだ よしのり [正会員]
塚田 義典 [正会員]

1987年生。2015年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士(情報学)。2015年関西大学先端科学技術推進機構特別任命助教。2016年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。2019年から摂南大学経営学部講師。メディア情報処理、ソフトコンピューティング、土木情報学に関連する研究に従事。

たなか しげのり
田中 成典 [正会員]

1963 年生。1988 年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了。博士（工学）。現在、関西大学総合情報学部教授及び関西大学先端科学技術推進機構社会空間情報科学研究センター長。

2016 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞「科学技術振興部門」受賞。

うめはら よしまさ
梅原 喜政 [正会員]

1989 年生。2019 年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士（情報学）。現在、関西大学先端科学技術推進機構特別任命助教。知識情報処理、コンピュータグラフィックス、土木情報学に関連する研究に従事。

なかはた こうき
中畑 光貴 [非会員]

1995 年生。2019 年関西大学総合情報学部総合情報学科卒業。現在、関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程在学中。画像、点群データ処理等の研究開発に従事。2017 年から（株）関西総合情報研究所で活動。

Research for Extracting Point Cloud Data Related to Road Surface Features Using Plan of Completion Drawing

by

Kenji NAKAMURA, Yoshinori TSUKADA, Shigenori TANAKA, Yoshimasa UMEHARA, and Koki NAKAHATA

Abstract:

In recent years, accompanying the development of laser-based measuring technologies, initiatives relating to the utilization and application of three-dimensional information, such as point cloud data, have been gaining momentum. With focus on the field of roads, point cloud data has been widely used for surveying road surface conditions and detecting deformations in cylindrical features. Although it is necessary to identify the particular road features under analysis in these operations, point cloud data combines various types of road features together. Therefore, technology capable of classifying particular road features out of point cloud data is necessary. Existing research has proposed methods for extracting road features with high precision by separating road surface features from other data points. However, the problem is that it is difficult to accurately extract point cloud data related to the road surface when there are grade separations or successive slope changes because low elevation points are interpreted as the standard for the road surface. Thus, this research proposes a method for extracting point cloud data related to road surface features with high precision by estimating the elevation of roadways using plan of completion drawing.

Keywords: road, plan of completion drawing, road surface feature, point cloud data, feature classification

Contact Address: Yoshimasa UMEHARA

Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology, Kansai University
3-3-35 Yamate-cho, Suita-shi, Osaka 564-8680, Japan

TEL: +81-6-6368-1178

E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp