

(48) 2D/3D ハイブリッド型 オブジェクト輪郭線抽出に関する研究開発

北川 悦司¹・加藤 諒²・安彦 智史³・村木 広和⁴・津村 拓実⁵

¹正会員 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東 5-4-33)

E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

²非会員 京都橘大学助教 現代ビジネス学部 (〒607-8175 京都市山科区大宅山田町 34)

³非会員 仁愛大学講師 人間学部 (〒915-0015 福井県越前市大手町 3-1-1)

⁴非会員 国際航業株式会社 先端技術・事業開発部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1)

⁵非会員 阪南大学大学院 企業情報研究科 (〒580-8502 大阪府松原市天美東 5-4-33)

近年、3次元点群データは、自動運転やAR・VR、IoTといった幅広い分野で高い注目を集めている。特に、3次元点群におけるオブジェクト輪郭線（ブレイクラインとも呼ぶ）は、3次元モデルの作成や形状把握などの基礎技術となるため、非常に重要である。しかし、従来の手法では、点群密度やノイズに影響されること、対象物に依存することなどの課題があり、汎用的な手法は存在しない。そこで、本研究では、色付き3次元点群データが2次元画像と必ず対応している点に着目し、2D/3Dハイブリッド型のオブジェクト輪郭線抽出手法を提案する。提案手法では、2次元画像を利用することで3次元点群データを用いたオブジェクト輪郭線抽出の結果を補正する。これにより、既存研究よりも汎用的なオブジェクト輪郭線抽出手法を実現する。実証実験の結果、多様なオブジェクト輪郭線を高精度に抽出できることがわかった。

Key Words: 3D point clouds, object outline, break line, SfM(Structure from Motion)

1. はじめに

3次元点群データは、自動運転やロボット、AR・VR、IoTなどの様々な用途に活用できることから注目されている。実際に国土交通省では、i-Construction¹⁾を取り進めており、インフラ整備や管理といった土木関連での3次元点群データの活用を期待している。その中でも、本研究で扱う3次元点群データのオブジェクト輪郭線は、形状の再構成やダウンサンプリング、3次元モデルの衝突判定、形状把握、面(TIN)の生成、CAD図面との比較など多様な分野で利用されるため、それを抽出することが非常に重要である。そのため、各処理の基盤技術であるオブジェクト輪郭線の抽出に関する様々な手法が研究されている。

2. 既存研究

従来は、2次元画像を用いて、画像上の色の勾配変化が顕著な部分をオブジェクト輪郭線として抽出する研究が行われていた。しかし、色の変化がある線分を抽出し

ているに過ぎないため、オブジェクト輪郭線でない線分も多く抽出してしまう課題があった。そのため、近年容易に取得できるようになった3次元点群データを用いたオブジェクト輪郭線抽出の研究が盛んに行われている。オブジェクト輪郭線の抽出に関する研究では、点群の平面交線を用いた手法²⁾³⁾⁴⁾や法線ベクトルを用いた手法⁵⁾が提案されている。点群の平面交線を用いた手法²⁾³⁾⁴⁾では、河川堤防の最上面である天端とその他の平面を抽出し、その交線をオブジェクト輪郭線とする手法²⁾³⁾や抽出した平面をそれぞれラベリングし、隣接する平面の交線をオブジェクト輪郭線とする手法⁴⁾などが提案されている。法線ベクトルを用いた手法⁵⁾では、面の中心部の法線ベクトルは面に対して垂直になるが、オブジェクト輪郭線近くの法線ベクトルは面に対して垂直にならない点に着目し、ある点の法線ベクトルとその近傍の法線ベクトルそれぞれから内積値を求め、オブジェクト輪郭線とそうでない点群を分類している。しかし、これらの既存研究には、以下に示すような課題がある。

●点群密度が低いと正確なオブジェクト輪郭線が抽出できない課題

3次元点群データは、レーザースキャナや MMS, UAV など様々な機器で取得するため、点群密度がそれぞれ異なる。点群密度が低いと、オブジェクト輪郭線上に点群が存在しない場合がある。その解決策として、平面交線などが用いられているが、あくまで推定であり、実際の形状ではない。また、国土交通省の測量マニュアル⁹⁾によると、根拠のない点群の座標移動を行ってはならないことになっているため、原則として既存の点群を用いなければならない。

●3次元点群データにノイズが多く含まれる課題

3次元点群データは、測定方法によって、ノイズが多く発生する。この対応として、手動での削除や、別途 CAD 図面などを用いて除去していることが多いが、手間がかかる上に誤検出にも繋がりやすい。

●対象とするオブジェクトが限定される課題

既存研究²⁾³⁾では、対象を河川堤防に限定している。これは、河川横断面図という河川の構造データによって、堤防の断面図や建造方向を前提として活用するためである。この手法は、対象が河川堤防やビルといった構造物に限定される上に、点群以外の情報も必要とするため、汎用性が低い。

本研究では、2次元画像と3次元点群を連携することで、汎用的なオブジェクト輪郭線抽出手法を構築し、これらの課題を解決することを目的とする。具体的には、既存手法のオブジェクト輪郭線抽出の結果を補正する手法を開発する。さらに、オブジェクト輪郭線上に点群が存在しない場合については、測量方法として法律で認められている写真測量技術を用いて、オブジェクト輪郭線上に点群を発生させる手法も開発する。

3. システムの詳細

システムの流れを図-1に示す。本システムでは、近年一般的に利用されている3次元点群データに色情報が付加された色付き3次元点群データとそのデータに対応付いた画像を入力し、オブジェクト輪郭線上の3次元点群データを出力する。

(1) 暫定輪郭線抽出処理

暫定輪郭線抽出処理では、既存研究の平面交線を用いる手法²⁾³⁾⁴⁾や法線ベクトルを用いる手法⁵⁾によって抽出したオブジェクト輪郭線を暫定輪郭線として抽出する。

(2) 3D-2D および 2D-3D 変換

色付き3次元点群データには、点群データと画像が必ず対応付いているため、3次元空間と2次元空間の座標

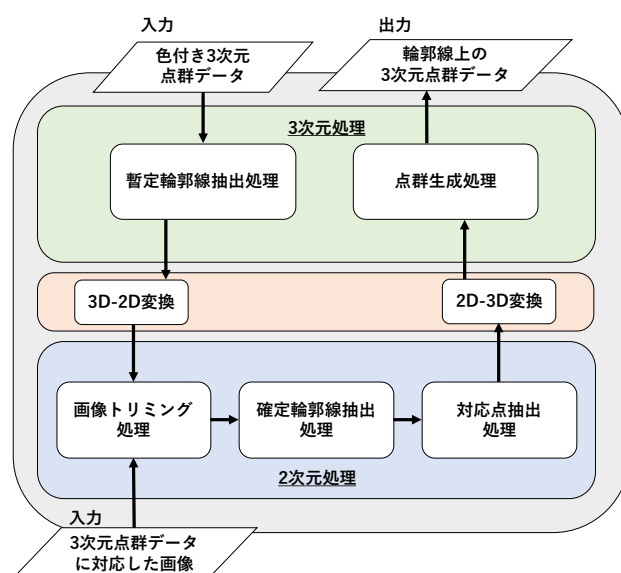


図-1 処理の流れ



回転後にトリミング



— 暫定輪郭線

図-2 画像トリミング処理のイメージ

変換が実現できる。具体的には、SfM/MVS ソフトウェアの点群データごとに出力される外部ファイルを用いて、3D-2D および 2D-3D 変換を行う。なお、本研究では、SfM/MVS ソフトウェアの中でも特に利用される Pix4D⁷⁾ と Metashape⁸⁾を対象とする。しかし、SfM/MVS ソフトウェア以外で生成した色付き3次元点群データに関しても、色付けするために2次元画像と3次元点群データが必ず関連付いているため、その情報を利用することで本手法を適用することができる。

(3) 画像トリミング処理

画像トリミング処理では、抽出した暫定輪郭線に図-2

のように一定の幅で画像をトリミングする。このトリミング画像は、暫定輪郭線の形状を保持しているため、確定輪郭線抽出処理で利用する Hough 変換の精度向上に大きく寄与する。

(4) 確定輪郭線抽出処理

確定輪郭線抽出処理では、まず画像のグレースケール化とノイズ除去フィルタリングを行う。そして、Canny 法によるオブジェクト輪郭線抽出を行い、一般的な直線抽出手法である Hough 変換を用いて確定輪郭線を抽出する。Canny 法は、ノイズに影響されにくく、微細なオブジェクト輪郭線も抽出できる特徴があるため、本研究で利用した。

(5) 対応点抽出処理

対応点抽出処理では、確定輪郭線上の点群生成を実現するため、まず、2 つの画像を対象に特徴点を抽出する。次に、抽出したすべての特徴点に対し、その特徴量を算出する。そして、この特徴量を比較して、2 つの画像間の対応点を抽出する。この特徴量は、画像の回転・大きさ・輝度が異なる場合でも変化しないため、画像間の対応箇所を求めることができる。これらの処理には、KAZE アルゴリズム⁹⁾を利用する。

(6) 点群生成処理

点群生成処理では、確定輪郭線上に点群が存在しない場合でも、抽出した対応点を 2D-3D 変換によって点群上に対応付ける。

4. 実証実験

実証実験では、汎用的なオブジェクト輪郭線抽出が実現できているかを検証するため、様々な画像に対し、確定輪郭線抽出処理と対応点抽出処理に関する実験をそれぞれ行い、その結果を確認する。点群生成処理に関しては、対応点に SfM/MVS の結果を利用すれば容易にオブジェクト輪郭線上に 3 次元点群を生成できるため、本論文の実験から除外した。

(1) 確定輪郭線抽出処理に関する実験

本実験では、既存研究においてノイズや精度が低下した暫定輪郭線を再現するため、阪南大学内において 3 次元点群におけるノイズなどの影響を及ぼしそうな場所や、2 次元画像に影響を及ぼしそうな場所を実験データとして撮影した。本実験において、前述した様々な環境を想定した実画像 15 枚の各 2 箇所の合計 30 箇所に暫定輪郭線を設定し、確定輪郭線抽出処理を適用した。なお、実



抽出したい輪郭線の箇所

図-3 オブジェクト輪郭線の抽出に成功した画像例

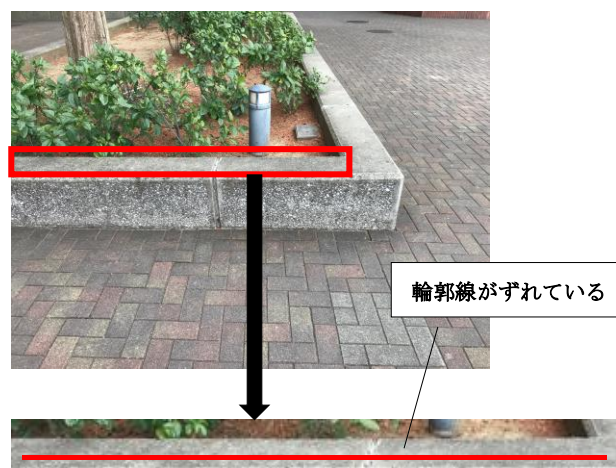


図-4 オブジェクト輪郭線の抽出に失敗した画像例

験では、手動による暫定輪郭線抽出を行う。これにより、意図的に暫定輪郭線を移動させた場合などの結果を確認することが可能になる。

実験の結果、既存研究の 3 次元点群データのためのオブジェクト輪郭線抽出手法では抽出できない輪郭線を、約 76.6% (23 画像/30 画像) の精度で抽出できることがわかった。オブジェクト輪郭線が抽出できた画像例を図-3 に示す。この結果から、提案手法は、点群密度やノイズに影響することなく、輪郭線が抽出できることがわかった。

一方、オブジェクト輪郭線が抽出できなかった画像の例を図-4 に示す。この原因を調査したところ、トリミングした画像内に砂や小石、ザラついた面などが存在している場合、それが影響して、オブジェクト輪郭線が正確に

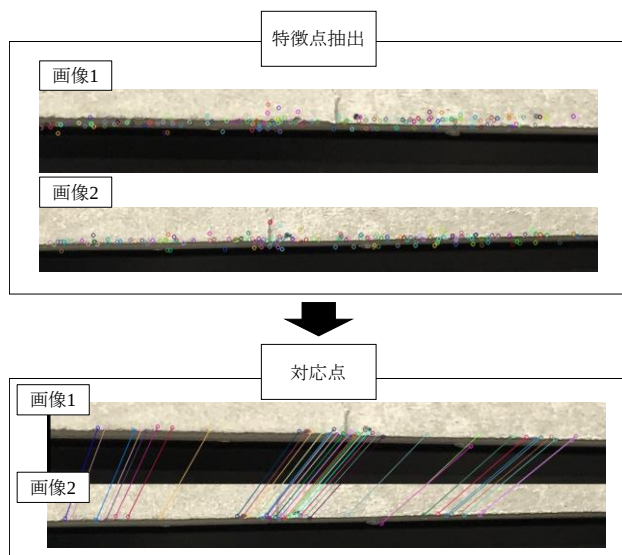


図-5 対応点の抽出結果

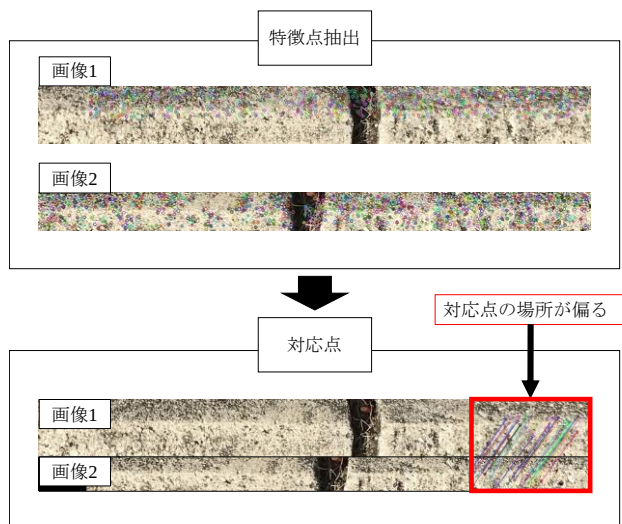


図-6 オブジェクト輪郭線の抽出に失敗した画像例

抽出できないことがわかった。この課題への対応は、今後の課題とする。

(2) 対応点抽出処理に関する実験

対応点抽出の実験では、2枚の画像間の特徴点が対応点として抽出できるかを検証する。実験データには、オブジェクト輪郭線部分が重複している別視点画像を選定した。実験データに対して対応点抽出処理を適用した結果の一例を図-5に示す。図-5のように、すべての画像においてオブジェクト輪郭線上に特徴点が抽出でき、それらの対応点抽出も誤差なく実現できていることがわかった。これにより、抽出した対応点に2D-3D変換処理を適用することで、オブジェクト輪郭線上に点群を生成させることが可能になる。

しかし、図-5は対応点をオブジェクト輪郭線上に満遍なく発生させているが、図-6のように特徴点ごとの誤対

応はないものの対応点の箇所が偏ってしまう課題も見つかった。これは、対応点の誤対応をなくすために閾値を設定しているため、特徴点の数に比べて対応点の数が大きく減少したことが原因として考えられる。

5. おわりに

本研究では、2次元画像と3次元点群を用いた汎用的なオブジェクト輪郭線の抽出手法を提案した。オブジェクト輪郭線の抽出に関する既存研究では、点群密度やノイズに影響されること、対象物に依存することなどの課題があり、汎用的な手法は存在しなかった。そこで、既存手法のオブジェクト輪郭線抽出の結果を2次元画像を用いて、補正する手法を開発した。さらに、オブジェクト輪郭線上に点群を発生させる手法も開発した。

実証実験の結果、既存手法では抽出できないオブジェクト輪郭線を本システムにより高精度に抽出できることがわかった。しかし、トリミング画像内に砂や小石が多量に含まれていた場合、確定輪郭線が誤抽出されることが多い課題や、対応点が偏って抽出される課題が見つかった。そのため、今後は、これら課題の解決に取り組み、より汎用的で高精度なオブジェクト輪郭線の抽出を実現する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction, < <http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html/>>, (入手 2019-6-10) .
- 2) 川野浩平, 田中成典, 今井龍一, 中村健二：レーザプロファイラデータを用いた河川空間の3次元モデル構築手法に関する研究, 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, Vol.8, No.1, pp.55-72, 2015.
- 3) 田中成典, 中村健二, 今井龍一, 窪田諭, 梅原喜政：LPデータと河川定期縦横断測量成果を用いた任意地点の横断図生成手法に関する研究, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 日本知能情報ファジィ学会, Vol.28, No.5, pp.810-825, 2016.
- 4) 北村和男, Nicola, D, A., 高地伸夫, 金子俊一：実環境での測定を考慮したレーザスキャナからの点群データを用いたブレイクライン抽出, 第16回画像センシングシンポジウム, 画像センシング技術研究会, 2010.
- 5) 堀田富宝, 岩切宗利：3次元点群からのエッジ抽出法とその能力, 画像電子学会誌, 画像電子学会, Vol.43, No.3, 2014.
- 6) 国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル (案), 2017.
- 7) Pix4D：Pix4D, < <https://www.pix4d.com/>>, (入手 2019-6-10) .
- 8) Agisoft：Metashape, < <https://oakcorp.net/agisoft/>>, (入手 2019-6-10) .
- 9) Pablo, F.A., Adrien, B. and Andrew, J.D.: KAZE Features, ECCV2012, pp.214-227, 2012.