

市街地レーザ計測点群の柱状物体分類法の反射強度評価を用いた精度改善

北海道大学 ○江戸 太樹, 伊達 宏昭, 金井 理, 国際航業株式会社 武田 浩志

要旨

本研究では市街地環境における標識等の柱状物体を効率的に管理するため、市街地レーザ計測点群からの柱状物体認識・分類を行う。本報告では、柱状物体分類のさらなる精度向上のため、レーザ光の反射強度を用いた標識分類法を導入し、標識が高い反射強度を持つという特徴を併用して標識の分類精度を高める手法を提案する。

1 はじめに

Mobile Mapping System(MMS)の普及に伴い、市街地をレーザ計測して得られた点群を用いて社会インフラ設備を管理していくことが期待されている。特にその中でも、街灯や電柱、標識といった柱状物体は、管理対象の設備として需要が高い。しかしながら、計測された膨大な点群の中から、これらの柱状物体を手動で認識・分類するのは大変な時間とコストが必要となる。そのため、MMSによる市街地レーザ計測点群から、柱状物体を自動で効率よく認識・分類できる手法が必要となる。

現在、市街地レーザ計測点群から柱状物体を認識・分類する方法は幾つか提案されている[1]。しかしながら、これら既存手法では分類に多くの学習データが必要となることや、特定の太さや傾きをもつ柱状物体しか認識できないといった問題が存在する。一方で横山ら[2, 3]は、柱状物体の形状特徴のみに基づいた柱状物体帰属度評価関数を利用した分類アルゴリズムを導入することで、様々な太さや傾きを持つ柱状物体を電柱、標識、街灯の3クラスへ86%程度の精度で分類した。

本報では、分類精度のさらなる向上を目的とし、横山ら[3]の手法に改良を加える。標識の反射材がレーザ光に対して高い反射性を示すという特徴を利用し、レーザ光の反射強度を用いた新たな標識分類法を導入し、その性能を評価する。

2 レーザ光の反射強度を用いた標識分類法

2.1 反射強度と形状特徴を用いた柱状物体分類の概要

本研究で提案する柱状物体分類手法の概要を図1に示す。まず柱状物体認識手法[2]を用いて正しくセグメント化された柱状物体を表す点集合を入力とし(A-1)、その後レーザ光の反射強度を用いた標識の分類と帰属度評価による柱状物体の分類を行う。柱状物体分類では、まずはじめにライン RANSAC を利用した柱状物体の支柱の認識、並びにパーツセグメンテーションを行い、柱状物体を支柱、パーツごとの複数のグループに分割する(A-2)。次にセグメント化された各パーツに対してレーザ反射強度に基づいた標識の分類を行う(A-3)。その後、残りの柱状物体について各パーツの構造を解析し、高さ、外径、パーツ数、パーツタイプ集合といった形状特徴を指標とした電柱、街灯に対する2つの帰属度関数を用いて、各セグメントの帰属度を評価する。最後に、帰属度評価値に基づいて、電柱、街灯の2クラスへ分類を行う(A-4)。横山ら[3]による手法では形状特徴に基づいた帰属度評価により柱状物体を電柱、街灯、標識の3クラスへ分類したが、類似した形状の柱状物体で誤分類が発生している。そこで本報では、反射強度を利用して形状特徴に依らない指標を新たに導入することにより柱状物体分類精度の向上を図る。

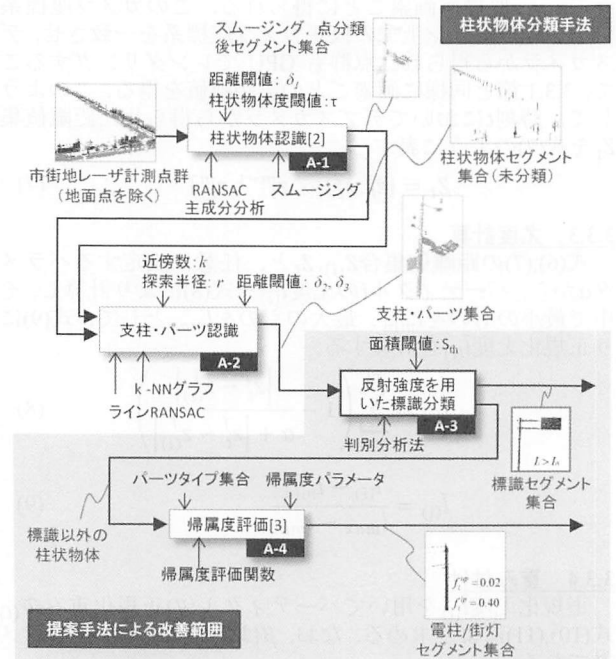


図1 提案する柱状物体分類手法

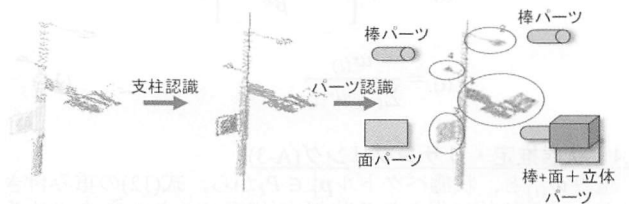


図2 支柱・パーツ認識

2.2 柱状物体認識(A-1)

柱状物体認識プロセスでは、まずはじめに PCA(Principal Component Analysis)による点分類に基づく市街地レーザ計測点群のセグメンテーション[4]を行う。次に、点の分類精度を高めるためのスムージングを行い、後述の主成分分析と次元特徴量、ならびに RANSAC を用いて点を柱状物体上、鉛直な柱状物体上、平面上、その他物体上の点の4種類に分類する。この点分類結果に基づいてセグメントごとに柱状物体度を評価し、閾値以上のセグメントを柱状物体と認識して柱状物体セグメント集合を得る。

主成分分析による次元特徴量の算出では、各点 i の近傍点集合に対する分散共分散行列を作成し、この固有値を降順に $\lambda_1^i, \lambda_2^i, \lambda_3^i$ とする。さらに3つの固有値の大小関係から、点 i の近傍点集合の分布状態を次元特徴量 d_i ($d_i=1, 2,$

3 でそれぞれ柱状点, 平面点, その他点) を用いて評価する。

2.3 柱状物体の支柱・パーツ認識(A-2)

本手法による柱状物体分類では, 支柱に付属するパーツや支柱の太さを分類指標とする。そのため, 支柱の太さやパーツの形状を個々に解析する必要がある。柱状物体の支柱・パーツ認識結果を図2に示す。まずはじめに, 柱状物体セグメント内に含まれる鉛直柱状点を入力としてラインRANSACを適用し, フィッティング直線から一定距離内にある点を支柱点として認識する。次にパーツの認識を行う。ここで, 任意の点から一定距離に存在する点は同じパーツに属していると仮定し, k 近傍グラフを作成する。そして, k 近傍グラフ上で隣接している同じ次元特徴量 d_i をもつ σ_2 点 (本研究では $\sigma_2=10$) 以上の点集合を抽出し, その点集合を, d_i が 1 のとき棒要素, 2 および 3 のときそれぞれ面要素, 立体要素として認識する。最後に, パーツに含まれる要素の種類に応じて各パーツを棒パーツ, 面+立体パーツなど 8 つに分類する (図2)。

2.4 反射強度に基づいた標識の分類(A-3)

本研究では標識を, (a)高いレーザ反射強度を示し(b)一定面積以上の領域を成す面要素 (標識板) を含むパーツのみを持つ物体であると定義する。計測点群内の柱状物体に対して反射強度の値による濃淡画像とヒストグラムの例を図3に示す。図から明らかなように, 高い反射強度の点を多く含むという特徴は標識板を含む柱状物体固有の性質である。この性質を利用し, 提案手法では反射強度を用いて標識板を認識することで, 柱状物体セグメント集合を標識とその他 (電柱, 街灯) に分類する。以下のアルゴリズムにより反射強度を評価し, 標識を分類する。

- (i) 1つの点群データ内の柱状物体セグメント集合 S_j について, それに属するパーツ P_i の点を持つ反射強度の値を元にヒストグラムを生成する。
- (ii) 判別分析法により反射強度閾値 I_{th} を決定する。
- (iii) パーツ P_i が標識板を成すために必要な面積を以下の点密度計算法により求める。
 - ① パーツ P_i の中で反射強度が I_{th} 以上の平面点を標識板候補点とし, そこから n 個 (標識板候補点の総点数の $a\%$, 最低 b 点) の点をランダムサンプリングする。そして, 各サンプル点における点密度 ρ_i を式(1)により求める。

$$\rho_i = \frac{n_i}{\pi r^2} \quad (1)$$

ここで n_i は i 番目のサンプル点を中心とする半径 r の円内に存在する点の数とする。

- ② N を標識板候補点の総点数, 各サンプル点における点密度の平均を標識板候補点のパーツ点密度 D とし, 標識板の面積 S を式(2)により算出する。

$$S = \frac{N}{D} \quad (2)$$

- (iv) パーツ P_i の標識板候補点の成す面積 S が面積閾値 a_{th} 以上であれば P_i を標識板とする。
- (v) 柱状物体セグメント S_j が標識板を含むパーツのみを持つ場合, S_j を標識として分類する。

市街地にある柱状物体には類似した形状のものも多く含まれているため, 形状に依存しない本手法により柱状物体分類の精度を向上できるものと考えられる。

2.5 帰属度評価 (A-4) [3]

柱状物体セグメントの「高さ」「外径」「パーツ数」, 並びに「パーツ構造」を含めた形状特徴を指標とした電柱(up),

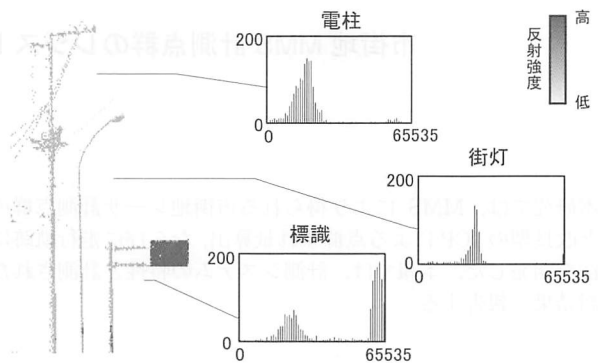


図3 各柱状物体の反射強度ヒストグラム

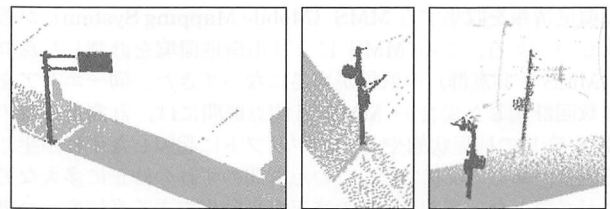


図4 標識板を持つ柱状物体の認識結果

街灯(lp)の 2 クラスの帰属度評価関数を用意し, 各セグメントの帰属度 f_i^{up}, f_i^{lp} ($1 \leq i \leq N_p$, N_p は柱状物体の数) を計算する。最後に, 電柱と街灯で帰属度が高い方のクラスを分類結果として採用する。

3 標識板を持つ柱状物体の認識結果

予備実験として, MMS を用いて計測された市街地レーザ計測点群の部分点群から柱状物体を含む部分を切り出し, 2.4 節の(i)-(iv)で述べた反射強度による標識板認識アルゴリズムを用いて, 標識板を含む柱状物体を認識した結果を図4に示す。同データには 9 本の標識板を持つ柱状物体が含まれており, 提案手法によりそのうち 9 本全てが標識として認識されている。また標識板を持たない物体は認識されておらず, 従来発生していた標識板を持たない電柱・街灯の標識への誤分類を防ぐことができると期待できる。

4 結論

本報ではレーザ光の反射強度に基づく標識板の認識を用いた標識分類手法を提案し, 標識板認識アルゴリズムの実験により標識板を含む物体のみが正しく認識できることを確認した。今後, 提案手法による標識分類の実験と, 様々なデータに対する適用を通じた分類精度改善効果の評価を行う。

参考文献

- [1] 例えば, Shi Pu, "Recognizin Basic Structures from Mobile Laser Scasnning Data for Road Inventory Studies.," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(6), 2011.
- [2] 横山博貴 他 "市街地レーザ計測点群からの柱状物体認識", 精密工学会 2011 秋季大会講演論文集, F21 (2011)
- [3] 横山博貴 他, "形状特徴とコンテキスト特徴に基づいた市街地レーザ計測点群からの柱状物体分類", 精密工学会春季大会学術講演会, 2012.
- [4] Hiroaki Date, Teppei Mori, Hiroki Yokoyama, Satoshi Kanai and Hiroshi Takeda: "Segmentation of MMS Point Clouds of Urban Area Based on Principal Component Analysis", Proc. of Mobile Mapping Technology 2013