

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

北海道大学 ○横山 博貴, 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、設備管理の対象として需要が高い電柱や街灯、標識などの柱状物体を、市街地レーザ計測点群から自動的に認識・分類することを目的としている。これまで柱状物体の認識手法、ならびに電柱、街灯、標識への分類手法を提案してきた。本報では、柱状物体のパーツ構造などの形状特徴、ならびに他の柱状物体との相対的な位置関係から求まるコンテキスト特徴に基づいて、柱状物体の分類精度を改善するアルゴリズムを提案する。

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。そこで本研究では、市街地レーザ計測点群に対してスムージングと主成分分析、並びに柱状物体評価指標を用いることによって、様々な傾き、太さをもった柱状物体を自動で認識する手法を開発してきた[2]。また柱状物体の形状特徴のみに基づいて、形状が異なる手動で抽出した78個の柱状物体に対して、電柱、街灯、標識の3クラスへ77.1%程度の認識率を達成した[3]。本報では、その分類精度の更なる改善を目的として、新たにコンテキスト特徴量を導入した分類アルゴリズムを提案し、その性能を評価する。

2 提案する柱状物体の分類手法

2.1 手法概要

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](A-1)を用いて正しくセグメント化された柱状物体セグメント内の点群を入力とし、その後帰属性を用いて柱状物体の分類を行う[3]。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)。そしてセグメント化された各パーツの構造を解析し、形状特徴を指標とした電柱、街灯、標識に対する3つの帰属性関数を用いて、各セグメントの帰属性を評価する(A-3)。しかし[3]のように形状特徴のみを基準とした分類では、異なるクラスに属する類似した形状をもつ物体の正確な分類が困難となり、実験の結果、誤分類が多く見られた(図2)。一方で、電柱や街灯は道路に沿って一定間隔で並んでいることが多い。そこで本報では、周辺の電柱や街灯との相対的な位置関係に注目し、自己相関をコンテキスト特徴として導入し、分類精度の改善を図る。

具体的には、各柱状物体について、その支柱を中心とした規則グリッドを生成し、周辺の柱状物体の位置と帰属性からコンテキスト特徴量を算出する(A-4)。最後に、このコンテキスト特徴量と帰属性両方の値に基づいて、電柱、街灯、標識の3クラスへ分類を行う(A-5)。

2.2 帰属性評価 (A-3)

このステップでは、柱状物体セグメントの「高さ」、「パーツ数」、並びに「パーツ構造」を含めた形状特徴を指標

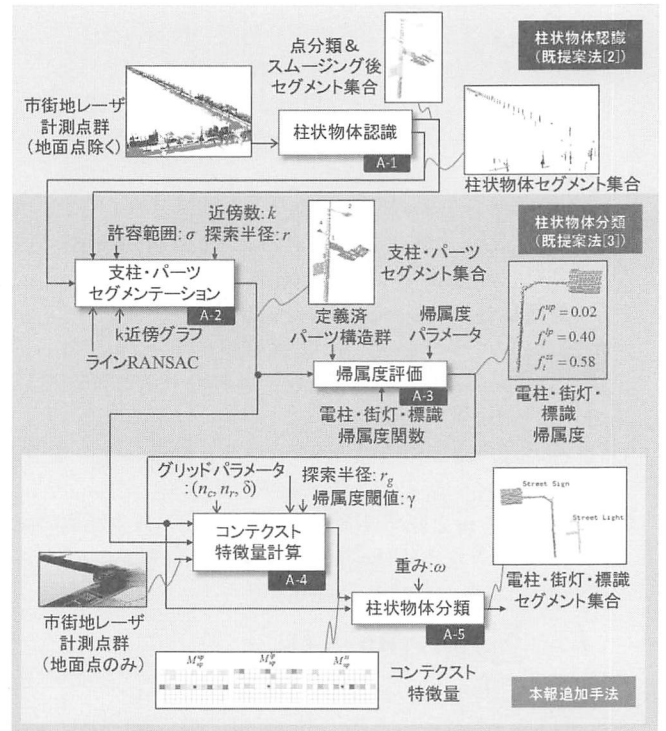


図1 提案する柱状物体分類手法

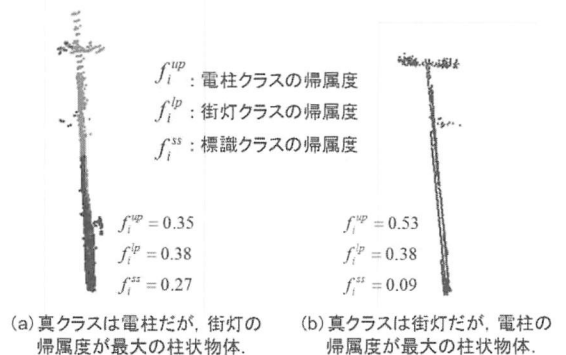


図2 形状が類似した電柱と街灯の帰属性

とした電柱 (up), 街灯 (lp), 標識 (ss) の3クラスの帰属性関数を用意し、各セグメントの帰属性 $f_i^{up}, f_i^{lp}, f_i^{ss}$ ($1 \leq i \leq N$, N は柱状物体の数) を計算し、総和が1となるよう正規化する。[3]では、最も帰属性が高いクラスを分類基準として採用した。しかし電柱と街灯の高さやパーツ数、パーツ構造には類似性があり(図2)、この2クラスの間で誤分類が多く見られた。そのため本報では、周辺の柱状物体分布に基づくコンテキスト特徴量を算出し、帰属性とコンテキスト特徴量の両者を用いて分類精度を向上させる。

2.3 コンテキスト特徴量計算 (A-4)

この処理は、大きく次の4ステップから成る。

- i) 図3に示すように、各柱状物体セグメント S_i において、支柱位置を中心とする規則グリッド G_i を生成する。グリッドのセルは一辺 δ [m]の正方形とし、行数、列数はそれぞれ n_r, n_c とする($n_r=6, n_c=20, \delta=6.0$ m)。 G_i の向きは、その1辺が、柱状物体 S_i に最も近い道路の進行方向と平行になるようにする。具体的には、柱状物体の最下点(道路との接地点)を中心に、広範囲の道路点のみを用いて主成分分析を行い(探索半径 $r_g=20$ m)、最大固有値に対応する固有ベクトルを道路の進行方向として得る。
- ii) グリッド G_i のセル (p,q) 内($p \in [1, n_r], q \in [1, n_c]$)に柱状物体 S_i が存在する場合、そのセルにその柱状物体3クラスへの帰属度 $f_j^{up}, f_j^{lp}, f_j^{ss}$ を与え、 S_i の周辺柱状物体分布マップ $m_i^{up}, m_i^{lp}, m_i^{ss}$ (それぞれ、 S_i を中心とした周辺の柱状物体の $f_j^{up}, f_j^{lp}, f_j^{ss}$ をセルの値として持つグリッド)を生成する(図3下)。
- iii) 帰属度のみから明らかに物体クラスが判別できる電柱・街灯・標識のセグメント集合 U, V, W を考える(本研究では、 $U=\{S_i | f_i^{up} > \gamma\}, V=\{S_i | f_i^{lp} > \gamma\}, W=\{S_i | f_i^{ss} > \gamma\}$ とした。 γ は帰属度閾値で $\gamma=0.60$)。この U, V, W について、式(1)を用いて各クラスの平均柱状物体分布マップ $M_{true_class}^{up}, M_{true_class}^{lp}, M_{true_class}^{ss}$ ($true_class \in \{up, lp, ss\}$)を生成する。 M_a^b は、クラス b の柱状物体を中心としたとき、その周辺の各グリッドにクラス a の物体が存在している確からしさを表す。

$$\begin{cases} M_{up}^{class} = \frac{1}{|U|} \sum_{i \in U} m_i^{class} \\ M_{lp}^{class} = \frac{1}{|V|} \sum_{i \in V} m_i^{class} \\ M_{ss}^{class} = \frac{1}{|W|} \sum_{i \in W} m_i^{class} \end{cases}, class \in \{up, lp, ss\} \quad (1)$$

- iv) m_i^{class} と $M_{true_class}^{class}$ との類似度を、柱状物体 S_i のコンテキスト特徴量 \hat{f}_i^{class} ($class \in \{up, lp, ss\}$)とし、式(2)により評価する。

$$\begin{cases} \hat{f}_i^{up} = \sum_{class \in \{up, lp, ss\}} \langle m_i^{class}, M_{up}^{class} \rangle \\ \hat{f}_i^{lp} = \sum_{class \in \{up, lp, ss\}} \langle m_i^{class}, M_{lp}^{class} \rangle \\ \hat{f}_i^{ss} = \sum_{class \in \{up, lp, ss\}} \langle m_i^{class}, M_{ss}^{class} \rangle \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $\langle x, y \rangle$ の演算は、 x と y の対応する各セルの値(帰属度)の積の総和をとることを表す。この類似度が大きいほど、コンテキスト特徴量は大きくなる。また、 $\hat{f}_i^{class} = \hat{f}_i^{class} / \max_{class \in \{up, lp, ss\}} \hat{f}_i^{class}$ により正規化を行う。

2.4 柱状物体の分類 (A-5)

最後に、柱状物体を電柱、街灯、標識の3クラスへ分類する。これまでに得られた帰属度とコンテキスト特徴量を用いて式(3)により分類する。ここで、 ω は正値の重みを表す($\omega=0.25$)。

$$S_i^{class} = \arg \max_{class \in \{up, lp, ss\}} (c_i^{class} + \omega \hat{f}_i^{class}) \quad (3)$$

3 コンテキスト特徴を導入した柱状物体の分類結果

本実験に用いた入力の状態物体セグメント集合は、コンテキスト特徴導入の有効性を確認するため、手動でセグメント化した市街地のMMSレーザ計測データ(京都宇治市320万点[4])を使用した。コンテキスト特徴量の有無による分類結果の違いを図4に、既提案法と本手法との電柱に対する分類精度の比較を表1に示す。表1より、帰属度のみによる分類手法に比べ、精度が16%程度改善され、高精度な分類が可能となることが確認された。なお本実験では、使

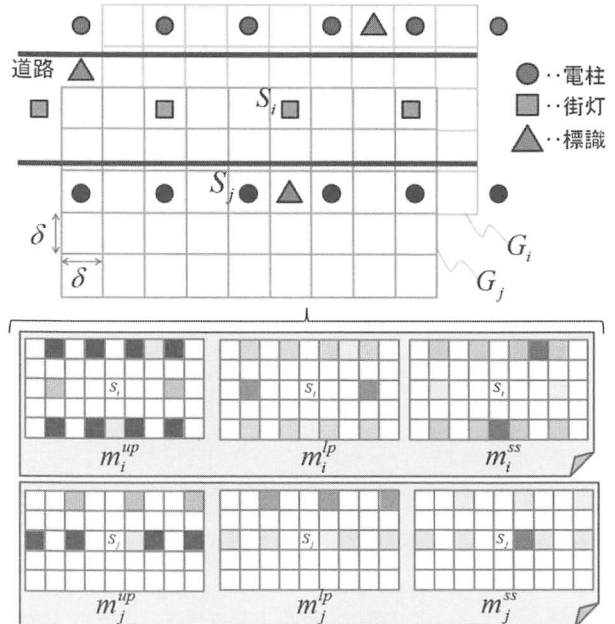


図3 セグメント S_i, S_j を中心とする周辺柱状物体分布マップ
マップ上の色はそれぞれ電柱・街灯・標識の帰属度を表す。濃い色ほど、帰属度が大きいことを表す。

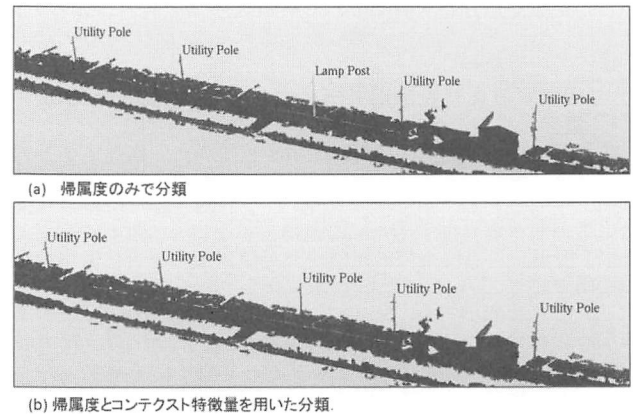


図4 コンテキスト特徴の有無による分類結果の違い(宇治)

表1 既提案法[3]と本手法との分類精度比較

クラス	分類正解数 (率)	
	既提案法	本手法
電柱	36/50 (72.0%)	44/50 (88.0%)

用したデータ内において街灯、標識の母数が小さいため(それぞれ4本程度)、それらの精度検証は行っていない。

4 結論

本研究では、柱状物体の形状特徴と、周辺の柱状物体との相対的な位置関係から求まるコンテキスト特徴量に基づいて、既提案法[3]で分類した柱状物体を電柱、街灯、標識の3つのクラスへの分類精度を改善させるアルゴリズムを開発し、その有効性を確認した。今後の課題として、様々な地域に対する本手法の有効性の確認と、分類処理における、特徴空間でのクラスタリング手法の導入などが挙げられる。

参考文献

- [1] 例えば、Lehtomaki, M., et al., "Detection of Vertical Pole-Like Objects in a Road Environment Using Vehicle-Based Laser Scanning Data" Remote Sensing, Vol.2, 641-664 (2010)
- [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 "市街地レーザ計測点群からの柱状物体認識と分類", 精密工学会 2012 春季大会講演論文集, G04 (2012)
- [4] 石川貴一郎 他, "モバイルマッピングシステムによる都市空間モデリング", 計測自動制御学会産業論文, 8(17), 133-139 (2009)