

市街地レーザ計測点群からの柱状物体認識に関する研究
 - ボクセルのマッチングによる柱状物体部品認識 -

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柱状物体（電柱、街灯等）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を行う。本報告では、サンプル部品と点群中の部品とのボクセルを用いたマッチングにより柱状物体部品を認識する手法を提案する。

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]。これらの研究では1個の柱状物体に対して、その役割（電柱、街灯、標識等）からいずれか1つを認識することを試みている。しかしながら、市街地においては1個の柱状物体が複数の役割を兼ねることがある。そこで本研究では、柱状物体が持つ部品（照明器具、標識板、信号機等）を解析することで、各部品に関連づいた複数の役割を認識することを目的とする。

部品の種類が地域により限定されることを利用し、点群内でのサンプル部品の手動抽出と、サンプル部品と点群内の他の部品との3Dマッチングを用いて任意形状の部品を認識する。前報では、点間距離のヒストグラムを形状記述子とする形状マッチング法を用いた部品認識法を提案した。しかしながら、点の抜けや、電線などの部品以外の付属物の影響を受けやすいという問題があった。本報ではこれらの問題を解決するため、部品の姿勢が柱状物体の支柱に対して固定されていることを利用した姿勢の正規化と、ボクセルのマッチングを用いた部品の認識法を開発し、前報[2]で提案した手法と部品の認識結果を比較する。

2 ボクセルのマッチングによる柱状物体部品認識

2.1 概要

本研究で提案する柱状物体部品認識の手法概要を図1に示す。本手法の入力は、点密度が均一となるようにダウンサンプリングが施された柱状物体のセグメント（点集合）とする。はじめに、点群のスムージング、主成分分析による点分類結果とRANSACを利用した支柱点認識を行う(A-1)。次に、支柱点以外の点集合に対して、近傍点のクラスタリングを用いた部品抽出を行う(A-2)。そして、鏡像対称性に基づいて各部品の姿勢を正規化した上でボクセル表現を生成する(A-3, 図2)。最後に、抽出された部品からサンプル部品を手動で選択し、他の部品とのボクセルマッチングを行うことでサンプル部品と同一の形状を持つ部品を認識する(A-4, 図2)。本研究では、支柱点認識と部品抽出に横山らの手法[3]を用いる。

従来の柱状物体分類法[3]では、柱状物体が持つ役割（電柱、街灯、標識）のうち1つのみを認識している。提案手法では、柱状物体に属する個々の部品を認識することで、それらに関連づいた柱状物体の複数の役割を認識する。

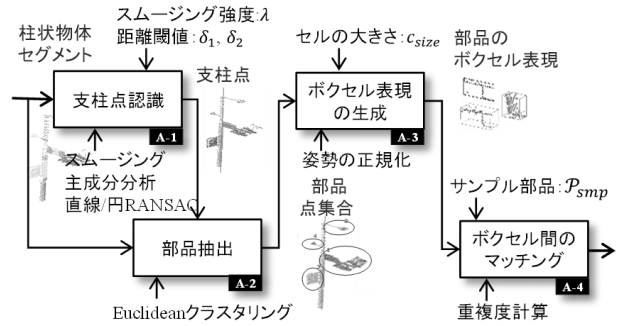


図1 提案手法

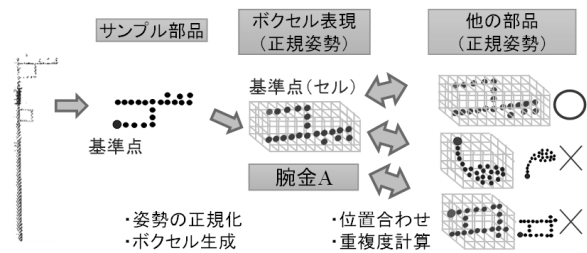


図2 ボクセル表現のマッチングによる部品認識

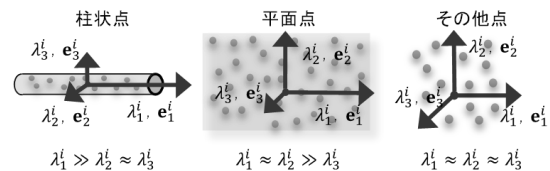


図3 主成分分析による点分類

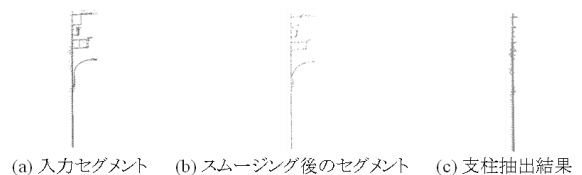


図4 スムージングと点分類による支柱点認識

2.2 支柱点認識

本手法の支柱点認識では、主成分分析による点分類法を用いる。支柱の径に依存しないような点分類を実現するために、はじめにk近傍グラフを用いた点群のスムージングを行う。スムージングにより様々な太さの柱状物体の支柱部分の点分布を一次的にすることで、次の点分類の精度を高めることができる。そして、点iとその近傍点に関する分散共分散行列から、3つの固有値 $\lambda_1^i, \lambda_2^i, \lambda_3^i$ ($\lambda_1^i \geq \lambda_2^i \geq \lambda_3^i$)とこれらに対応する固有ベクトル e_1^i, e_2^i, e_3^i を求める。この3つの固有値の大小関係と固有ベクトルの向きから、各点を鉛直柱状点、柱状点、平面点、その他点に分類する(図3)。点分類後の結果から、スムージング後の柱状物体セグメント内に含まれる鉛直柱状点を用いてRANSACによる

直線フィッティングを行う。フィッティングした直線から一定距離内にある点を支柱点として認識する (図4)。

2.3 部品抽出

支柱点認識の結果、柱状物体をなす点集合は支柱上の点集合とそれ以外の部品を構成する点集合に分類される。部品の抽出は近傍点のクラスタリングにより行う。これは、支柱上の点を除去した点群に対し、点間距離が一定値以内である点集合を一つのクラスタとしてまとめることで、各部品の点集合を得る。

2.4 ボクセル表現の生成

マッチング処理を円滑に行うため、各部品のボクセル表現を生成する際には姿勢を正規化する必要がある。ここでは各部品について、物体の主要な面の法線の向きが Bounding Box の面の法線と一致する SoMBB (Surface oriented Minimum Bounding Box)を生成することを目的とする [4]。まず、柱状物体部品は支柱方向について固有の姿勢でとりつけられているため、支柱軸方向をボクセルの第一軸とできる (この軸を仮に z 軸とする)。残りの 2 軸は ROSy+(Reflective Object Symmetry)[4]を単純化した方法を用いて推定する。ROSy+ではあるモデル M に対して重心を原点とする 3 軸の成す平面 Π の鏡像射影 M_{Π} を生成し、 M と M_{Π} の各点の間の距離および三角メッシュの面法線の間の角度を最小化する回転を探索することによって姿勢を正規化する。ただし、MMS 計測点群においてはスキャン特性 (スキャンライン等) や線状物体の存在により全ての点における法線の高精度な推定が難しいため、本手法では主成分分析で得られる固有ベクトルを法線の代わりに用いる。具体的には、柱状点の場合には軸を成す e_1^i 、平面点の場合には法線となる e_3^i をそれぞれ用いる。

本手法におけるボクセル表現の生成は以下の手順で行われる (図5)。

- i. 部品点群 M の重心が原点となるように平行移動する。
- ii. 平面 Π (XZ 平面) に対して M の鏡像射影 M_{Π} を得る。
- iii. z 軸について M を θ 、 M_{Π} を $-\theta$ ずつ回転したモデル M_{θ} 、 $M_{\theta,\Pi}$ から 式(1)により各対応点の距離および固有ベクトル間の角度が最小となる回転角 θ_{best} を探索する。

$$\theta_{best} = \operatorname{argmin}_{\theta \in [0, 180]} \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{Dist}(M_{\theta}, M_{\theta,\Pi}) + \operatorname{Ang}(M_{\theta}, M_{\theta,\Pi}) \right\} \quad (1)$$

$$\operatorname{Dist}(M, M_{\Pi}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_{i,\Pi} \| \quad (2)$$

$$\operatorname{Ang}(M, M_{\Pi}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tanh \left(\frac{3}{2} (\theta_{i,\Pi} - \pi) \right) + 1 \quad (3)$$

$$\theta_{i,\Pi} = \left[\cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{e}_d^i \cdot \mathbf{e}_{d,\Pi}^i}{\| \mathbf{e}_d^i \| \| \mathbf{e}_{d,\Pi}^i \|} \right) \right] \quad (4)$$

ここで m は M の点数であり、式(4)の d は点分類の結果により定まる。点 i (位置を \mathbf{p}_i とする) が柱状点、平面点である場合にそれぞれ $d = 1, 3$ となる。

- iv. θ_{best} 回転した部品に対してボクセル V を生成する。

図6は本手法により姿勢が正規化された部品群である。

2.5 ボクセル間のマッチング

ボクセル間の位置合わせのため、各部品の点集合について支柱に最も近く、 z 座標が最小の点を基準点とする。マッチング処理では、全部品からユーザ指示によりサンプル部品を選択し、サンプルと認識したい部品のそれぞれのボ

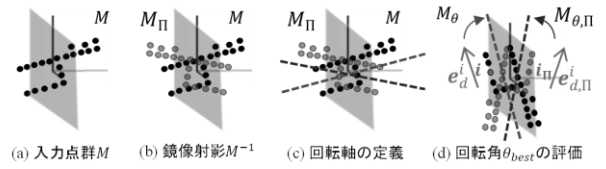


図5 姿勢の正規化 (ROSy+)

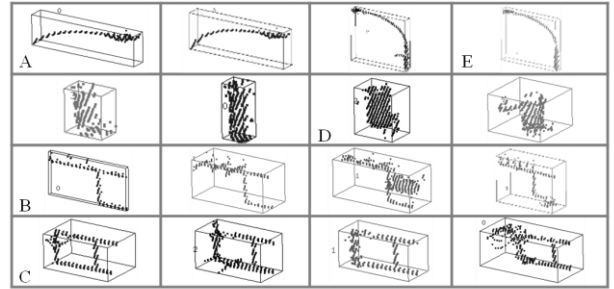


図6 同一の座標系における姿勢の正規化結果(A-E:サンプル部品)

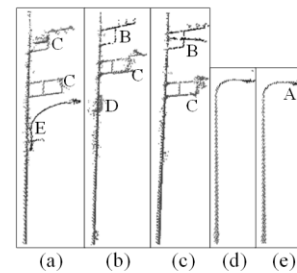


図7 部品認識結果

クセル V_s, V_t を基準点により位置合わせを行い、重複度 $o_{s,t}$ を式(5)により計算する。

$$o_{s,t} = \frac{1}{N_s} I_s(V_s, V_t) \quad (5)$$

N_s は V_s の占有セル (点を含むセル) の数であり、 $I_s(V_1, V_2)$ は 2 つのボクセルの重複する占有セル数を返す。各部品は、 $o_{s,t}$ が閾値 τ 以上であり $o_{s,t}$ が最大となるサンプル部品と同一であると認識する。また、多少の位置ずれを考慮するためサンプル部品のボクセル表現については事前に占有セルの隣接セルも擬似的に占有セルとする処理を行う。

3 柱状物体部品の認識結果

実計測点群中から部品の真クラスが確認できる柱状物体を抜き出し、図6のサンプルを用いて本手法を適用した結果を図7に示す。電線が除去しきれていない腕金等、既存手法[2]では認識できなかったノイズを多く含む部品を認識することに成功している (図7 (b)(c))。ただし、形状が他の部品の一部に含まれる部品で誤認識が確認された (図7 (a)最上部)。また、位置合わせが正しく行われなかった照明器具の誤認識も確認された (図7 (d))。

4 結論

MMS 計測点群中の柱状物体部品に対する姿勢の正規化法、ボクセル表現のマッチングに基づく柱状物体部品認識法を提案した。多くの柱状物体への適用による性能評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 例えば Shi Pu, "Recognizin Basic Structures from Mobile Laser Scanning Data for Road Inventory Studies.," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(6), 201
- [2] 江戸太樹, 他. "パーツ分析に基づいた市街地レーザ計測点群からの柱状物体役割認識", 精密工学会 2014 春季大会講演論文集, (2014).
- [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", 精密工学会 2011 秋季大会講演論文集, F21 (2011)
- [4] Sfikas Konstantinos, Theoharis Theoharis, Ioannis Pratikakis. "ROSy+: 3D object pose normalization based on PCA and reflective object symmetry with application in 3D object retrieval." *International Journal of Computer Vision* 91.3 (2011): 262-279.