

レーザ計測点群からの市街地環境メッシュモデリングに関する研究
 -高精度点分類に基づく柱状物体の自動モデリング-

北海道大学 ○新田 一馬, 伊達 宏昭, 金井 理

要旨

中長距離レーザ計測器の普及により大規模 3 次元計測が可能になってきており, その計測点群は多岐にわたり利用されてきている. 本研究では, 市街地環境の自動モデリング技術の確立を目的として, 主成分分析と領域成長法による点群の高精度点分類に基づく特徴抽出とメッシュフィッティングにより, 市街地レーザ計測点群から電柱や標識等の柱状物体のメッシュモデルを自動生成する新たな手法を提案する.

1 はじめに

近年, 中長距離レーザ計測器の普及により, 室内環境, プラント, 遺跡, 市街地, 都市部などの大規模環境の 3 次元計測が可能となってきた. それに伴い, 計測された点群は, 各種寸法の計測, 3D アーカイブ, 図化, モデリング, 環境検査, シミュレーションなど, 多岐にわたって利用されるようになってきている. レーザ計測点群からの市街地環境の 3D モデル化は市街地環境の認識や各種シミュレーションのために必要である. 市街地レーザ計測点群からの建築物の自動モデル化の研究は多く行われている一方で, 柱状物体, 樹木, 自動車といったその他地物の自動モデル化は研究例が少ない[3].

本研究では市街地環境の自動モデリング技術の確立を目的として, 物体ごとにセグメント化された市街地レーザ計測点群を入力とし, 主成分分析と領域成長法による点群の高精度点分類に基づく特徴抽出と DB 内のメッシュモデルのフィッティングにより, 柱状物体のメッシュモデルを自動で生成する新たな手法を提案する.

2 提案する柱状物体のモデリング手法

2.1 手法概要

本研究で提案する柱状物体のモデリング手法の概要を図 1 に示す. まず, セグメンテーション手法 (例えば, 文献[1]等) により, 市街地レーザ計測点群のセグメンテーションを行う (A-1). セグメンテーションとは, 同じ物体に属していると推定される点群をグループ化 (セグメント化) する手法である. そして, セグメント集合から柱状物体セグメント (点集合) を手動で選択する. 次に, 柱状物体セグメントに対し主成分分析による点分類[2]と領域成長法により平面領域分割を実施する (A-2). そして, 各領域の OBB のアスペクト比と面積を用いた平面・円筒面抽出と点の分類を行う (A-3). 最後に, 点の分類結果に基づき, 平面物体は 2 値画像化を行いハフ変換と多角形近似によりその形状パラメータを抽出, 円柱物体は RANSAC によりそのパラメータを抽出し, それぞれ DB 内から対応するモデルを選択する. その後, そのモデルを点群へフィッティングする (A-4, A-5).

柱状物体のモデリングを行っている関連研究[3]の手法に対して本手法では, ①柱状物体の傾きに依存しないモデル化が可能, ②任意形状の標識のモデル化が可能, ③近接した複数の部品を含む物体がモデル化可能ということが特徴として挙げられる.

2.2 点の分類

2.2.1 平面領域分割 (図 1, A-2)

本手法では, 平面領域分割のためにまず主成分分析による点分類手法[2]を用いた点の分類を行う. 点の分類ではまず, 点 i の近傍点集合の分散共分散行列 \mathbf{M}_i を算出する. 次に, \mathbf{M}_i の固有値 $\lambda_1^i, \lambda_2^i, \lambda_3^i$ ($\lambda_1^i \geq \lambda_2^i \geq \lambda_3^i$) を求め, 式(1)により, 3 つの固有値の大小関係から点 i の分布特徴量 S_1^i, S_2^i, S_3^i を計算する.

$$S_1^i = \lambda_1^i - \lambda_2^i, S_2^i = \lambda_2^i - \lambda_3^i, S_3^i = \lambda_3^i \quad (1)$$

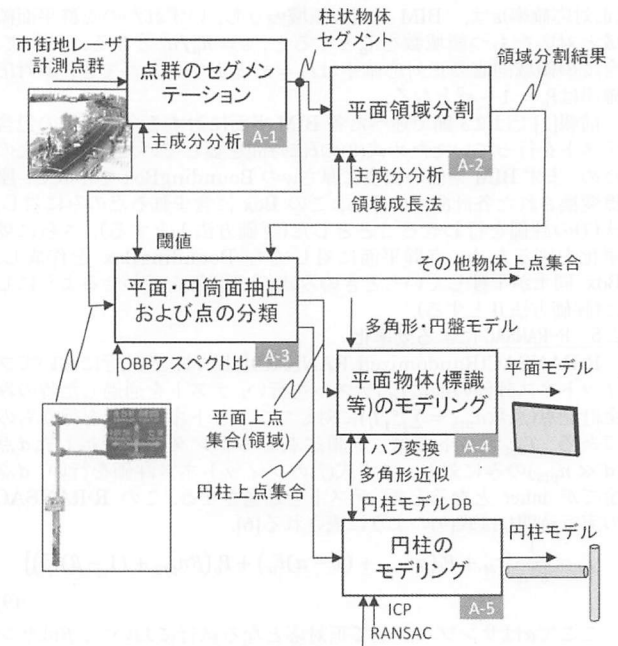


図 1 提案する柱状物体のモデリング手法

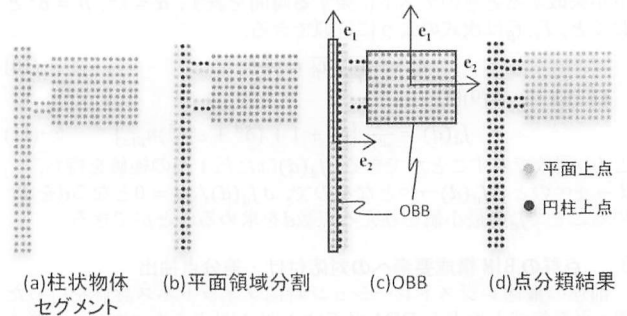


図 2 点分類手法の流れ

そして, 式(2)次元特徴量 D_i により点 i を線上(円柱上)点($D_i=1$), 平面上点($D_i=2$), その他点($D_i=3$)に分類する.

$$D_i = \arg \max_{a \in \{1,2,3\}} (S_a^i) \quad (2)$$

ここで, λ_3^i に対応する固有ベクトル \mathbf{e}_3^i を各点の法線として与える.

次に, 図 2(b)に示すように点分類結果に基づき領域成長法による平面領域分割を実施する. シード点は, 周辺の点分布状態が最も平面に近くなる, 平面上点かつ固有値 λ_3^i が最小となる点とする. そして, 主成分分析から得られたシード点の法線から平面を生成する. 領域拡大条件は①領域境界点 (初期はシード点) からの距離が一定値以内であること, ②生成された平面からの距離が一定値以内であること, ③シード点の法線と新たに領域に加える点の法線との

角度差が一定値以内であること(③の条件は平面上点に対してのみ適用)の3つとする。各領域を S_j とおき、すべての平面上点がいずれかの領域に属するまで処理を繰り返す。

2.2.2 平面・円筒面抽出および点の分類 (図 1, A-3)

主成分分析を用いた点分類[2]では、物体同士が近接するような場合において誤分類が多くなってしまふ。そのため本研究では、それぞれの領域のアスペクト比と面積を用いた平面・円筒面抽出を実施し、点の分類を行う。

各領域 S_j 内の点集合に対し共分散行列を求め、その固有値解析により、固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$) と対応する固有ベクトル e_1, e_2, e_3 を得る。その後、図 2(c)のように固有ベクトル e_1, e_2 と平行な辺を持つ OBB(Oriented Bounding Box) を設置する (L_1, L_2 は辺の長さとする ($L_1 \geq L_2$))。ここで、固有ベクトル e_1 を各点に軸方向として与える。このとき、円柱上の領域はアスペクト比 (L_2/L_1) が小さく、平面領域のアスペクト比は大きくなる。そのため、領域のアスペクト比に対して閾値 τ_w を設定し、 τ_w より大きい場合は平面上点集合(平面領域)、 τ_w より小さい場合は円柱上点集合として分類を行う(図 2(d))。また、部品(信号機等)は小さな平面領域の集合となっていると考えられる。そのため、OBB の面積に対して閾値 τ_s を設定し、この面積が閾値 τ_s 以下となる平面領域はその他物体上点集合として分類する。なお、閾値 τ_w と τ_s は標識の規格に基づいて設定した。

主成分分析のみによる点分類結果と提案手法による点分類結果の比較を図 3 に示す。提案手法により、物体同士の境界付近においても、より高精度に点分類することが可能になった。

2.3 平面物体のモデリング (図 1, A-4)

本手法では、平面領域を 2 値画像化し画像処理手法による物体のパラメータ抽出後、DB 内のモデルをフィッティングすることにより平面物体のモデリングを行う。本研究では、図 4 に示す「三角形標識」、「四角形標識」、「五角形標識」をモデリング対象とする。

まず、図 5 に示すように A-3 で得られたそれぞれの平面領域中の点を平面へ投影し、2 値画像を生成する。そして、その 2 値画像に対しモルフォロジ処理(Erosion と Dilation)によるノイズの除去を行う。

得られた 2 値画像に対し Canny フィルタによるエッジの抽出後、ハフ変換を用いて円の検出を行う。ハフ変換により円の中心と半径の情報を得る。得られた半径の情報をを用いて DB 内の円盤モデルのスケーリングを行い、得られた中心の位置と平面領域の重心位置とが一致するようにモデルを平行移動後、平面の法線が一致するようにモデルを回転する。そして、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムにより詳細位置合わせを行う。

フィットした円盤部分を 2 値画像から除去後、輪郭追跡により輪郭を検出する。そして、Douglas-Peucker 法により多角形近似を行う。その多角形の形状により、どの標識であるかを判定し、DB 中から対応する多角形モデルを選択する。そして、近似多角形の辺の長さの情報をを用いて多角形モデルのスケーリングを行う。平面領域の重心位置とモデルの重心位置がと一致するようにモデルを平行移動後、平面の法線が一致するようにモデルを回転する。その後、ICP により詳細位置合わせを行う。

2.4 円柱のモデリング (図 1, A-5)

円柱上点集合に対し、領域成長法を実施することで円柱領域を抽出する。拡大条件は①領域境界点からの距離が一定値以内であること、②シード点との軸方向が一定値以内であることとする。

各円柱領域に含まれる点の軸方向の平均を計算し、その平均の軸方向を円柱領域の軸とする。また、各円柱領域中の点を推定した軸に垂直に交わる平面へ投影し、RANSAC (RANdom SAmple Consensus) を用いて投影点に対し円のフィッティングを行う。求めた円の半径をその円柱領域の半径 r とする。円柱モデル DB から半径 r に最も近い

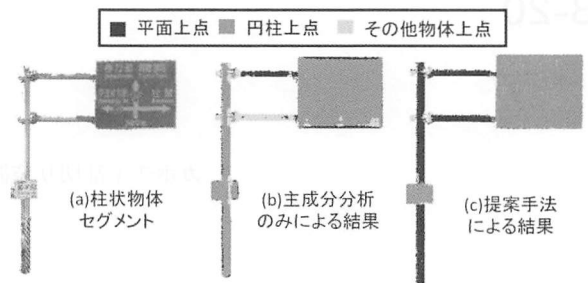


図 3 点群の点分類結果



図 4 対象とする標識

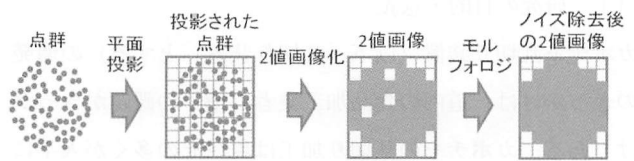


図 5 平面領域の 2 値画像化

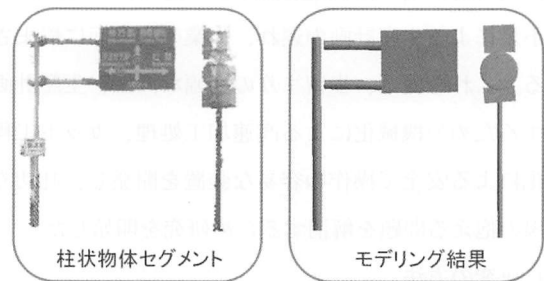


図 6 メッシュモデリング結果

モデルを選択し、円柱領域の大きさにあわせてモデルのスケーリングを行う。モデルの重心点と領域の重心点が一致するようにモデルを平行移動し、円柱領域の軸方向ベクトルとモデルの軸方向ベクトルが一致するようにモデルを回転する。その後、ICP を用いて詳細位置合わせを行う。

2.5 点の除去

メッシュモデルの位置合わせを行った後、モデルから一定の距離以内となる点群の除去を行う。

3 柱状物体のモデリング結果

本実験に用いた入力柱状物体セグメント集合は、手でセグメント化した市街地の MMS レーザ計測データ(北海道伊達市)を使用した。提案手法による柱状物体のモデリング結果を図 6 に示す。本手法により、自動で柱状物体のモデリングを行うことができ、複数の近接した標識等も正しくモデル化されることが確認された。

4 結論

本研究では、レーザ計測点群からの柱状物体の自動モデリング手法を開発し、目視によりレーザ計測点群からメッシュモデルを生成できていることを確認した。今後の課題としては、部品(信号機等)や樹木等のモデリングが挙げられる。

参考文献

[1] H. Date et al. "SEGMENTATION OF MMS POINT CLOUDS OF URBAN AREA BASED ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS", Proc.The International Symposium on Mobile Mapping Technology, p106,(2013)
 [2] J. Demantke et al. "Dimensionality Based Scale Selection in 3D Lidar Point Clouds", Proc. Laser Scanning 2011, Vol. XXXV, Part 5/W12, (2011)
 [3] H. Masuda et al. "SHAPE RECONSTRUCTION OF POLES AND PLATES FROM VEHICLE-BASED LASER SCANNING DATA", Proc.The International Symposium on Mobile Mapping Technology, p111,(2013)