

大規模環境レーザ計測点群の効果的 LOD 表示のための適応的描画プリミティブ選択

北海道大学 ○前野 峻, 伊達 宏昭, 金井 理

要 旨

大規模環境レーザ計測点群の表示は、計測環境の直感的な理解や概観を得るために必要である。しかし、視点が点群に近づいた際、点のみによる表示では面的な情報がないため、計測環境の目視による理解が困難となる。本研究では大規模環境レーザ計測点群の目視による理解を容易にするために、視点からの距離や点分布状況に応じて描画プリミティブ（点、線分、スプラット、メッシュ）を適応的に選択した点群の LOD (Level of Detail) 表示手法について述べる。

1. はじめに

近年、様々な計測方式によるレーザ計測技術の進歩に伴い、屋内から市街地といった環境の大規模点群が容易に得られるようになってきている。これらの点群はシミュレーション解析、都市計画、設備管理といった様々な分野で活用されている。点群の表示は、計測された環境を確認するために必要な機能であるが、点のみによる表示では面的な情報がないため、計測された環境の目視による理解が困難となる場合がある。点群のレンダリング手法としてスプラットイングに代表されるポイントベースレンダリング[1]やメッシュモデルを用いる方法があるが、計測システムにより環境の計測点群は性質（点分布、点密度）が大きく異なり、また、市街地などの大規模環境には線的、面的、立体的な様々な物体が異なるスケールで存在するため、既存の手法のみで効果的な表示を得ることは困難である。

そこで、本研究では大規模環境レーザ計測点群に対し、視点からの距離や点分布状況に応じて描画プリミティブ（点、線分、スプラット、メッシュ）を適応的に選択した点群の LOD 表示手法について述べる。

2. 提案する点群表示用モデル生成と LOD 点群表示手法

2.1. 概要

本研究では、前報[2]の LOD 表示手法に加え、描画プリミティブ（点、線分、スプラット、メッシュ）を適応的に選択して事前に生成した表示用モデルを用いて、計測された環境の目視による理解を容易にするための点群表示を行う。図 1 に示すように、視点から点群までの距離が一定値以上の場合、視点からの距離に応じて八分木により階層的に同様ダウンサンプリングされた点を表示する。視点から点群までの距離が一定値未満になった場合には、オリジナル点を表示し、さらに視点が近づいた場合、線分、スプラット、メッシュを適応的に選択して生成した表示用モデルを表示する。本研究では、表示用モデル生成の際に、各点が線状物体、平面物体、立体的な物体を構成する点のいずれかであるかを認識し、各タイプの物体を適切かつ効率良く表示できるように、線状物体構成点では線分集合、平面物体構成点では四角形面分（スプラット）集合、立体的な複雑さをもつ物体の構成点では三角形メッシュをそれぞれ描画プリミティブとして選択的に用いる。

提案する点群表示用モデル生成手法の概要を図 2 に示す。本手法では、はじめに主成分分析とリージョンローイングを用いて各点を線上点、平面上点、その他物体上点へ分類する。次に、点の分類結果に基づき、線状物体セグメント、その他物体セグメントを生成する。最後に、点分類、セグメンテーション結果から描画プリミティブを作成し、表示用モデルを生成する。

2.2. 点の分類 (図 2(A1))

局所的な点分布状態を調べるために、主成分分析を行う。まず、点 i の近傍点集合の分散共分散行列 M_i を算出する。次に、 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。

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

ここで、 α は計測システムの特徴（点分布の偏り）に応じた補正係数であり、実験に基づき $\alpha = 10$ と設定した。そして、式(2)の次元特徴量 D_i により点 i を線上点 ($D_i = 1$)、平面上点 ($D_i = 2$)、その他物体上点 ($D_i = 3$) に分類する[3]。

$$D_i = \arg_{d \in \{1, 2, 3\}} \max(S_d^i) \quad (2)$$

MMS 計測点群に対し、以上の方法で点を分類した結果を図 3(a) に示す。主成分分析に用いる近傍点は半径 1.0m の球内に含まれる点とした。

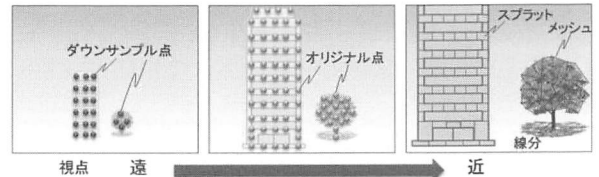


図 1 視点からの距離に応じた LOD 表示

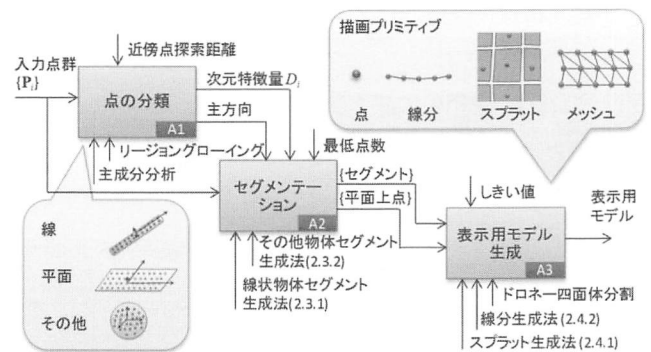


図 2 提案する点群表示用モデル生成手法

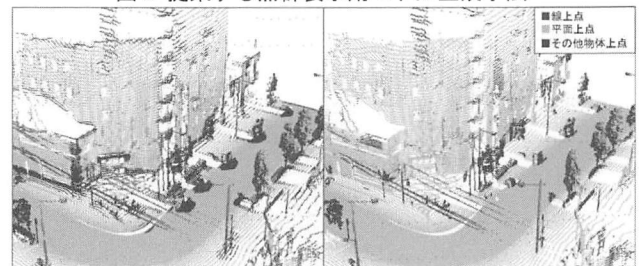


図 3 主成分分析による点分類結果

主成分分析を用いた点の分類では、平面や物体同士の境界付近において、本来平面上点である点が、その他の物体上点と誤分類されてしまう (図 3(a))。そこで、平面上点の分類精度を上げるために、リージョンローイングを用いた平面上点の再分類を行う。まず、 $D_i = 2$ かつ S_2^i が最大の点をシード点とし、主成分分析から得られたシード点の法線 (λ_3^i に対応する固有ベクトル) から平面を生成する。そして、領域境界点 (初期はシード点) からの距離と、生成された平面からの距離が一定値以内であることを拡大条件としたリージョンローイングを実施し、平面上点の再分類を行う。本処理において、平面上点に新たに分類された点の次元特徴量を改めて $D_i = 2$ とする。リージョンローイングを用いることで、図 3(b) に示す通り、本来は平面物体上の点であっても、主成分分析による点の分類で線上、その他物体上点と誤分類されていた点を正しく平面上点として分類することが可能となった。

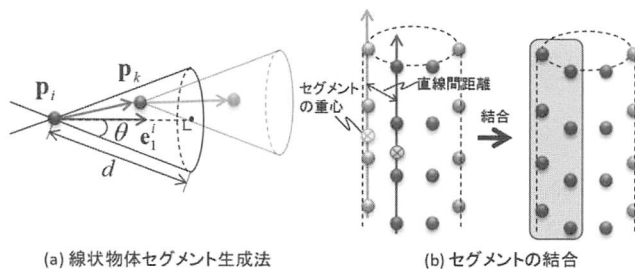
2.3. セグメンテーション (図 2(A2))

2.3.1. 線状物体セグメントの生成

平面上点以外の点群に対して、電柱等の柱状物体、電線等の線状物体セグメントを生成する。まず、 $D_i = 1$ かつ S_1^i が最大の点をセグメントのシード点とする。次に、図 4(a) に示すように、シード点 i とその近傍点との差分ベクトルと、点 i の固有値 λ_1^i に対応する固有ベクトル e_1^i との成す角度が θ 未満、かつ点 i からの

距離が d 未満という条件を満たす近傍点のうち、距離が最小の点 P_k を順次たどり、それらをセグメントに加えてゆく。

電柱などの太さを持った物体では、この方法を用いると平行な複数の線セグメントが生成されるので、各線セグメントでフィッティングした直線間距離が一定値以下のセグメントを結合する。図 4(b) に示すように、セグメントの重心が一定の距離内にあるセグメントを近傍セグメントとし、これらのうち、平均主方向がほぼ同一で、かつフィッティングした直線間の最短距離が一定値以下のセグメントを結合する。



(a) 線状物体セグメント生成法 (b) セグメントの結合

図 4 線状物体セグメントの生成

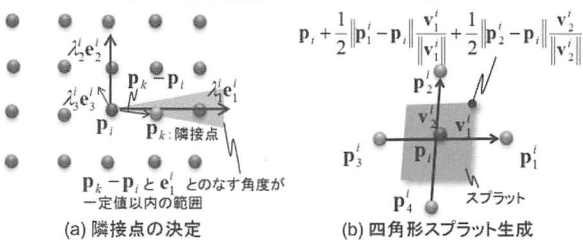
2.3.2. その他物体セグメントの生成

平面上点、線上点以外の点群に対し、植生や車等の各物体にセグメンテーションを行う。 $D_i = 3$ の点をシード点とし、距離が一定値以内であることを拡大条件としたリージョン Growing により、その他物体セグメントを作成する。

2.4. 表示用モデル生成 (図 2(A3))

2.4.1. スプラット

平面上点に対し、前報[2]の手法でスプラットを生成する。スプラットの形状には、レーザ計測点群の規則性から点間の隙間を埋めるために適している四角形を用いる。初めに、主成分分析により得られた点 i の固有値 $\lambda_1^i, \lambda_2^i, \lambda_3^i$ ($\lambda_1^i \geq \lambda_2^i \geq \lambda_3^i$) に対応する固有ベクトル e_1^i, e_2^i, e_3^i から、点 i の接平面に対応する主方向 e_1^i, e_2^i を得る。次に、点 i の隣接点 $P_i^* - P_i$ を探索する。図 5(a) に示すように、隣接点は、 $P_k - P_i$ ($P_k \in I^*$, I^* は点 i の近傍点集合) と $\pm e_1^i, \pm e_2^i$ のそれぞれとのなす角度が一定値以内で、かつ点 i との距離が最小の点として得る。次に、図 5(b) に示すように隣接点を結んだベクトルをそれぞれ v_1^i, v_2^i とおき、スプラットの各頂点位置は点 i から v_1^i, v_2^i それぞれに沿って、隣接点との距離の約半分の位置とする。各頂点を結んだ四角形スプラットを生成する。



(a) 隣接点の決定 (b) 四角形スプラット生成

図 5 四角形スプラットの生成

2.4.2. 線分

線状物体セグメントに対し、初めに、セグメント内の点群の重心 g を通り、各点の固有ベクトル e_1^i の平均を方向とする直線を軸 v_g として得る。次にセグメント内の各点を軸 v_g 上に投影し、順に繋ぐことで線分を生成する。

2.4.3. メッシュ

その他物体セグメントに対し、三角形メッシュを生成する。本実装ではドロネー四面体分割に基づく手法を用いた。

3. 点群表示結果と評価

提案手法による MMS 市街地計測点群 (1,585,985 点) の表示結果と他の手法による表示結果の比較を図 6 に示す。視点から点群までの距離が離れている場合、LOD 表示により少ない点数で抜けのない効果的な表示が可能である (図 6(a), (b))。視点から点群までの距離が近い場合、点のみによる表示結果 (図 6(d)) と比べて、本手法の表示結果 (図 6(c)) は点間の隙間が補完されているため、特に視点が近い物体の目視による理解が容易になっている。スプラットのみによる表示結果 (図 6(e)) は、平面のプリミティブで 3 次元的な物体を再現することが困難であるため、植生の表示に不自然さがある。さらに、点の分布状況に合わせたプリミティブ生成が行われていないため、電線部分においてスプラットが表示されており、不自然な表示になっている (図 6(h))。メッシュのみによる表示結果 (図 6(f)) においても、電線の部分においてメッシュが生成され不自然な表示になっている (図 6(i))。また、道路の端 (図 6(i)) や建物の高度の高い側面など点密度が低い部分において、メッシュが生成されない場合があった。平面領域においてこの問題は本手法で改善可能である (図 6(g))。

4. まとめ

視点からの距離や点分布状況に応じて描画プリミティブ (点、線分、スプラット、メッシュ) を適応的に選択した点群表示手法を開発し、大規模環境レーザ計測点群の目視による容易な理解に効果があることを確認した。今後の課題としては、スプラットのブレンド、他のプリミティブの利用があげられる。

謝辞

本データは株式会社トプコンならびに精密工学会サイバーフィールド構築技術研究分科会から提供を受けた。

参考文献

[1] L., Kobbelt et al., "A Survey of Point-based Techniques in Computer Graphics", Computers & Graphics 28, pp. 801-814, (2004).
 [2] 前野峻 他, "大規模複数レーザ計測点群の効率的な検索・表示のための

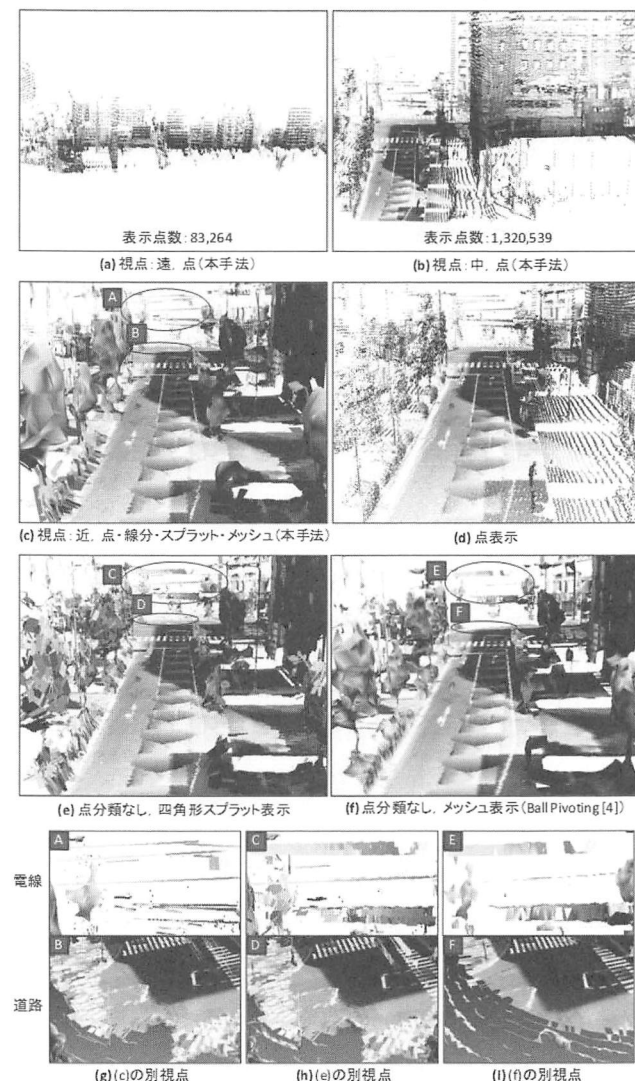


図 6 点群の表示結果

データ管理手法に関する研究", 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, F03, (2011).
 [3] J., Demantke et al., "Dimensionality Based Scale Selection in 3D Lidar Point Clouds", Proceedings of Laser Scanning 2011, Vol. XXXVIII, Part 5/W12, (2011).
 [4] F., Bernardini et al., "The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, Issue 4, pp. 349-359, (1999).