

複数 TLS 点群からのテクスチャ付ポリゴン生成

北海道大学 ○今井心一朗, 伊達宏昭, 金井理
産機エンジニアリング株式会社 森部義規, 中村将基

要旨

近年, 固定式レーザスキャナで取得される実環境の色付点群が, 土木, 建築, プラント等の分野で広く利用されている. 点群の 3次元表示にはデータ量の膨大さによる速度低下や点の隙間による視認性の低下といった問題がある. 本研究はこれらの問題を解決可能な点群からの表示用テクスチャ付ポリゴン生成手法を提案する. 本報告では点群中の平面領域および掃引体領域を, 透明部を持つテクスチャをマップした矩形ポリゴンおよび三角形ストリップで表現する手法を提案する.

1. はじめに

固定式レーザスキャナ (TLS) による中・長距離レーザ計測技術は, プラント, 測量, 土木, 建築, 文化財などの幅広い分野において, 図面生成, モデル化, 維持管理, 各種計画, デジタルアーカイブなどに利用されている. 点群の表示は, 計測データの確認や計測した環境の把握のために行われるが, 膨大なデータ量 (数千万~数億点) による表示速度の低下や点の隙間による視認性の低下といった問題がある. また, TLS は, 物体等で遮蔽された箇所は計測できないため TLS による 3次元計測は複数箇所から行われ, 点群表示には複数 TLS 点群が用いられる.

そこで, 本研究では上述の点群表示上の問題を解決可能な, 複数 TLS 点群を入力とした表示用モデル生成法の確立を目的とする. 本報では, 床面や壁面などの平面領域および配管や鋼材などの掃引体の領域を, 透明部を含むテクスチャを貼付けた単純なポリゴンで表現する手法を提案する.

2. 提案するテクスチャ付ポリゴン生成手法

2.1. 概要

本研究で提案する表示用モデルは, 図 1 に示すように点群から生成したテクスチャ付きポリゴンと点群の混合である. 本手法では, 点群中の平面領域および掃引体領域を, 矩形ポリゴンと三角形ストリップで表現する. どのような境界を持つ領域に対してもこれらの単純なポリゴンを使用できるようにするため, 領域境界形状は, 透明部を含むテクスチャ画像を用いて表現する. なお, 本研究で扱う掃引体は, 断面形状の掃引線が直線のものに限定し, かつ, 円錐面のように, 側面が掃引線に対して一定角度の傾斜を持ったものも含めるものとする.

提案手法の概要を図 1 に示す. 領域抽出 (A1) では入力各点群ごとに, 平面領域, 掃引体領域, およびその他の領域の各集合を抽出する. 平面ポリゴン生成 (A2) では, A1 で抽出した平面領域集合から同一平面上にある領域を統合し, 統合領域の点集合を包含する矩形ポリゴンおよび透明部付テクスチャ画像を生成する. 掃引体ポリゴン生成 (A3) では, 同一掃引体上の掃引体領域の合成と三角形ストリップおよび透明部付テクスチャ画像を生成する.

2.2. 領域抽出

領域抽出の概要を図 2 に示す. 領域抽出では, 初めに各入力点群からエッジ点で囲まれる初期領域を抽出し, 法線ガウス球を用いて, 各領域を平面領域, 掃引体領域, その他領域のいずれかに分類する.

初めに, 領域抽出における近傍探索の効率化を可能とするために点群の構造化を行う. TLS は仰角・方位角を一定間隔で変化させながらレーザによる測距を行い, 計測点を取得するため, 仰角と方位角を座標軸とした 2次元格子上に点を配置する事で構造化点群を得る.

次に, 領域成長法を用いて, 構造化点群上でエッジ点を

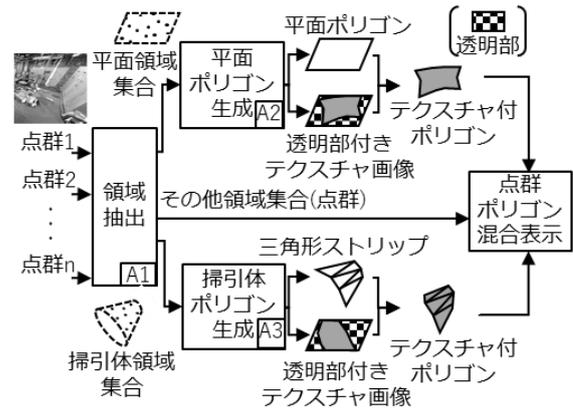


図 1 提案手法概要

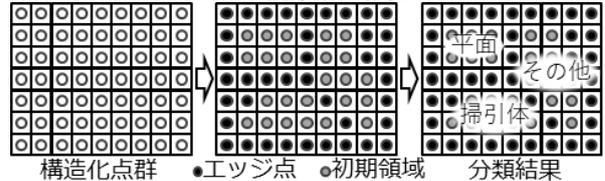


図 2 領域抽出概要



図 3 ガウス球による領域分類

境界とする点集合を初期領域として抽出する. 本手法では, 2種類のエッジ点を用いる. 1つ目は連続面の境界点である. 構造化点群上の隣接する 2 点の点間距離が, レーザの最大許容入射角から定まる最大許容距離を超える場合に, その 2 点を連続面の境界と判定し, エッジ点として抽出する. 2つ目は高曲率部の点である. 周囲の点から定義される三角形のペアのうち, 一つでも法線間の角度が閾値を超えた場合には点 i を高曲率部の点と判定し²⁾, エッジ点として抽出する. また, この時の三角形集合の法線の平均を点 i の法線とする.

次に, ガウス球を用いて抽出された初期領域を分類する. まず, 領域中の全点の法線をガウス球に投影する. 図 3 に示すように, 平面領域では投影像は球面上の一点に集中し, 掃引体領域では, 投影像はある平面上にのる. この特性を利用して, 本手法では, 投影像に対する主成分分析を行い, 最大の固有値 (分散) が小さな領域を平面領域, 2つの固有値が大きくかつ残りの固有値が小さな領域は掃引体領域として分類する. この時, 第 3 主成分軸を平面領域の法線および掃引体領域の掃引軸とし, 掃引体表面の傾斜角を法

線の像にフィットする平面とガウス球原点との距離から算出する。

2.3. 平面テクスチャ付ポリゴン生成

平面テクスチャ付ポリゴン生成では、初めに同一平面上の領域を統合し、統合された領域を包含する矩形ポリゴンを生成する。最後に、領域の色情報を表現する透明部付テクスチャ画像を生成する。

初めに、抽出された各平面領域に対し平面を最小二乗法でフィットする。平面領域集合の中で、法線の角度差および原点からフィット平面までの距離の差が閾値未満となる領域を統合する。

次に、矩形ポリゴンおよび透明部付きのテクスチャ画像を生成する。図4(a)に示すように、まず、領域内の点をフィット平面に投影し、投影点群を包含する規則格子をフィット平面上で生成する。規則格子の軸は平面領域の点群に対する主成分分析の結果得られる第1及び第2主成分軸とする。そして、規則格子の四隅を頂点とする矩形ポリゴンを生成する。その後、平面領域の輪郭点および隣接する輪郭点を結ぶ線分を含むセルで囲まれた格子中の領域を領域成長法により内部セルとして抽出する(図4(b)(c))。各内部セルに、そのセルが含む点集合の色情報の平均値を割り当て、点を含まない内部セルの色情報は近傍セルの色情報を用いて補間する。内部セル以外のセルの色情報は透明色に設定し(図4(d))、色情報が割り当てられた格子をテクスチャ画像として出力する。

2.4. 掃引体テクスチャ付ポリゴン生成

掃引体テクスチャ付ポリゴン生成では、初めに掃引体領域の断面を近似する点列を生成する。そして、断面近似点列を用いた掃引体形状の三角形ストリップを生成する。最後に、掃引体領域の色情報を表現する透明部付テクスチャ画像を生成する。

まず、抽出された掃引体領域中の全点を掃引体表面の傾斜に沿って下側境界の平面上に投影する(図5(a))。次に、投影面上で2値画像(点を含むセルの値が1, その他は0)を生成し、2値画像の輪郭抽出と輪郭に対するDouglas-Peucker法を用いて掃引体領域の断面の近似点列を得る(図5(b))。そして、生成された点列の各点を掃引体の側面に沿って掃引体の高さ分移動することで上側境界の近似点列を生成する(図5(c))最後に、生成された点列を用いて三角形ストリップ(掃引体メッシュ)を生成する(図5(d))。

テクスチャ画像生成では、まず、テクスチャ画像の元となる規則格子を生成し、図6に示すように、規則格子と掃引体メッシュの四隅の点を対応付ける。また、掃引体メッシュの上/下側点列の各点は、隣接点間の長さ比を保つ位置として格子の上/下側境界と対応付ける。そして、掃引体領域内の点群の点がかかる掃引体メッシュの三角形を見つけ、面積座標により格子中の対応セルを求め、以降、2.3節と同様にセルへの色の割り当てとテクスチャ画像生成を行う。

3. テクスチャ付ポリゴン生成結果

TLSで熱源機械室を3カ所から計測した点群(約3千万点, 新菱冷熱株式会社提供)に対してテクスチャ付ポリゴン生成を行った結果を図7に示す。結果より、透明部を含むテクスチャを用いることにより、複雑な境界を持つ領域を単純なポリゴンで表現できることを確認した。更に、テクスチャ付ポリゴンは点の隙間を埋めたモデル表示を可能とし、点群と比較して計測した環境の視認性を向上できる事を確認した。また、幾つかのポリゴン化された領域に関してデータ量低減の効果を確認した結果を表1に示す。多くの領域でポリゴン化によるデータ量の低減(69.9%~4.3%)が確認できたが、一方で、透明部の多い領域はデータ量低減の効果が低いことを確認した。

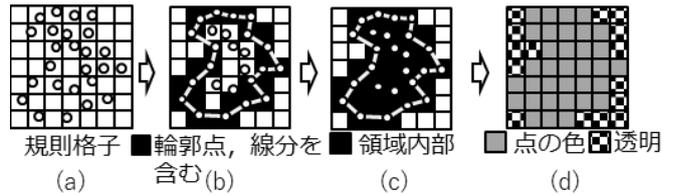


図4 テクスチャ画像生成

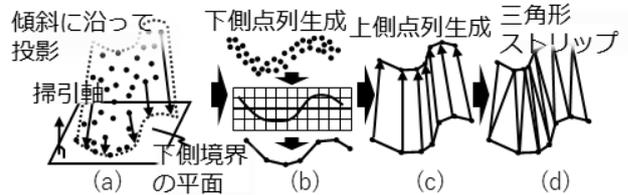


図5 三角形ストリップ生成

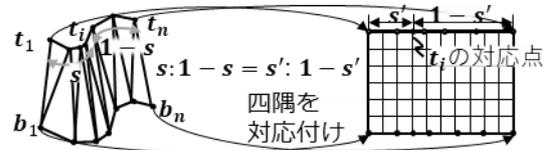


図6 規則格子生成

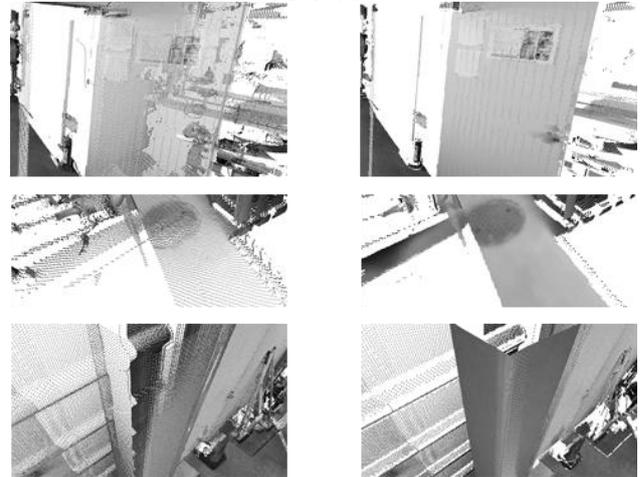


図7 入力点群(左)とテクスチャ付きポリゴン(右)

表1 データ量比較*

		領域1	領域2	領域3	領域4
色付き点群	点数[$\times 10^3$]	6599	172	59	451
	A:データ量[MB]	106	2.76	0.938	7.22
テクスチャ	画素数[$\times 10^3$](透明画素率[%])	4069(65.5)	482(86.1)	378(93.9)	780(66.2)
	B:データ量[MB]	16.3	1.93	1.51	3.12
付ポリゴン	データ量割合(100 \times A/B)[%]	15.4	69.9	161.0	4.3

*各点は16[byte](座標値12[byte]+反射強度1[byte]+色3[byte]), 1画素は4[byte](色3[byte]+透明度1[byte])

4. おわりに

複数 TLS 点群から平面領域および掃引体領域を抽出し、各領域の透明部を含むテクスチャ付ポリゴンを生成する手法を提案した。実験により、透明部を含むテクスチャ付ポリゴンは、複雑な境界を持つ領域を単純なポリゴンで表現できること、点群と比較して視認性を向上させること、およびデータ量の低減に効果があることを確認した。

参考文献

- Hiroshi Masuda, *et al.* Reconstruction of Polygonal Faces from Large-Scale Point-Clouds of Engineering Plants, *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(4), 322-329 (2016).
- Erzhuo Che, *et al.* Fast edge detection and segmentation of terrestrial laser scans through normal variation analysis, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W4 55-57 (2017).