

大規模な移動計測データの高速表現とメッシュ生成

東京大学 ○賀君, 増田宏

Mesh Generation and Efficient Display of Large-Scale Mobile Mapping Data

The University of Tokyo: Jun He, Hiroshi Masuda

According to the rapid improvement of laser scanners, point-clouds captured by Mobile Mapping System (MMS) are becoming extremely large. It is difficult to process efficiently such huge data in a reasonable time. In this paper, we first propose a new data structure of point-clouds captured by MMS. Based on this data structure, scan-line segments are extracted from the point-cloud, and line-groups are defined using neighbor scan-line segments. Our data structure is suitable for efficient processing, parallel processing, out-of-core methods, and multi-resolution. Then, we apply our data structure to mesh generation and multi-resolution rendering.

1. はじめに

移動計測装置, Mobile Mapping System (以下 MMS) は走行しながら道路周辺環境の 3 次元計測を行い, 点群を効率的に取得する。しかし, 長距離の計測を行うため, 取得される計測データは大規模である。特に, レーザスキャナの進歩により, 点群の密度が急速に増加しており, データは非常に膨大になっている。取得されたデータには路面点群や様々な対象物が混在しており, 3 次元モデルの再構築には計算コストの高い様々な処理が必要となる。

本研究では, 計測で得られた点群データの特徴に基づいて点群のグルーピングと構造化を行い, メッシュ生成や表示処理における高速化・並列化・多重解像度化・アウトオブコア化が容易に行える。また形状抽出・処理にも適した新しい点群データ構造を提案する。

非構造点群を処理する手法は CG 分野で多く提案されているが, それらの手法では非常に膨大な点群を効率的に処理することは難しい。本研究では, 移動計測データの性質を用いて点群を構造化することにより, 様々な応用での処理を効率化することを目的とする。

2. レーザスキャナのタイプ

MMS に搭載されるレーザスキャナには様々な種類がある。たとえば, SICK 社のスキャナでは, 180° の範囲でスキャンし, 点データはラインごとに取得される。

一方で Riegl 社のレーザスキャナを搭載した MMS では, 360° 連続してスキャンを行うため, 点群データは計測ラインごとに分かれています。図 1 のように, 路面データと上空の物体が混在したデータとなる。このタイプの点群では, 我々の提案した計測ラインに基づいた高速な点群処理手法[1]はそのまま適用できない。

また, 移動計測用のレーザスキャナの点群の密度は, 飛躍的に増大している。表 1 にはレーザスキャナの仕様を示す。VQ-450 と Profiler9000 は, 最新モデルである。我々が文献[1]の実験で用いた SICK 社のスキャナでは計測レートを最大の $1/4$ に落としていたが, それに比べて最新モデルでは最大 $40\sim 80$ 倍の点群を取得できる。

レーザスキャナの点群密度が増加していくと, メモリや処理時間

も大幅に増大していく。もし, 非構造の点群しか得られないならば, 大規模点群の効率的な処理は非常に難しくなってくる。そこで, 本研究では計測された点群の空間的な位置関係に着目し, MMS による点群データに適した汎用的な点群構造化手法を考える。

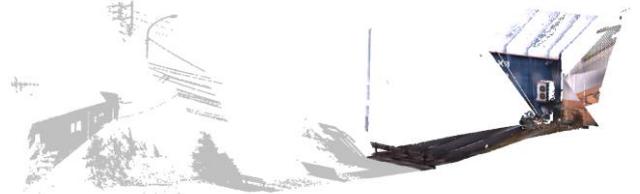


図 1 360 度視野で取得される MMS データ

表 1 レーザスキャナのタイプと仕様

レーザ スキャナ	SICK LMS291	Riegl VQ-250	Riegl VQ-450	Profiler 9000(Z+F)
最大点数 [点/秒]	54,000 (x1)	300,000 (x5.5)	550,000 (x10)	1,016,000 (x19)
回転数 [Hz]	75	100	200	200

3. 提案手法

3.1 計測ラインに基づいた点群データの構造化

ラインごとに分かれていない点群に関しても, 回転数 f [Hz] がわかっているならば, $1/f$ 秒ごとにラインに区切ることは可能である。しかし, 360° を計測したラインには様々な地物が混在していることを考えると, 必ずしもその後の処理に有利ではない。

そこで, 本研究では, 連続領域ごとに点群を分割して保持することを考える。点群データに対しては, kd-tree を用いたセグメンテーション手法がよく使われている[2]。しかし, kd-tree による空間的な近接性のみに着目したグルーピングでは, 点の個数の増加に伴い, 処理が遅くなる。また, 計測順序に関する情報は保存されない。

そこで, 本研究は, 計測順序の情報を利用して, 効率的に点群を連続領域にグルーピングする手法を考える。処理手順を以下に示す。

- ① 計測順に連続する点を調べ、ある閾値 d 以内の距離にあれば同一のラインとする。それらのラインを基本ラインと呼ぶ。
- ② 基本ラインが空間的に近くにあれば、同一のグループとする。それにより、同一の地物の点群は同じグループとなる。

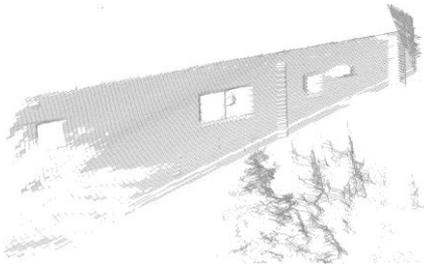


図2 基本ラインの生成

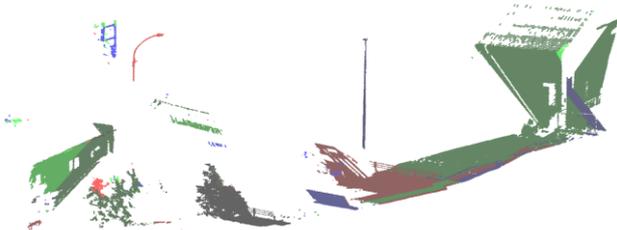


図3 基本ラインを用いたグルーピング

なお、点群のグルーピング化では、閾値 d を適切に決める必要がある。 d が大きすぎると、二つの地物がつながってしまい、逆に小さすぎると、断片的なラインが多く出てしまう。

閾値 d は、使用するレーザスキャナの回転速度に応じて決めることができる。本研究で今回用いたデータは、VQ-250 (100Hz) で計測しているため、時速 40km の走行では、スキャナ 1 回転で 0.11m 進む。レーザ光と計測面の角度を 70 度まで許容したとすると、ラインの間隔は $0.11/\cos 70^\circ$ より、0.32m となる。そこで、本研究では、閾値 d を 0.3m とした。

図 2 は、本手法により生成された基本ラインを示している。点の抜けなどにより、断片的な短いラインも生じるが、前後のラインの第一主成分によって方向を比べ、方向ベクトルがある閾値以内であれば、それらを一本のラインにつなげている。

基本ラインのグルーピングでは、点列間の距離を求める必要があるが、ここでは高速化のために以下の手順を用いた。

- ① 基本ラインの x , y , z 値のそれぞれの範囲を求める。
- ② 二つの基本ラインに関して、 x , y , z 値のすべての範囲に重なりがある場合は同じグループとする。
- ③ x , y , z の中で 2 つの値域が重なる場合は、3 つ目の座標に関してライン間の距離を求め、閾値以下であれば、同じグループに属させる。
- ④ 既存のいずれのグループに属さない場合は、グループを新規に作成する。

以上のグルーピングを施した点群データの例を図 3 に示す。

3.2 グループごとの高速なメッシュ生成

また、本データ構造においては、グループ内の基本ライン、基本ライン内の点群は、いずれも計測順序にしたがって順序付けがなさ

れている。したがって、これらの基本ラインに対して、我々の提案したメッシュ生成する手法[1]を適用することができる。この手法は、隣り合うラインごとに三角形を生成していく手法で、極めて高速な処理ができるのが特徴である。また、グループごとに独立して処理を行うため、並列処理やアウトオブコア処理が容易に実現できる。

また、生成されるメッシュの詳細度は、時系列に並んだラインの間引きと、ラインに属する点の間引きによって、容易に制御することができる。

3.3 多重解像度を用いた点群データの表現

表 1 に示したように、今後もさらに高密度なスキャナが開発されることが予想される。様々な応用において、高密度の点群処理は、メモリや処理時間の増大を招く。しかし、実際の応用では、最高レベルの解像度が不必要なことも多い。その場合、グループ内のラインの間引き処理でこの問題に対応できると考えられる。

一方で、表示を目的として、より柔軟な多重解像度による詳細度制御を考える。本研究では、グループ構造を利用してグループごとに八分木を用いた階層的なデータ構造を考える。各グループは、点の存在範囲が限定されているため、八分木は有効である。

点群を表示する際には、レンダリング画面上の距離を計算し、ある閾値以上であれば、下位の階層のノードを探索し、より詳細化する。閾値以下であればその葉ノードの点を表示する。

図 4 は例として、 $1/5$ の点密度で表示した全体図 (左) と最高密度で表示した図を示したものである。



図4 多重解像度を用いた点群の表現

4. まとめ

本稿では、移動計測用レーザスキャナの進歩に伴って増大していく点群データに対処することを目的として、新しい点群構造化手法を提案した。また、提案した点群データ構造の応用として、高速なラインベースのメッシュ生成と、八分木構造を用いた多重解像度による点群表示手法を示した。

今後は、様々な点群データに適用して、グルーピングの品質の評価を行う予定である。また、メッシュ生成や多重解像度表示の高性能化も検討していく。さらに、本研究で提案した点群データ構造の圧縮表現についても検討していく予定である。

参考文献

- [1] 賀君, 増田宏: 移動計測データから 3 次元道路モデルの構築, 平成 24 年度精密工学会春季大会 2012
- [2] 池田邦彦, 増田宏: 移動計測データのセグメンテーションと地物形状抽出 (第二報), 平成 24 年度精密工学会春季大会 2012