

KD-Tree を用いた MMS データからの建物壁面の抽出手法

曾 鑫, 荒木 俊輔, 碓崎 賢一

A Building Surface Extracting Method from The Mobile Mapping System Data using KD-Tree

Xin ZENG, Shunsuke ARAKI, Ken'ichi KAKIZAKI

Abstract: We have been studying a construction method of the 3D virtual space which generates 3D models of buildings and reconstructs the real landscape using point cloud data by MMS. In the present paper, we propose a method extracting the surface of buildings. First, delete the horizontal plane by the variance of the height direction. Next, the method constructs k-dimensional trees from point cloud data, and segments point cloud data using the clustering of neighborhood points which connect under a certain threshold. Finally, the method detects planes by RANSAC, and extracts the surface of buildings whose area is more than a certain threshold.

Keywords: モービルマッピングシステム(mobile mapping system), KD ツリー(k-dimensional tree), RANSAC(random sample consensus), 建物壁面(building surface), 抽出(extract)

1. はじめに

近年の三次元形状計測技術及び高精度ポジショニング技術の発展に伴い, Mobile Mapping System(以下 MMS)が新世代の測量方法として注目されている. MMS は, 車載のレーザースキャナやカメラ, GPS, IMU(慣性計測装置)などの機材を用い, 走行しながら三次元計測を行うことで, 道路や道路周辺の点群データを大規模かつ効率的に取得できる. 一方, 都市計画, 景観シミュレーション, ナビゲーションサービスなど多くの分野では, 点群データではなく, 面で構成された建物などの三次元モデルが求められている.

そこで, 我々は MMS により取得された点群データを用いて, 建物などの 3D モデルを生成し, 実際の都市景観を再現する三次元仮想空間の構

築法について研究を進めている. 本稿では, その第一段階として, MMS の点群データから三次元仮想空間を構成する主たる要素の一つである建物壁面を抽出する手法について報告する.

2. KD-Tree を用いた建物壁面の抽出手法

建物の壁面を MMS データから抽出するために, 壁面ごとに点群をクラスタリングする. クラスタリングのためには, 点同士の距離を把握しなければならず, 最近傍点の探索においては, 単純な手法では点数の二乗に比例して計算コストが増大するという問題がある. このため, 近傍点を高速に探索できる KD-Tree[1]を作成し, ある閾値以内の点をクラスタリングする. 本稿では, 以下の手順で建物壁面を抽出する.

- (1) 高さ方向の分散を用いて水平面を取り除き, KD-Tree を生成する.

曾鑫 〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

九州工業大学大学院情報工学府情報創成専攻

Phone : 0948-29-7654

E-mail : so-kin@macross.cse.kyutech.ac.jp

- (2) ある距離以内の近傍点をクラスタリングする。クラスタリングした点群は一つのオブジェクトとなる。
- (3) 建物壁面は一般的に平面であるという特徴を用いて、RANSAC などの幾何曲面検出手法で各オブジェクトの平面を検出して抽出する。

2.1 水平面の削除

建物や地物を構成する点群を点間の距離でクラスタリングするためには、異なる地物を構成する点群がある程度の距離で離れている必要がある。しかしながら MMS で取得された点群は、道路面などの地面の点群でほぼすべての地物の点群が稠密に連なっており、単純にクラスタリングするとすべての地物が地面と共に一つのクラスタにまとめられてしまうという問題がある。

このような問題を除去するためには、点群から地面を構成する点群を取り除く必要がある。MMS で取得した地面の点群は、そのほとんどが車道もしくは歩道でほぼきれいな水平面となっている。このため、点群から水平面を取り除くことで、地面を構成する点群を取り除き、その他の地物を構成する点群を地物ごとに分離させることができる。

2.1.1 点群の高さ分散を用いた水平面の削除

点群から水平面を構成する点群を取り除く方式として、各点の近傍の点群の高さの分散値を求め、それがほぼ 0 の点群を取り除く方法を採用した。この処理では、点群を水平面で辺長 1m 正方形のメッシュで分割し、1 つのメッシュに入る点群を近傍として取り扱っている。1 つのメッシュ内の点群の高さの分散値がほぼ 0 の場合には、そのメッシュ内の点群すべてを水平面の構成点群として取り除く。

メッシュのサイズは、あまり小さいと点群数が少なくなり統計的に処理がしにくくなるという問題がある。また、サイズが大きいと、道路

面などの水平面だけで構成されるメッシュが少なくなるという問題があるため、今のところ 1m と設定している。

2.1.2 ヒストグラムを用いた水平面削除の改良

前述の手法では、水平面のみで構成される点群を含むメッシュ内の点群を削除できる。しかし、分散が高い時、同一のメッシュに水平面以外の地物が存在すると考えられるため、メッシュ内の点群を単純に水平面の構成要素として取り除くことはできない。例えば、地面と街路樹の枝が同一のメッシュ内に存在する場合である。この場合に、多数の地物を水平面からうまく分離する手法を以下に提案する。

まず、点の高さ方向の分布状況を調査するために、高さごとの点の数量を示すヒストグラムを生成する。例として、図 1 に地物による点の高さの度数分布をそれぞれヒストグラムに示す。

次に、2.1.1 に示した様に、図 1(a)のようなある一つのメッシュ内に地面の点だけがある場合は、その水平面の高さ範囲を記録した上で、すべての点群を除去する。

さらに、それらのメッシュの近隣のメッシュに対して、図 1(b, c, d)のようなメッシュ内に複数の地物がある場合には、近隣のメッシュで記録された水平面の高さ範囲内の点群を水平面と判断して削除する。図 1(b, c, d)中では緑の枠内の点を水平面の点と判断して削除する。このようにして、地物から水平面を分離した点群を得ることができる。

2.2 KD-Tree による点群のクラスタリング

2.1 節の手法で水平面を削除することにより地物を地面による結合から解くことができ、点間の距離に着目した点群のクラスタリングを行う用意が整った。

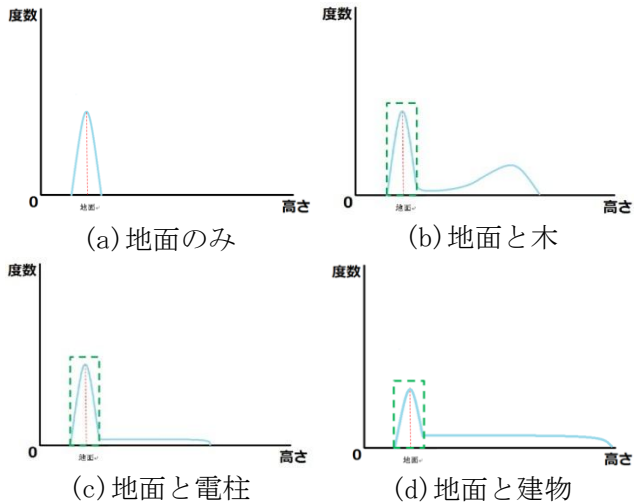


図1 地物による点の高さの度数分布の比較

点群のクラスタリングに必要な近傍点の検索を高速化するために、KD-Tree を利用する。KD-Tree を利用したすべての点の近傍検索の計算量は $O(N \log N)$ なので、MMS で取得された全点群に対して一括処理を行うと、処理速度が低下するという問題がある。

このため、全点群を水平方向で辺長 10m のメッシュに分割し、KD-Tree を利用するクラスタリング処理の点群数を低く抑えることにした。メッシュのサイズは、あまりに小さいと主な対象と考えている建物の壁などが複数のメッシュに分割されてしまうという問題がある。また、サイズが大きいと、メッシュ内の点の数が多くなり、KD-Tree の階層数も深くなって、点群のクラスタリングを高速化できないという問題があるため、今のところ 10m と設定している。

クラスタリングは、まず、各メッシュ内の点群に対して、KD-Tree を用いて閾値以内の距離でつながっている近傍点をまとめる。この方式では、点群をメッシュで分割しているため、一つの地物が、近隣の複数のメッシュに分割されてクラスタリングされる可能性がある。次に、このように分割された地物の点群をまとめるため、各メッシュの境界面に近いクラスタのバウンディングボックスを求め、隣接するメッシュ間で

結合できるバウンディングボックスを抽出し、それらの点群を一つのクラスタにまとめる。提案手法の処理結果を図2に示す。

クラスタリングのパラメータとなる近傍点の距離の閾値は、対象となる建物などの点とレーザー測量装置の距離によって変えている。レーザー測量による点間の距離は、レーザーのスキャン面においては、距離に比例してサンプリング間隔が長くなるためである。



(a) 330 万点の点群 (b) KD-Tree による点群のクラスタリング

図2 点群のクラスタリング結果

2.3 建物壁面の抽出

本研究では、第一段階として建物の壁面や付属する看板などの単純な平面から構成される地物の3Dモデル化を目指している。建物壁面を抽出するため、まず、クラスタにまとめられた点群が平面を構成しているか否かを調査する必要がある。次に、検出された平面の面積や平面に載る点の数が壁面などとみなせる十分な閾値より高い場合に、クラスタを構成する点群は建物壁面と認識して抽出される。

2.3.1 RANSAC を利用した基本処理

RANSAC[2]法では、以下の手順で平面を検出する。

- (1) クラスタリングされた点群からランダムに三つ選び、平面式を計算する。
- (2) クラスタリングされた点群のうち、(1) で計算された平面からの距離が閾値以内の点の個数を数える。

- (3) 上記の (1) (2) の手順を複数回繰り返し、点の個数が最も多くなる平面を採用する。
- (4) 採用された平面に載る点群からランダムに三つ選び、三つの点の最近傍点を求める。この三つの最近傍の点によって、平面式を計算して、平面に載る点を採用する。
- (5) 十分なデータが平面に入れるように、(4) を複数回行って、誤差が許容範囲内の平面を抽出する。

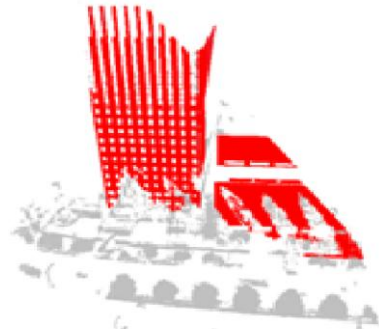


図 3 建物壁面の抽出

2.3.2 すべての建物壁面の抽出

2.3.1 の手法では、点群のクラスタから一つの平面を抽出できるが、一般的にクラスタには複数の平面や平面以外の地物が含まれるため、その処理方法を考慮する必要がある。そこで我々は、各クラスタからすべての壁面を抽出する手法を提案する。

- (1) 2.3.1 の処理で平面を構成する点群を求める。
- (2) 検出された平面を構成する点群の数が少ない場合や面積が小さな場合は、信頼度の高い平面が検出されなかったものとして処理を終了する。
- (3) 検出された平面を構成する点群を 1 つの壁面の構成要素としてクラスタから取り除く。
- (4) 残った点群に対して (1) ~ (4) の処理を行う。

この処理を実行すると、クラスタに含まれる複数の平面を取得することができる。また、処理の終了後には、樹木など、平面で表すことのできない地物に対応した点群がクラスタに残る。

他のクラスタを含めて抽出された平面群は、一つの壁面がレーザーの遮蔽などで複数の平面に分割されている可能性があるため、近くにある、同一平面上に乗る平面を一つの壁面として統合する処理を行う。この結果得られた各点群は、建物の壁面を構成する点群として利用することができる。

提案手法を用いて建物壁面を抽出した結果を図 3 に示す。

3. まとめ

本稿では、MMS データから、3D モデルを生成するための第一段階として KD-Tree を用いた建物壁面を抽出する手法を提案した。

点群の高さ分散を基準にして水平面を削除すると、同じメッシュ内に多数の地物が存在するという問題が発生するため、ヒストグラムによる水平面と地物の分離手法を用いて、水平面の削除の改良を行った。

また、RANSAC 法で一つの壁面しか抽出できないという問題が発生するため、すべての建物壁面を抽出する手法を提案した。

参考文献

- [1] Bentley, J. L, “K-d Trees for Semidynamic Point Sets,” SCG’ 90: Proc. 6th Annual Symposium on Computational Geometry, pp187-197, 1990.
- [2] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography,” Comm. Of the ACM 24(6):pp381-395, 1981.