

# 市街地 MMS 計測点群からの建物 3D モデリング —建物低層部のセグメンテーション精度改善とモデリングへの適用—

北海道大学 ○金山 拓也, 伊達 宏昭, 金井 理

## 要旨

本研究は、MMS 計測点群からの建物 3D モデルの自動生成を目的とする。これまでに、高さレイヤごとに推定した建物占有領域の重複度に基づいて、個々の建物セグメントを抽出する手法を提案した。本報では、過分割セグメントの統合と重複度閾値の適応的変更による、建物低層部のセグメンテーション精度の改善手法を提案し、抽出セグメントを用いた建物モデリング結果について報告する。

## 1. はじめに

現在、自動車にレーザ計測器を搭載し、道路面やその周辺物体の 3 次元形状を取得する MMS(Mobile Mapping System)により、市街地環境の高精度な 3 次元点群を取得する技術が、測量、地図作成等に用いられている。近年、峯後ら[1]は MMS 計測点群の都市計画や防災シミュレーション等への応用を目的とした、LOD と規則性を考慮した建物モデル自動生成手法を提案した。提案法では機械学習を用いた建物点抽出ならびにユークリディアンクラスタリングにより、個々の建物の点集合(建物セグメント)を抽出する建物セグメンテーションを行っていた。しかし、近接した建物の低層部間に存在する塀や看板、電線等の物体が原因で、アンダーセグメンテーションの問題が生じていた。

本研究では、高さレイヤごとに推定した建物占有領域の重複度を求め、重複度の高い領域に含まれる点の集合を建物セグメントとして抽出することで、低層部のつながりによるアンダーセグメンテーションの問題を改善した[2]。しかし同時に、建物低層部の一部が正確に抽出されない問題を確認した。そこで本報では、建物占有領域検出のためのレイヤ重複度閾値の適応的変更、ならびに、未検出建物点の建物セグメントへの統合による、建物低層部の正確なセグメンテーション手法を提案する。また、その結果に対する建物モデリング手法[1]の適用結果を報告する。

## 2. 提案する建物セグメンテーション法

### 2.1 概要

前報[2]での建物セグメンテーション手法の概要を以下に示す。まず、入力点群に対し点密度一様化と地面電線点除去を行う(図 1, A1)。次に、ユークリディアンクラスタリングおよび、平面領域が支配的なセグメントの抽出により、初期建物セグメントを得る(図 1, A2)。得られたセグメントの点群に対し、高さ方向の階層ごとのレイヤ分け、各レイヤの点群に対するクラスタ化と OBB 生成により、各レイヤの占有領域を推定し(図 1, A3)、その領域の重複度が一定以上の領域を建物占有領域として推定する。そして、推定した領域に含まれる点集合を建物セグメントとして抽出する(図 1, A4)。

前報[2]では、高さの低い建物や建物低層部のみ形状が異なる部分が重複度の閾値を満たさずに、建物セグメントとして抽出されなかった。そこで本報では、高さに応じた重複度閾値の適応的変更、さらに建物周辺に存在する建物と推定される点を建物セグメントに統合することで、建物低層部におけるセグメンテーションの精度を改善する。セグメントの統合は、建物セグメント周辺に存在する点群でセグメントを生成し、その近傍に存在する建物セグメントとの連結性の評価に基づいて行う。

### 2.2 点密度一様化と地面電線点除去

市街地 MMS 計測点群に対し、点数の低減と点密度一様化を目的としたボクセルダウンサンプリングを行う。次に、地面や電線による複数の建物の点群の接続の回避を目的とした地面点と電線点の除去を行う。地面点は、RANSAC を用いた平面フィットで得られる最大水平面領域上の点、電線点は、地面からの高さが一定値以上かつその周辺点が地面平面に平行に近い線状の分布を持つ点として認識し、除去する。

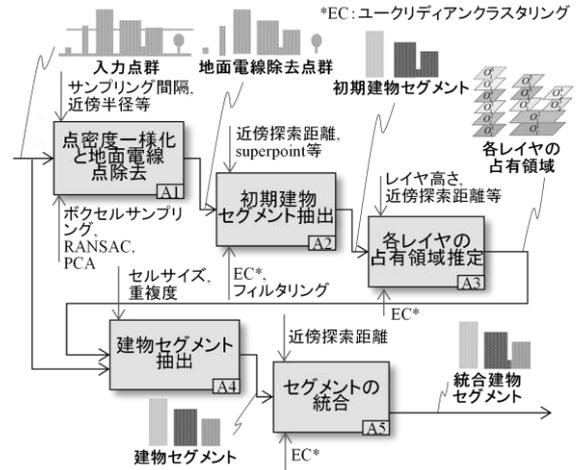


図 1 提案する建物セグメンテーション法

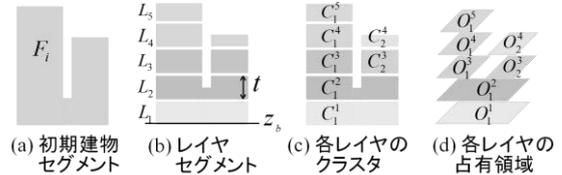


図 2 各レイヤの占有領域推定

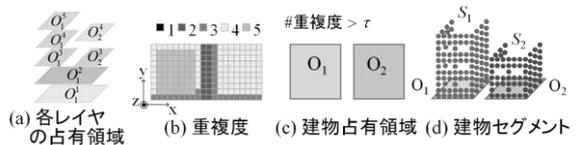


図 3 建物セグメント抽出

### 2.3 初期建物セグメント抽出

まず点群を地面平面に投影し、その投影点で 2 次元のユークリディアンクラスタリング(近傍探索距離  $r_1$ )を行い、得られたクラスタを初期セグメントとして抽出する。次に、平面領域が支配的かつ高さが一定以上の条件を満たすセグメントを初期建物セグメントとして抽出する。この処理ではまず、各初期セグメントに対し SuperPoint 集合  $P = \{P_k\}$  ( $P_k$ : ランダムに選択したシード点  $k$  から半径  $r_p$  以内の点集合)を生成し、セグメント中の平面的な SuperPoint の集合  $P_{2D}$  の割合を示す平面領域度  $R = |P_{2D}| / |P|$  を計算する。 $R$  が閾値  $\tau_R$  以上かつ高さ  $h$  以上のセグメントを初期建物セグメント  $\{F_i\}$  として抽出する。本研究では、 $r_1 = 0.05m$ ,  $r_p = 0.3m$ ,  $\tau_R = 0.5$ ,  $h = 3.0m$  とした。

### 2.4 各レイヤの占有領域推定

各初期建物セグメント  $F_i$  に対し、高さ階層ごとのレイヤ分けを行う。レイヤ分けは、 $F_i$  の最小の標高値  $z_b$  を算出し、 $z_b$  から一定間隔  $t$  ごとに、 $F_i$  に属する点群を水平面で分割することにより行う(図 2(b))。次に、各レイヤ  $L_i$  内に存在する点で 2.3 節と同様のユークリディアンクラスタリング(近傍探索距離  $r_2$ )を行い、各レイヤのクラスタ  $C_j^i$  を得る(図

2(c). 最後に、各クラスター  $C_i^j$  に対し 2 次元の OBB (有向バウンディングボックス) を求め、それらを各レイヤの占有領域  $O_i^j$  として出力する. OBB 生成では、まず各クラスター  $C_i^j$  に含まれる点群を水平面に投影する. 次にその投影した点群に対し RANSAC による直線フィッティングを行う. フィット直線に沿った方向を 1 つの軸方向とし、投影したクラスター  $C_i^j$  の点を包含する最小の長方形 (OBB) を生成する (図 2(d)). 本研究では、 $t=3.0m$ ,  $r_2=0.2m$  とした.

## 2.5 建物セグメント抽出

グリッドを用いた各レイヤの建物占有領域  $O_i^j$  の重複度評価を行う. まず、 $O_i^j$  を地面に投影し、その投影領域をセルサイズ  $p$  でグリッド分割する. 次に、グリッド上の各セルに対し、各レイヤの建物占有領域の重複度を登録する (図 3(b)). 重複度が閾値  $\tau$  以上の連結したセルの集合を建物占有領域として推定する (図 3(c)). ここで、閾値  $\tau$  は、建物のレイヤ数が一定値  $\tau_L$  以上の場合  $\tau=\tau_H$ 、それ以外の場合は  $\tau=\tau_L$  ( $\tau_L < \tau_H$ ) とし、建物の高さに応じて変更することにより低層の建物も抽出可能とする. 最後に、推定した建物占有領域内に含まれる点の集合を建物セグメント  $S_i$  として抽出する (図 3(d)). 本研究では、 $p=0.05m$ ,  $\tau_H=3$ ,  $\tau_L=1$ ,  $\tau_L=4$  とした.

## 2.6 セグメントの統合

図 4 に示すように、建物上の計測点であるが、建物セグメントに含まれなかった未検出点集合  $A_i$  は、それに属する建物セグメントとの境界点の多くが非常に近接している. そこで本手法では、建物の境界点のうち、接続点 ( $A_i$  と非常に近接した境界点) の割合が一定以上の建物に未検出点集合  $A_i$  を統合する. まず、2.3 節において抽出した初期建物セグメント  $F_i$  に含まれ、かつ  $F_i$  から得られた建物セグメント集合  $\{S_i\}$  に含まれない未検出点に対し、近傍距離  $r_s$  でユークリディアンクラスタリングを行い、未検出セグメント  $\{A_i\}$  を生成する (図 4①). 次に得られたセグメント  $A_i$  の各点  $p_i$  で、 $S_i$  の点に対し探索半径  $r_1$  内にある最近点を見つけ、それらを  $A_i$  に対する  $S_i$  の境界点集合  $\{p_{Si}\}$  とする (図 4②). 次に境界点集合の各点  $p_{Si}$  で、 $A_i$  の点に対し探索半径  $r_2$  ( $r_2 < r_1$ ) で近傍探索を行い、近傍点が存在する場合には、点  $p_{Si}$  を接続点とする (図 4③). 最後に、境界点集合  $\{p_{Si}\}$  に対する接続点の割合が  $\tau_A$  以上となる  $S_i$  に、セグメント  $A_i$  に属するすべての点を統合する (図 4④). 本研究では、 $r_s=0.1m$ ,  $r_1=3.0m$ ,  $r_2=0.3m$ ,  $\tau_A=0.6$  とした.

## 3. 実験結果

### 3.1 セグメンテーション結果

2 節で述べた提案手法を、北海道大学周辺を計測した MMS 計測点群 (約 360 万点) に対して適用した. 図 5 に提案手法による建物セグメント  $\{S_i\}$  の抽出結果を示す. 図中の色は、抽出された個々の建物セグメントを表し、黒色は、初期建物セグメントに含まれているが、最終的な建物セグメントに含まれなかった点を示す. また、各セグメントの下に、Precision および Recall の結果を示す.

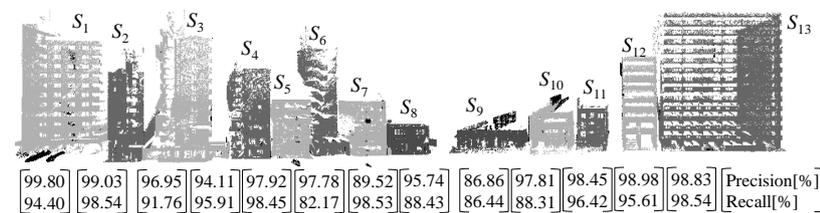


図 5 セグメンテーション結果

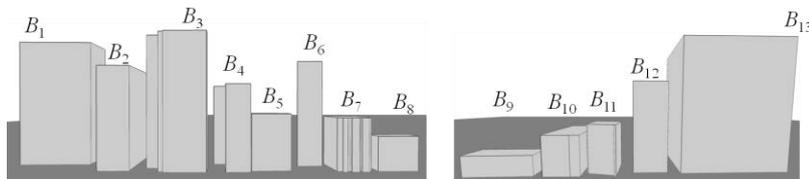


図 6 モデリング結果

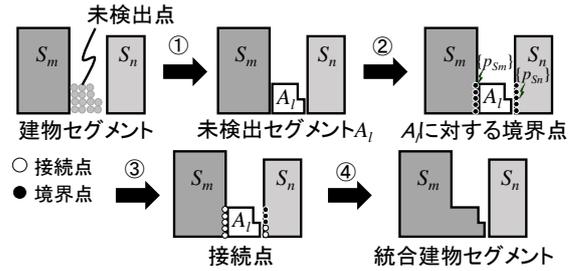


図 4 セグメントの統合処理

提案手法により、前報[2]では抽出できなかった  $S_9$  の建物セグメントおよび  $S_3$  や  $S_6$  の建物低層部を抽出できた (図 7). また精度評価では、Recall は全体で平均 3.6% (最大 16.7%) 上昇し、13 個中 7 個のセグメントで向上がみられた. 一方で、Precision は平均 0.3% (最大 4.1%) の減少がみられた (未検出の建物セグメント  $S_9$  は除く).

### 3.2 モデリング結果

CityGML[3]に基づいた LOD1 モデルの生成手法[1]では、建物の支配的平面 (壁面) に属する点を地面平面に投影し、その投影点に対し OBB をフィッティングしたものを LOD0 モデルとして生成する. また LOD0 モデルを高さ方向にスライプすることで LOD1 モデルを生成する.

本報では、3.1 節で得られた建物セグメントに対し、LOD1 モデル生成手法[1]を適用した. 図 5 に示す各建物セグメント  $S_1 \sim S_{13}$  に対して LOD1 モデリングを行った結果、図 6 に示すように、個々の建物の LOD1 モデル  $B_1 \sim B_{13}$  を生成することができた. 図 7 より  $B_3$  では、本セグメンテーション手法によって統合した建物低層部の一部を含んだ LOD1 モデルが生成できることを確認した. しかし、 $B_6$  では建物低層部の一部がモデリングされておらず、今後複雑な構造を持つ建物のモデル化手法が必要であることを確認した.

## 4. おわりに

市街地 MMS 計測点群からの、地面電線点除去及び建物占有領域の重複度評価と、過分割セグメントの統合および重複度閾値の適応的変更による建物セグメンテーション手法を提案した. その結果、前報[2]の課題であった建物低層部の一部を抽出できることを確認した. また、得られた建物セグメントに対して LOD1 モデリングを行い、その有効性と課題を確認した.

### 参考文献

- [1] 峯後他, 市街地 MMS 計測点群からの建物 LOD モデリング—デプス画像を用いた 3 次元ファザードモデリング—, 2017 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.565-566 (2017)
- [2] 金山他, 市街地 MMS 点群からの建物 3D モデリング—高さレイヤごとの建物占有領域推定による建物セグメンテーション—, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.555-556 (2018)
- [3] CityGML, <http://www.citygml.org/>

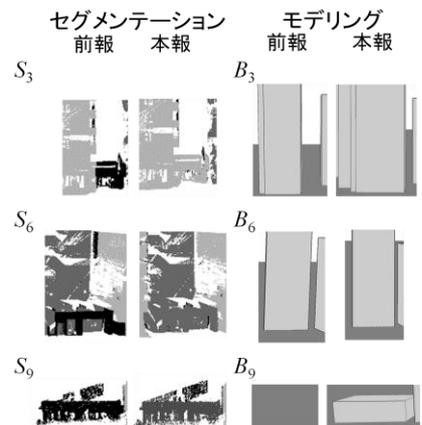


図 7 個別の比較結果