

## 市街地 MMS 計測点群からの建物 LOD モデリング —規則性を考慮した窓推定による建物モデルの詳細化—

北海道大学 ○峯後 俊秀, 伊達 宏昭, 金井 理

### 要旨

都市計画や防災シミュレーション等の様々な分野で市街地の LOD 建物モデルが必要とされ、またレーザ計測器の発達により市街地環境を 3 次元点群で表現することが可能となった。本研究は、市街地 MMS 計測点群からの建物 LOD モデリングを目的とし、前報で生成した LOD1 建物モデルを利用して、ファサードに属する点集合の境界点へ規則性を考慮した直線フィッティングを行う事により窓を推定し、LOD1 建物モデルへ反映することでモデルの詳細化を行う。

### 1. はじめに

近年、自動車にレーザ計測器を搭載し、道路面ならびに道路周辺物体の 3 次元形状情報を取得する MMS (Mobile Mapping System) が普及し、市街地環境を 3 次元点群で表現することが可能になっている。この点群を利用して市街地の 3 次元モデルを作成し、都市計画や防災シミュレーション等に利用する試みがあるが、要求されるモデルの詳細度 (Level of Detail) は用途に応じて異なるため、複数の詳細度で表現された建物モデル (LOD 建物モデル) が求められている。前報までに MMS 計測点群から、CityGML で定義される建物のフットプリントを表す LOD0 建物モデルと、LOD0 建物モデルを鉛直方向にスイープした LOD1 建物モデルを生成した (図 1) [1]。本報では、LOD1 建物モデルの壁面部をさらに詳細化した LOD3 建物モデルを生成することを目的とし、その一環として建物の点集合から矩形の抜け領域である窓を推定しモデル化する。ここで、市街地の建物の窓は、規則性を持つ場合が多く、推定された窓は規則性を満たして配置されることが望ましい。建物壁面の規則性を持つ窓やドア等を抽出する手法として Previtalli らの手法[2]が存在するが、この手法は平面領域の識別に事前知識を必要とするという問題がある。そこで本報では、事前知識を必要とせず、点の密度差にロバストである窓推定手法を提案する。本手法では、建物の点集合から規則性を持つ直線を発見し、窓の境界点にフィットするように直線を配置することにより、規則性を持つ窓を推定してモデル化を行い、LOD1 建物モデルを詳細化する。

### 2. 規則性を持つ窓推定

#### 2.1. 概要

本手法では、前報で生成した LOD1 建物モデルとその面の近傍の建物点集合を用いて、規則性を持つ窓を抽出する。規則性を持つ窓の推定は以下の手順で行う (図 2)。

- A1) LOD1 建物モデルの各面のうち、MMS 走行軌跡に面した面分  $f$  (ファサード) 近傍の点集合を面分  $f$  に投影し、画像化する。
- A2) 投影画像の画素を画像の  $x$  方向、 $y$  方向に積分したヒストグラムをそれぞれ生成する。このヒストグラムに基づいて、窓の境界に対応する直線系列を生成し、規則性を発見する。
- A3) 直線系列より窓枠にあたる矩形を生成し、矩形周辺の点集合から境界点を抽出する。
- A4) 規則性を考慮しつつ境界点に直線系列をフィッティングすることで窓を推定し、LOD1 建物モデルへ反映する。

#### 2.2. ファサード点集合からの投影画像生成

はじめに、ファサード近傍に存在する建物点集合の画像

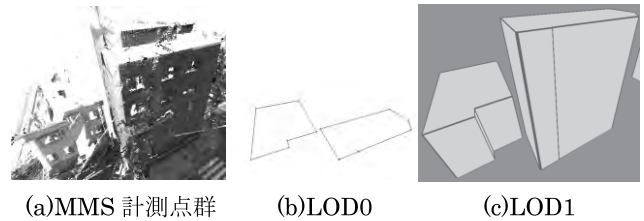


図 1 前報の LOD 建物モデルの生成結果

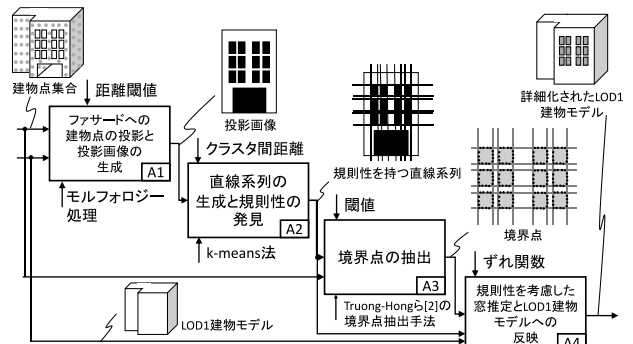


図 2 規則性を考慮した窓推定手法の概要

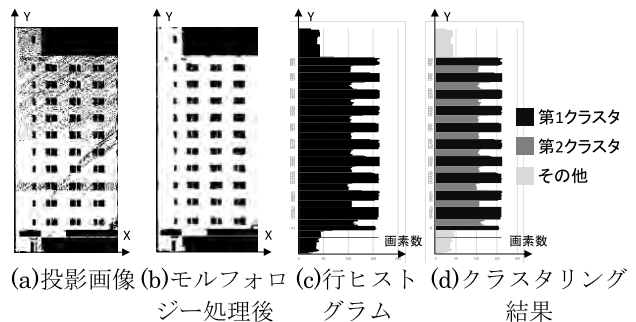


図 3 投影画像の比較

化を行う。まず近傍の建物点集合をファサードに投影し、ファサードを 1 辺  $g (g = 0.1)$  のグリッド状に分割して投影画像を生成する。各画素は occupied (値:1) もしくは empty (値:0) の 2 値で表され、セル内に建物点が存在していれば occupied, 存在していなければ empty とする。しかし、MMS 計測点群では建物の高層部の点密度が疎であるという性質があるため、生成した投影画像の高層部に抜けが生じてしまう問題がある。そこで本手法では、生成した投影画像に対してモルフォロジー処理を適用することによってこの抜けを埋める。図 3(a)に occupied の画素を白、empty の画素を黒としたモルフォロジー処理前の投影画像を示し、図 3(b)にモルフォロジー処理後の投影画像を示す。

### 2.3. 直線系列の生成と規則性の発見

2.2節で生成した投影画像から、画像のx方向、y方向に画素を積分したヒストグラムを生成し、このヒストグラムに基づいて窓枠に対応する直線系列を生成する。はじめに、x方向に画素を積分した行ヒストグラムを生成し(図3(c))、規則性を持たない領域を取り除くことを目的として、ヒストグラムをk-means法によってクラスタリングする。ここでk-means法では、クラスタ数を2としてクラスタリングを行い、生成されたクラスタ間の重心の距離が一定値以上であれば生成した各クラスタに対して同様の処理を行い、そうでなければ生成されたクラスタをマージして処理を終了することでクラスタ数を動的に決定している。図3(d)にヒストグラムのクラスタリング結果を示す。そして、このヒストグラムの上位2クラスタが切り替わる行で、画像のx軸に平行な直線系列 $L_H = \{l_i^H | y_{l_i^H} < y_{l_{i+1}^H}, i = 1, \dots, n_H\}$ (ただし、 $y_{l_i^H}$ は $l_i^H$ のy座標)を生成する。また、抽出されたクラスタのうちピン数の多い上位2クラスタの領域を取り出して再び投影画像を生成し、列ヒストグラムを生成することで規則性を持たない領域の影響を取り除く。この列ヒストグラムから同様の手順で直線系列 $L_V = \{l_i^V | x_{l_i^V} < x_{l_{i+1}^V}, i = 1, \dots, n_V\}$ (ただし、 $x_{l_i^V}$ は $l_i^V$ のx座標)を生成する。

次に、直線系列 $L_H, L_V$ からそれぞれ同様の手順で、規則単位の直線数 $T_H, T_V$ と規則性を持つ直線系列 $L_H^R, L_V^R$ を抽出する。ここで、窓はx方向、y方向にそれぞれ2つの境界を持つため、規則単位の直線数 $T$ は $2n(n = 1, 2, \dots)$ となる。以下に $L_V$ から規則単位の直線数 $T_V$ と直線系列 $L_V^R$ を抽出する手順を示す(図4)。

- 1)  $k = 0, T_V = 2$ として、規則単位間の距離 $d = x_{k+T_V} - x_k$ を求める。
- 2) 規則単位 $l_k, \dots, l_{k+T_V-1}$ を $nd$ ( $n = 1, \dots, \lfloor (n_V - k - 1) / T_V \rfloor$ )移動させ、直線系列 $L_V$ 内の対応すべき各直線 $l_{k+nT_V}, \dots, l_{k+(n+1)T_V-1}$ との距離(x座標の差)が一定値以下となる線の数 $m_V$ を数える。
- 3)  $n_V - k > 2T_V$ であれば、 $k$ に1を加算して2)へ戻る。
- 4)  $T_V < \lfloor n_V / 2 \rfloor$ であれば、 $T_V$ に2を加算して1)へ戻る。

そして $m_V + T_V$ が最も大きいときの直線系列 $L_V^R = \{l_i^{VR} | x_{l_i^{VR}} < x_{l_{i+1}^{VR}}, i = 1, \dots, n_V^R\}$ を取り出す。 $m_V + T_V$ が等しい場合は、 $T_V$ が最も小さい $L_V^R$ を採用する。

### 2.4. 境界点の抽出

2.3節により生成した直線系列の近傍の点集合から、境界点を抽出する。まず、直線系列から窓を表す矩形を生成し、この矩形周辺の点集合を取得する。そしてこの点集合から、窓枠に対応する境界点を抽出するために、Hongらの手法[3]を適用する。この手法では、矩形の中心 $P_1$ から最も距離が近い点を初期境界点 $Q$ とし、 $Q$ を中心とする半円内に存在する候補点 $P_{2i}$ の中で、 $P_1QP_{2i}$ から成る角度と三角形の面積の重み付き和が最も小さい点を境界点 $Q'$ と決定する。そして $Q$ を $Q'$ として更新し、この処理を繰り返すことにより境界点を抽出する。ここで、抽出した境界点のうち、 $L_H^R, L_V^R$ の各直線 $l_i^{HR}, l_i^{VR}$ に対応する矩形境界点集合を $P^{l_i^{HR}}, P^{l_i^{VR}}$ とする。

### 2.5. 規則性を考慮した窓の推定

最後に、2.3節で生成した直線系列を2.4節で抽出した境界点に規則性を考慮しつつフィッティングする。以下に直線系列 $L_V^R$ と境界点集合 $P^{l_i^{VR}}$ を用いた手順を示す。

まず、図5に示すように、規則単位間の距離を $C_U$ とし、規則単位内の線間距離を $C_1, \dots, C_{T_V-1}$ で表す。そしてすべて

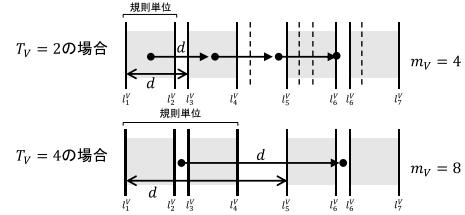


図4 規則性の発見

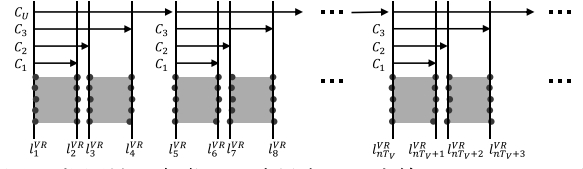


図5 規則性を考慮した境界点への直線フィッティング

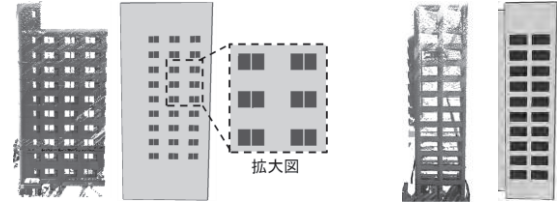


図6 窓推定の結果

の直線のx座標を、直線 $l_1^{VR}$ のx座標を基準に $C = \{C_U, C_1, \dots, C_{T_V-1}\}$ を用いて表現する。基準の直線 $l_1^{VR}$ のx座標 $x_{l_1^{VR}}$ は、 $l_1^{VR}$ に属する境界点 $P^{l_1^{VR}}$ のx座標の平均により決定する。この $C$ によって等間隔に直線を配置することにより、規則性を持った直線を生成する。そしてこの直線と、それに属する境界点のずれの二乗和を以下の式で表す。

$$E_{fit} = \sum_{n=0}^{n_H^R/T_V-1} \sum_{m=0}^{T_V-1} \sum_{i \in P^{l_{nT_V+m}^{VR}}} |x_i - (x_{l_1^{VR}} + C_m + nC_U)|^2 \quad (1)$$

この $E_{fit}$ を最小化する $C_U, C_1, \dots, C_{T_V-1}$ を求めることで境界点にフィッティングした直線を生成する(ただし、 $C_0 = 0$ )。この直線から窓を表す矩形を生成し、LOD1建物モデルに反映することでモデルの詳細化を行う。

### 3. 実験結果

以上の手順により、北海道大学周辺の市街地MMS計測点群と、前報で生成したLOD1建物モデルを用いて窓の推定を行い、推定した窓をLOD1建物モデルに反映させることでLOD1建物モデルの詳細化を行った。図6に実際の建物点集合と、LOD1建物モデルに推定した窓を反映した結果を示す。推定した窓を黒の矩形で示している。約200万点の建物点集合に対し、実行時間はCore-i7 3.4GHz, RAM 16GBの環境下において2.8sであった。結果より、本手法によって規則性を満たしつつ、境界点にフィッティングした窓を推定できることを確認した。

### 4. おわりに

建物の点集合から規則性を発見し、この規則性を元に窓の境界点にフィッティングするように直線を配置することにより窓推定を行った。今後の予定として、ベランダ、ひさしのモデル化を行い、さらにLOD1建物モデルを詳細化する。

### 参考文献

- [1] 峯後俊秀, 伊達宏昭, 金井理, 市街地MMS点群からの機械学習手法によるセグメンテーションと建物LODモデリング, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, pp.779-780, (2016)
- [2] M.Preitali, et.al, AUTOMATED DETECTION OF REPEATED STRUCTURES IN BUILDING FACADES, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2, pp.241-246, (2013)
- [3] Truong-Hong, et.al, Octree-based, automatic building facade generation from LiDAR data, Computer-Aided Design 53, pp.46-61, (2014)