

# 矩形境界認識に基づく屋内環境レーザ計測点群からの屋内物体モデリング

北海道大学 ○高橋 勇斗, 伊達 宏昭, 金井 理

## 要 旨

本研究は、レーザ計測点群からの規則性を考慮した屋内環境の自動 3 次元モデリング手法の開発を目的とし、これまでに、直交・平行・共平面・等間隔を考慮した天井面・壁面・床面のモデリング手法を提案してきた。本報では、より詳細な屋内環境モデリングを目的として、平面上の矩形抽出に基づく、窓、照明器具などの矩形境界検出手法を提案する。

## 1. はじめに

本研究では、これまでに、屋内環境の認識、図面生成、家具配置計画、改修計画等への応用を目的とした、レーザ計測点群からの屋内環境の基本構造物(天井・床・壁面)のモデリング手法を提案してきた[1]。本報告では、より詳細な屋内環境モデリングのための、窓、照明器具などの、平面上に矩形境界を持つ屋内物体の認識とモデリングを目的とした、点群からの屋内物体の矩形境界検出手法を提案する。提案手法は、構造化点群を用いた効率的な平面領域境界抽出と、検出目標とする矩形の寸法値を用いた投票処理により、遮蔽に対して頑健に屋内物体の矩形境界を検出する。

## 2. 提案する矩形境界検出手法

### 2.1 概要

図 1 に示すように、屋内環境において、窓、照明器具、机など、平面上に矩形境界を持つ物体がしばしばみられる。本報では、固定式レーザスキャナ(TLS)で取得した点群から上記物体の矩形境界を検出する方法を提案する。この矩形境界の検出は、上記物体の認識やモデル化に有用である。例えば、壁面上の場合は窓、天井面上の場合は照明器具、床から一定高さの水平領域上の場合は机であると認識できる。本研究では、図 2 に示すように、認識された矩形の寸法や配置情報に基づく 3D モデル埋め込みによる、屋内環境の詳細なモデル化を目的とする。

点群からの窓検出を目的として、壁面上の計測抜け領域や、平面領域の単一矩形境界を見つける方法が提案されている[2]。しかしこれらの方法は、図 1 中に示すような、網戸や汚れなどによりガラス部に計測点が存在する場合、物体による遮蔽が存在する場合、棧等による窓境界付近の多数の段差が存在する場合への適用が難しい。本手法では、壁面等の基準面に平行な平面領域の境界を全て抽出し、その境界から遮蔽の影響を考慮して、物体の矩形境界となりえる線分集合を全て取り出す。そして、線分集合を用いた矩形中心候補位置への適合度投票処理に基づいて矩形境界集合を抽出することで、上記問題を解決する。

図 3 に提案手法の概要を示す。本手法は、1 スキャンの屋内環境 TLS 点群と、検出したい矩形の寸法値を入力とする。まず、入力点群に対して処理効率化のための 2D 構造化を行う。そして、平面領域の検出とその境界のポリゴン化により、矩形境界候補となる線分集合を抽出する。最後に、線分対から定義される矩形の中心位置への適合度投票処理に基づいて、矩形集合を抽出する。本報では、壁面上の窓を検出対象とし、点群構造化以降の処理は、既提案手法[1]で推定した壁面ごとに行う。なお、検出したい矩形の寸法値は、窓の棧も含んだ矩形の寸法値を入力とする。

### 2.2 入力点群の 2D 構造化と線分推定

領域検出等の処理効率化のため、点の隣接関係を陽に持つ形式で点群を表現する。TLS による計測は、仰角と方位

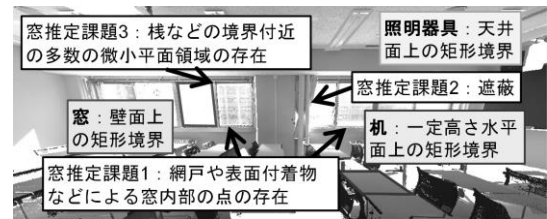


図 1 本研究で対象とする屋内物体と窓推定の課題

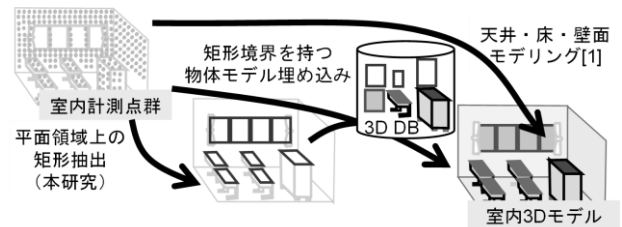


図 2 開発する屋内環境モデリング手法

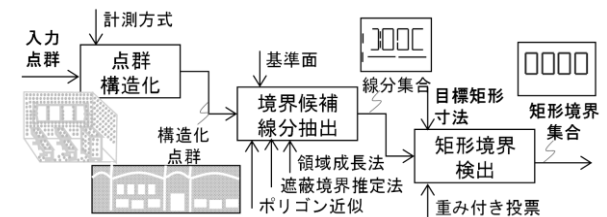


図 3 提案手法の概要

角を一定角度ずつ変化させながらレーザ測距により点を取得するため、仰角と方位角を軸とする 2 次元平面上で、点を 2 次元格子状に規則配置できる。以降、格子状に配置された点群を構造化点群と呼ぶ。計測点が得られなかった箇所には、無効点としてスキャナ位置の座標(座標値が全て 0)を持つ点を与える。また、各点  $i$  の単位法線ベクトル  $\mathbf{n}_i$  を、隣接点との差分ベクトル間の外積の和を正規化して求める。

### 2.3 平面領域からの境界候補線分抽出

本手法では、矩形境界検出を、一つの壁面(基準面)ごとに行う。以下の処理は、既提案手法[1]で生成した基準面  $q$ (法線  $\mathbf{n}_q$ ) から一定距離  $\delta$  内の点集合  $P$  に対して適用する。

物体の矩形境界は、基準面と平行な平面領域の境界で構成されると仮定し、そのような平面領域の集合を  $P$  に対する構造化点群上の領域成長法により抽出する。点  $i$  を領域に加えるための領域成長条件は、点  $i$  の法線  $\mathbf{n}_i$  と  $\mathbf{n}_q$  との角度が一定以下で、点  $i$  が領域にフィットした法線  $\mathbf{n}_q$  の平面との距離が一定以内に存在することとする。シード点  $k$  は、どの領域にも属さず、 $\mathbf{n}_k$  と  $\mathbf{n}_q$  との角度が最も小さい点とする。得られた領域集合のうち、十分な数の点を含む領域のみをその後の処理対象とする。

得られた平面領域の境界点は検出したい矩形境界の候補

となりえるが、遮蔽により生じた境界点は不正確な境界をもたらす可能性がある。図4に示す通り、ある領域  $R_A$  の遮蔽で生じた境界点  $i$  は、構造化点群上で隣接点  $j \in N(i)$  ( $N(i)$  は点  $i$  の隣接点集合) が別の領域  $R_B$  に存在し、 $d_j < d_i$  ( $d_i$ : 点  $i$  のスキャナからの距離) を満たす点として検出する。実点群ではスポット割れなどにより、遮蔽境界部が無効点となっている場合がある。そのため、構造化点群において評価したい点の隣接点が無効点の時は、そのすぐ先の有効点を訪問し、遮蔽により生じた境界点か否かを判定する。

その後、得られた平面領域の境界点列を抽出し、Douglas Peucker アルゴリズム[3]を用いて領域境界線分集合を得る。線分の各頂点は、遮蔽により生じたか否かの情報を持つ。全領域の境界から得られた線分集合を  $P_E$  とする。

## 2.4 投票処理に基づく矩形境界の検出

線分集合  $P_E$  の各線分を、基準面に投影して2次元の線分集合を得る。本研究では、検出したい物体の矩形境界の辺は、基準面上の直交軸のいずれかに平行であるとする。この直交軸は、壁面であれば鉛直・水平方向となる。投影線分のうち、矩形の辺候補として妥当な、(i)線分の長さが一定以上、(ii)端点のいずれかが遮蔽境界点ではない、(iii)直交軸のいずれかに平行に近いもののみを抽出する。そして、各線分を平行に近い方の直交軸と平行になるように修正し、直交軸の1つの軸に沿った線分集合を  $E_1$ 、もう一つの軸に沿った線分集合を  $E_2$  とする。また、後の矩形定義処理のために、各線分に対して領域がどちら側に存在するかの領域向き情報を付与する。

得られた線分集合から投票処理を用いて、矩形中心位置を求める。まず、基準面に投票のための一様格子を定義する。そして、図5に示すように、線分集合  $E_1, E_2$  から線分を一つずつ選択し、与えられた目標矩形形状の幅  $w_r$  と高さ  $h_r$  ならびに、線分の領域向き情報を用いて矩形中心位置を求める。そして、その位置に対応するセルに適合度を加える。ここで、適合度は、選択した線分対と矩形との重複部の長さの総和とする。なお、1つの辺の適合度の加算は同じセルに一度のみとする。以上の処理を全線分の組合せで行う。結果として、各セルの適合度は、そこを中心とする矩形を定義した場合の、矩形と線分との重複部の長さとなる。

線分との重複が大きい矩形は妥当性が高いものとし、適合度が最大の矩形から出力する。この時、矩形の重複生成を避けるため、一つ矩形を出力するたびに、それと重複する矩形に該当するセルの適合度を0とする。ただし、実物体が重複して存在する場合、その重複は許容する。例えば、一般的な一組のスライド式の窓の場合、窓の棧が重複しているため、窓の棧の幅の重複は許容する。以上の処理を、適合度が一定以上の矩形がなくなるまで繰り返す。

## 3. 屋内物体の矩形境界検出結果

図6に、大学の教室のレーザ計測点群に対する提案手法の適用結果を示す。レーザ計測は FARO FOCUS 3D S120 を用いて行い、一つの壁面の点群から1種類の窓の矩形境界検出を行なった。図6(a)に入力点群を示す。図より、網戸や窓の汚れ等によりガラス部に点が大量に存在していること、ならびに、配管や柱、カーテンにより一部の窓が遮蔽を受けていることがわかる。図6(b)に壁面と平行で一定距離内の領域の点集合を、壁面へ投影した結果を、ならびに図6(c)に、検出した窓の矩形中心位置と矩形境界を示す。結果より、ガラス部に計測点を含む窓や、配管や柱、カーテンによる遮蔽を受けた窓も含めた、8つ全ての窓を検出できることを確認した。一方、計測点が少なく、正しく領域境界線分

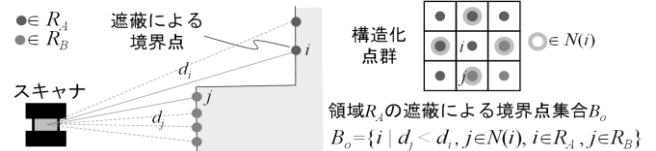


図4 遮蔽による境界点

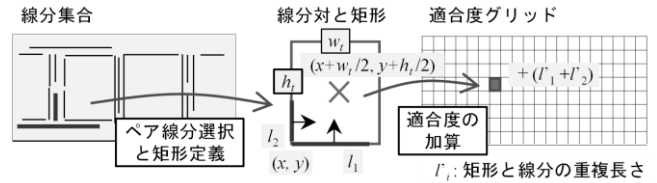


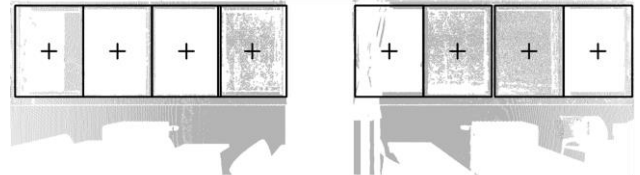
図5 線分からの矩形定義と適合度の加算



(a) 入力点群



(b) 点集合の壁面への投影結果



(c) 窓の矩形境界の検出結果

図6 提案手法の適用結果

を抽出できない部分において、水平方向に位置が多少ずれて検出された窓が存在した。今後、複数スキャンの点群を用いることなどにより、より正確な位置を求めるための手法改善を行う。

## 4. おわりに

本報では、矩形境界を持つ屋内物体の認識とモデリングを目的とした矩形境界検出法を提案した。提案法は、基準面に平行な平面領域の境界線分集合を用いた、目標矩形に対する線分対の適合度投票処理に基づいており、実験により、ガラス部に計測点を多量に含むような窓や、物体の遮蔽の影響を受けた窓からも、その矩形境界を検出できることを確認した。今後の課題は、検出位置精度の改善である。

### 参考文献

- [1] 高橋 他, レーザ計測点群からの規則性を考慮した屋内環境モデリング-共平面と等間隔を考慮したモデリング-, 2019 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.79-80(2019)
- [2] 例え、Previtali 他, Towards Automatic Reconstruction of Indoor scenes from Incomplete point clouds: Door and Window Detection and Regularization, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(4)(2018)
- [3] Douglas 他, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, The international Journal for Geographic Information and Geovisualization, 10(2), pp.112-122 (1973)