

# ヘッドマウント 3D スキャナを用いた迅速な屋内環境再構成

北海道大学 ○後藤 仁彦, 伊達 宏昭, 金井 理

## 要 旨

近年, 現況把握やシミュレーションの利用に向けた, 3次元計測データに基づく屋内環境の迅速な再構成技術への要求が高まっている. 本研究では, ヘッドマウント 3D スキャナを用いたボクセルモデルベースの屋内環境迅速再構成技術の確立を目的とする. 本報では, メッシュを入力とする既存アルゴリズムを拡張し, 計測点群とデバイス位置を考慮した遮蔽部推定に基づくより正確な再構成モデル生成手法を提案する.

## 1. はじめに

現在, 建物の図面生成, 諸量計算 (面積, 体積), シミュレーション (避難, CFD 解析, 搬入搬出計画) などの利用目的に向けての, 3次元計測データに基づく屋内環境再構成 (図 1) 技術への需要が高まっている. 3次元計測に基づく屋内環境再構成を行うためには, 図 2 に示す, 複数の計測システムならびに再構成モデルの表現法が選択可能であり, 再構成モデルの利用目的に応じて選択することができる. 本研究では諸量計算やシミュレーションを目的とし, 図 2 に示した計測容易性, 再構成の容易性が最も高いヘッドマウント 3D スキャナ (以降, HM3D スキャナ) とボクセルモデルを用いて, 3次元計測データから屋内環境を迅速に再構成する技術を確認する. 本報告ではメッシュを入力とする既存アルゴリズム[1]を拡張し, 計測点群とデバイス位置を考慮した遮蔽部推定に基づくより正確な迅速再構成モデル生成手法を提案し, その有効性を確認する.



図 1 3次元計測データに基づく屋内環境再構成

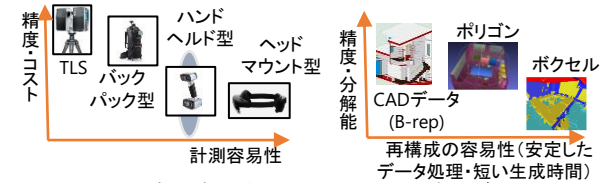


図 2 屋内環境の計測システムと再構成モデルの表現

## 2. HM3D スキャナとボクセルを用いた屋内環境再構成

### 2.1. 提案手法の概要

本研究で提案する屋内環境再構成手法を図 3 に示す. 本手法は P. Hübner ら[1]の手法をもとにしており, 入力として点群を扱い, さらにより正確な遮蔽部推定を行えるよう拡張している. 本手法の入力は HM3D スキャナで屋内環境を計測し取得した点群と点群取得時のスキャナ位置の系列であり, 出力は天井, 床, 壁, 壁開口部 (窓), 物体 (家具など), 空間の 6 種類のラベルが各セルに割り当てられたボクセルモデルである. なお, 本研究では HM3D スキャナとして HoloLens2[2]を使用する. HoloLens2 は Time-of-flight センサを搭載し, 1 スキャンあたり約 6 万点の点群を 5FPS で取得し, 各点群を取得した際のデバイス位置も利用できる.

提案手法では, まず, 点群外れ値除去を行い, 点群の z 軸が鉛直上方向となるよう点群を回転させる (図 3A1). 次に, 入力点群を包含するボクセルを生成し, 点群包含状態と法線に関するラベルをセルに割り当てた初期ボクセルを出力する (図 3A2). そして, 領域成長法, 穴埋め処理による天井・床検出を行う (図 3A3). その後, ボクセル分類規則に基づき, 壁/壁候補・物体・空間を検出する (図 3A4). 最後, 壁候補を, 近傍セル探索ならびにレイキャストに基づく遮蔽部推定により壁もしくは壁開口部と判定する (図 3A5).

既存手法[1]では, HM3D スキャナ標準機能によって得られる低解像度三角形メッシュを用いていたため細部の形状再現性が低い, ユークリッド距離に基づく近傍セル探索によって遮蔽部を推定していたためその信頼性が低いといった課題があった. 本提案手法は HM3D スキャナで取得し

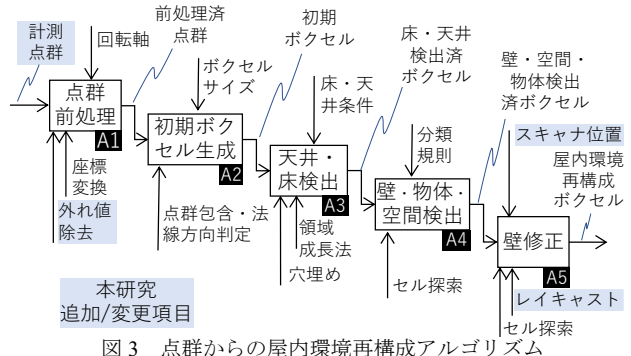


図 3 点群からの屋内環境再構成アルゴリズム

た点群を直接使い, また, スキャナ位置を考慮した信頼性の高い遮蔽部推定により既存手法の課題を解決している. また, 近年, 既存手法[1]の部屋認識性能を向上した手法[3]が提案されているが, 信頼性の高い遮蔽部の推定は課題として残されていた.

### 2.2. 点群前処理

HM3D スキャナで取得できる点群には外れ値が多く含まれるため, SOR フィルターにより外れ値除去を行う. また, 点群の z 軸が鉛直上方向となるよう点群を回転させる (HoloLens2 点群では x 軸まわりに 90 度回転).

### 2.3. 初期ボクセル生成

はじめに, 入力点群 (図 4(a)) を包含するボクセルを生成し (図 4(b)), 点群の点を含むセルを OCCUPIED セル, 含まないセルを EMPTY セルとする (本実装ではセルサイズを 5cm とした). 次に各セル  $c$  において, セル内の点群の単位平均法線ベクトル  $\mathbf{n}_c$  を計算し, その z 成分  $\mathbf{n}_c \cdot \mathbf{z}$  に応じて式 (1) に従ってセル  $c$  にラベル  $l_c$  を割り当てる (図 4(c)).

$$l_c = \begin{cases} \text{Normal Up (NU)} & \mathbf{n}_c \cdot \mathbf{z} \geq 0.75 \\ \text{Normal Down (ND)} & \mathbf{n}_c \cdot \mathbf{z} \leq -0.75 \\ \text{Normal Horizontal (NH)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

## 2.4. 天井・床検出

ND のラベルを持つ連続するセル集合を領域成長法により初期天井領域として検出する。天井領域に囲まれる連続する EMPTY セルを天井穴領域として検出する (図 4(d))。天井・天井穴領域の各セルから下方向に存在する最も高い位置に存在する NU セルを床候補として検出し、領域成長法によりセグメント化する。その後、一定以上の大きさで最も高さ値の低いセグメントを初期床領域とする (図 4(d))。天井穴領域において、下に OCCUPIED セルが存在するセルが一定の割合 (本実装では 65%) 以上であればその天井穴領域を天井領域とする。最後に、床領域は天井領域と水平面上の同範囲を持つようにし、高さは初期床領域の高さ、ならびにその高さ値の線形補間/外挿により求める (図 4(e))。1 つの天井領域が 1 つの部屋に対応するものとし、天井領域と対応する床領域ならびにそれらに挟まれるすべてのセルに部屋ラベルを割り当てる。

## 2.5. 壁・物体・空間検出

天井領域の外側 1 セルを天井境界セルとする。天井・天井境界セルから下に向かってセル探索を行い、表 1 に示す分類規則により壁・壁候補・物体・空間セルを検出する (図 4(f))。

## 2.6. 壁修正

壁候補セルから部屋の内部・外部へ向かって近傍セル探索をし、一定距離 (本実装では 3 セル) 内に OCCUPIED セルが存在する場合は壁セルにする (図 4(g))。続いて、各スキャン時のスキャナ位置からスキャン点に対してレイを照射し、スキャナ位置から一定距離 (本実装では 3.5m) でスキャン点より向こう側のレイと交差した壁候補セルを壁セルとする。最後にその他の壁候補セルを壁開口部セルとする (図 4(h))。

## 3. 提案手法の適用結果と評価

HoloLens2 で取得した 1534 スキャン (計約 9700 万点、大学建物内 3 部屋と廊下、床面積約 300 m<sup>2</sup>) の点群データに対する提案アルゴリズムの適用結果を図 5 に示す。部屋ならびに天井・床・壁・物体セルが概ね正しく検出できていることが確認できた。ただし、一部に不適切な部屋ラベルの割り当て (図 5(b)において赤い部屋に水色のセルが存在する) など精度の向上の課題も確認された。レイキャストによる遮蔽部推定の有効性を確認するために、すべての壁候補セルが壁セルとなるべき壁面の修正結果を図 6 に示す。実験では全ての壁候補セル (301 個) が正しく壁セルに修正された。3 次元計測は約 10 分、点群からの屋内環境再構成が 3 分 (CPU : RyzenThreadripper3960x) であった。

## 4. おわりに

本報では、HM3D スキャナ計測点群・デバイス位置を考慮した遮蔽部推定に基づく、より正確かつ迅速な屋内環境再構成モデル生成手法を提案し、その有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] P. Hübner, M. Weinmann and S. Wursthorn, VOXEL-BASED INDOOR RECONSTRUCTION FROM HOLOLENS TRIANGLE MESHES, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume V-4-2020, pp. 79-86 (2020)
- [2] Microsoft HoloLens - Docs, <https://docs.microsoft.com/ja-jp/hololens/> (最終アクセス 2022/7/29)
- [3] P. Hübner, M. Weinmann, S. Wursthorn, Automatic voxel-based 3D indoor reconstruction and room partitioning from triangle meshes, IRPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 181, pp. 254-278 (2021)

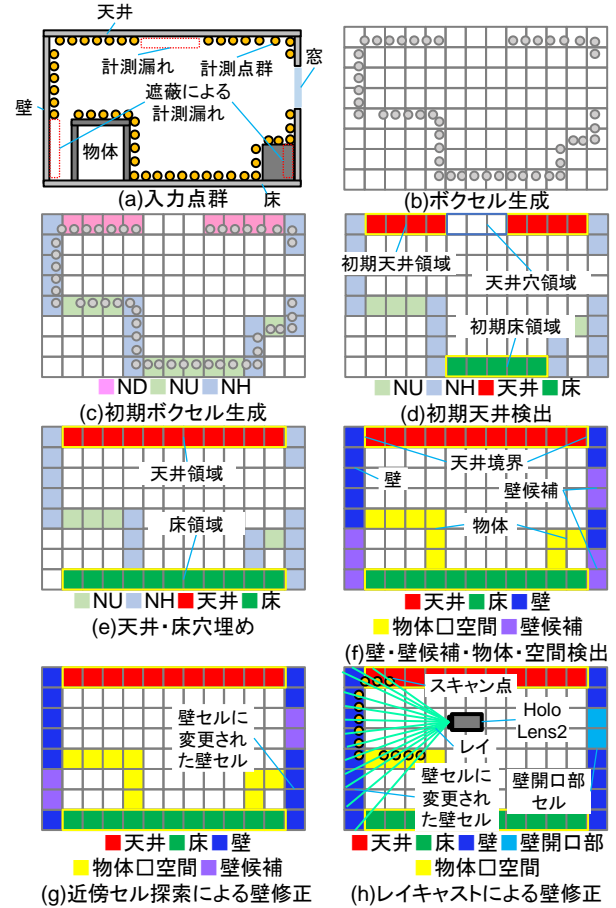


図 4 屋内環境再構成

表 1 分類規則

検出セル	探索開始セル	訪問セル
壁セル	天井境界セル	OCCUPIED セル
壁候補セル		EMPTY セル
物体セル	天井セル	OCCUPIED セル
空間セル		EMPTY セル

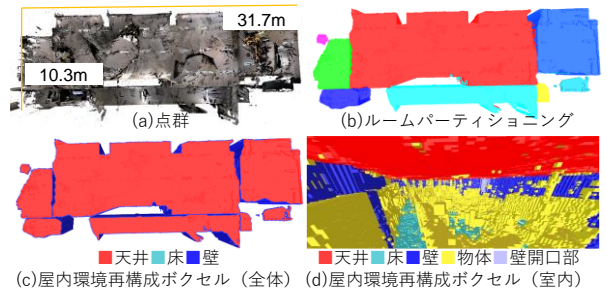


図 5 屋内環境再構成結果

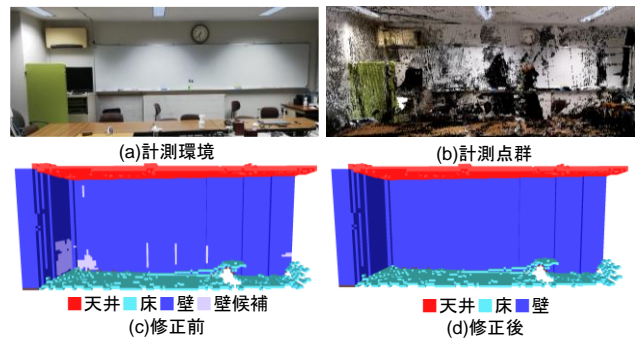


図 6 遮蔽部推定による壁修正結果