

# 携帯端末による屋内構造の計測と 直方体モデルのフィッティング

土田 知実<sup>1,a)</sup> 間下 以大<sup>1</sup> 浦西 友樹<sup>1</sup> Ratsamee Photchara<sup>1</sup> 竹村 治雄<sup>1</sup>

**概要:** 建物の増築や改築, 設備の更新の工事を行う際には一般的に間取り図が必要になる。しかし, 間取り図が存在しない, 入手できた間取り図と実際の間取りが異なっているという場合がある。そういった場合は新しく書き起こす必要があり, 現状では手作業で屋内構造を計測し間取り図を作成している。そこで本研究では軽量な計測機器を用い, なおかつ狭い場所など様々な場所の計測にも対応できるように, デプスセンサを搭載したハンドヘルドデバイスを使用して自動で屋内狭空間の計測と CAD モデルの作成を目的とする。本研究では CAD 作成の足掛けとして, 計測データに直方体を当てはめてフィッティング処理を加え, 計測対象の屋内構造に近いモデルを生成する。

**キーワード:** コンピュータビジョン, 屋内構造, 点群, モデル

## 1. はじめに

新築時から数年, 数十年経過した建物に対して, 改築や増築を行ったり建物の設備を更新したりすることがある。このような場合には, どの程度までなら動かせるか, どのサイズの部品なら運び込めるか, 工事を行うときに他の設備が邪魔にならないかなどを知る必要があるため, 間取り図の入手が必要となる。しかし, 建物を建ててから何年もの時を経ると, 屋内にパーティションが存在していたりするため, 建築当初の間取り図が入手出来ても実際の間取りは異なっていることが多い。このような場合, 増改築や設備更新等の工事をする際には現状の間取り図を書き起こす必要がある。

現状では, レーザー測位計とメジャーを使用して作業員が手作業で屋内構造の計測をし, 間取り図を作成している。手作業での計測は手間のかかる作業であることに加えて, 寸法測定ミスが発生したり, 計測後に寸法測定漏れが発覚して大幅な手戻りが発生したりするなど, 間取り図の作成作業はコストがかかる。ゆえに, この計測作業の低コスト化が求められている。

そこで本研究では, 持ち運びが容易でなおかつ狭い場所などの計測にも対応できるように, デプスセンサを搭載した軽量なハンドヘルドデバイスを使用して自動で屋内構造

の計測を行うことを目的とする。さらに, 間取り図を作成するために計測データにフィッティング処理を加え, 計測対象の屋内構造に近いモデルを生成することを目指す。具体的には, ハンドヘルドデバイスで屋内構造の点群を取得し, 得られた点群に対して直方体という三次元モデルのプリミティブを当てはめ, 実環境とモデルが近くなるように誤差評価関数について反復計算を行って最適値を求める。

## 2. 関連研究

Jia ら [1] の研究では, デスク上の互いに接触する複数個のオブジェクトに対して RGB-D 画像を取得して点群に 3D ボックスを当てはめ, 3D ポイントとボックスサーフェスに基づいてボックスフィッティングエラーを定義する等により, 物理的に意味をなさないセグメンテーションを防止して正確な復元をしている。

部屋は単なる空の空間であるようにモデル化するボックスレイアウトと, 壁と床と天井のうち視認可能部分の正確なローカリゼーションを提供するサーフェスラベルの両方を一緒にモデリングすることで空間レイアウト推定を行う研究 [2] もある。

屋内構造が壁, ドア, 窓といった基本構造で構成されていることや, 建築部材は一般に平面, 円柱, 球などに近似できる平面になっていること, 椅子が床に立つ, モニターがテーブルに乗るといったプライオリティを満たすこと等の制約条件により, ローエンドのハンドヘルドスキャナで屋内構造の 3D 計測と復元を行った例 [3] もある。

<sup>1</sup> 大阪大学 情報科学研究科  
〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32

<sup>a)</sup> tsuchida.kazumi@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp

大型機器ではあるが高性能のレーザーレンジスキャナを用いて構造計測を行っている例もある。Sanchezら[4]はレーザーレンジスキャナによって点群を取得し、点主成分分析、セグメンテーション、モデルフィッティングを適用して、RANSAC[5]を用いて天井、床、壁、および階段といった基本構造を検出し3Dモデルを生成している。

Ikehataら[6]はまず、レーザーレンジスキャナで取得した点群に対して室内構造を構成要素ごとに分解し、それぞれをノードとして表した構造グラフを作成したり、構造グラフ上で定義される変換規則を構造文法として記述して、ドアや廊下による部屋同士の接続も可能とした室内構造の復元をしている。

Xiaoら[7]は美術館という広大な建物に対してハンドトrolleyを用いてレーザーレンジスキャナで屋内構造の点群データを取得し、美術館の3Dモデルを復元している。地上に立つ人間の高さから撮影した写真も入力として使用し、復元した3Dモデルにその写真を適応することで高品質のテクスチャも生成している。

屋内構造計測にあたって、LSD-SLAM[8]を用いる例もある。LSD-SLAMでは単眼カメラで触接取得した画像の画素値を直接利用した各画像間のアラインメントによって高精度なポーズ推定を行い、自己位置推定と環境地図作成を同時に実行する。しかし、LSD-SLAMでは特徴量が少ない環境の計測に不向きであったり、計測時の移動方向は水平移動が推奨されていたり、移動速度が手遅くといった短所もある。

屋内構造計測器を使用したサービスも存在する。matterport社が提供しているMatterport[9]は、点群とRGB画像を同時取得する3Dカメラを定点設置して計測を行う。3Dメッシュモデルを生成することができるが、VRで計測した屋内構造を3Dギャラリーとして鑑賞するにとどまっている。

Occipital社が提供しているiPad向けのアプリケーションであるCanvas[10]は、モバイルデプスセンサをiPadに接続し、屋内構造の3Dメッシュモデルをリアルタイムでキャプチャする。iPad上で指定した箇所の長さを計測できたり、3DメッシュモデルをCAD変換することも可能であるが、CAD生成作業は人の手で行われ、約2営業日を要している。

このように、屋内構造の計測や復元ではオブジェクト認識を対象にしたものであったり、精度の高いレーザーレンジスキャナを用いて計測を行うものの移動性の点で不便となったりするものが多い。既存の屋内構造計測製品にはハンドヘルドタイプの計測機器も存在しているが、端末上での3Dビューや寸法計測を行うまでにとどまっている。

### 3. 直方体モデルを用いたフィッティング

#### 3.1 フィッティングの概要

本研究では、ハンドヘルドデバイスで屋内構造を計測し、計測時に得られた点群データに対して直方体モデルのフィッティング処理を行うことでモデルを復元する。屋内構造は、四方を平面の壁で囲まれ、隣接する壁同士が垂直に交わり、床と天井はすべての壁に垂直に交わるのが一般的である。そのため、今回のフィッティング処理では、計測対象の屋内構造は直方体であると仮定する。フィッティング処理では、目標の直方体モデルを得るため、直方体モデルのパラメータ  $w, h, d, \vec{T}, \theta$  を求める。ここで、 $w, h, d$  はそれぞれ直方体の幅、高さ、奥行きサイズであり、 $\vec{T}$  と  $\theta$  は点群の座標系に対する平行移動と重力方向を軸とした回転である。 $q_i$  は計測で得られた三次元座標を表し、関数  $f$  は直方体モデルと点  $q_i$  との最小距離関数である。これらにより、 $\arg \min_{w, h, d, \vec{T}, \theta} \sum_i |f(w, h, d, \vec{T}, \theta, q_i)|$  となる直方体モデルのパラメータ  $w, h, d, \vec{T}, \theta$  を得る。この式より得られた直方体の寸法から直方体モデルを生成する。このフィッティング処理の概要を以下に示す。

- (1) フィッティング処理を実行するために、まず直方体モデルの3辺の初期値  $w, h, d$  を設定する。
- (2) (1) で生成した直方体に点群の位置を合わせるように全点群の座標を移動させる。これは点群を  $y$  軸回りに  $\theta$  回転し、 $\vec{T}$  だけ平行移動させることにより達成できる。回転に関して  $y$  軸回りの回転のみを考えるのは、計測対象の部屋の高さ方向が重力と反対方向に一致するように定義し、スマートフォンデバイスで取得した点群の  $y$  軸方向と平行であるからである。
- (3) 移動後の点に対して直方体モデルの6面との距離を求め、一番距離の小さい直方体モデルの面を決定する。距離が最小となる面がその点が属すべき直方体の面である。
- (4) 移動後のすべての点に対して(3)を行い、直方体モデルと点群の距離の総和を求める。これがモデルと点群の誤差である。
- (5) この誤差が最小となるようにNelder-Meadのシンプレックスアルゴリズム[11]を使用して、 $w, h, d, \vec{T}, \theta$  の最適値を求める。
- (6) (5) で求めた  $w, h, d$  は直方体モデルの幅、高さ、奥行きであり、これらを3辺とする直方体モデルを出力する。

#### 3.2 直方体モデルと計測データとの最小距離の求め方

点群が上述の  $\vec{T}, \theta$  によって移動された後、最小距離関数  $f$  の値は直方体モデルの各面と点のユークリッド距離の最小値の総和によって得られる。ここで、点  $q_i$  と直方体モ

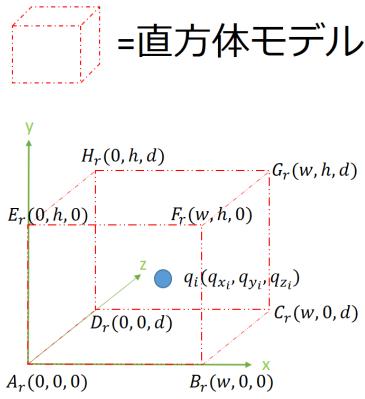


図1 直方体モデルと点  $q_i$

デルの面  $j$  との距離を  $e_{ij}$  とすると、 $f$  は以下のように書ける。

$$f = \arg \min_j |e_{ij}(w, h, d, \vec{T}, \theta, q_i)| \quad (1)$$

$j$  は図1の  $A_r, B_r, C_r, D_r, E_r, F_r, G_r, H_r$  を用いて、 $j \in \{A_r B_r C_r D_r, E_r F_r G_r H_r, D_r C_r G_r H_r, A_r B_r F_r E_r, B_r C_r G_r F_r, A_r D_r H_r E_r\}$  である。直方体モデルは原点に1つの頂点を持ち、図1のように  $x$  軸方向に幅  $w$ 、 $y$  軸方向に高さ  $h$ 、 $z$  軸方向に奥行き  $d$  の長さを持つように設定する。この直方体モデルを直方体  $A_r B_r C_r D_r E_r F_r G_r H_r$  と呼ぶこととする。そうすると、点  $Q_i$  と直方体の面  $A_r B_r C_r D_r$  との距離  $e_{A_r B_r C_r D_r}$  は式2のように、その他の面との距離はそれぞれ式3-7のように書ける。

$$e_{A_r B_r C_r D_r} = \begin{cases} |q_{z_i}| & (0 \leq q_{x_i} \leq w, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{z_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} > w, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{z_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} < 0, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, q_{z_i} < 0) \end{cases} \quad (2)$$

$$e_{E_r F_r G_r H_r} = \begin{cases} |q_{y_i} - h| & (0 \leq q_{x_i} \leq w, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{(q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2} & (q_{x_i} > w, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2} & (q_{x_i} < 0, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} > w, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} < 0, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, q_{z_i} < 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$e_{D_r C_r G_r H_r} = \begin{cases} |q_{z_i} - d| & (0 \leq q_{x_i} \leq w, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{(q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{y_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} > w, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} < 0, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} > w, q_{y_i} > 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} > w, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} < 0, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{x_i} < 0, q_{y_i} < 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$e_{A_r B_r F_r E_r} = \begin{cases} |q_{z_i}| & (0 \leq q_{x_i} \leq w, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{(q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{x_i} \leq w, q_{y_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, 0 \leq q_{y_i} \leq h) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, q_{y_i} > 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} > w, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, q_{y_i} > h) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{x_i} < 0, q_{y_i} < 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$e_{B_r C_r G_r F_r} = \begin{cases} |q_{x_i} - w| & (0 \leq q_{y_i} \leq h, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2} & (q_{y_i} > h, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{y_i}^2} & (q_{y_i} < 0, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{y_i} \leq h, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{y_i} \leq h, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{y_i} < 0, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{y_i} > h, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{y_i} > h, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{(q_{x_i} - w)^2 + q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{y_i} < 0, q_{z_i} < 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$e_{A_r D_r H_r E_r} = \begin{cases} |q_{x_i}| & (0 \leq q_{y_i} \leq h, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - h)^2} & (q_{y_i} > h, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{y_i} < 0, 0 \leq q_{z_i} \leq d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (0 \leq q_{y_i} \leq h, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{z_i}^2} & (0 \leq q_{y_i} \leq h, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{y_i}^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{y_i} < 0, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + (q_{z_i} - d)^2} & (q_{y_i} > h, q_{z_i} > d) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + (q_{y_i} - h)^2 + q_{z_i}^2} & (q_{y_i} > h, q_{z_i} < 0) \\ \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{y_i}^2 + q_{z_i}^2} & (q_{y_i} < 0, q_{z_i} < 0) \end{cases} \quad (7)$$

この式2-7のうち最小の距離の総和が点群と直方体モデルとの誤差となる。この値が最小になるように Nelder-Mead のシンプレックスアルゴリズム [11] を使用して  $w, h, d, t_x, t_y, t_z, \theta$  を決定する。

## 4. 動作実験

図2に示すような四方を白壁に囲まれたおおよそ直方体の部屋を計測対象とした。この部屋の間取り図を図3に示す。図3に示す通り、この部屋の寸法は幅  $w=3.62$  m (図3の右上部分の空間の長さを合わせると  $w=5.12$  m)、奥行き  $d=8.52$  m、高さ  $h=2.70$  m である。計測にはデプスセンサが搭載されている、ASUS 社のスマートフォンデバイス、ZenFone AR を使い、Google Tango によって形状復元を行った。この実験では、計測に約15分を要した。計測で取得した点群からメッシュを作成して ZenFone AR 上でメッシュを表示するためのソフトウェアとして Unity5.5.5f1 を使用している。

フィッティング処理は、Matlab(R2016b) の Optimization Toolbox を利用した。また、フィッティング処理の最初の手順として行う直方体モデルの3辺  $w, h, d$  の設定は手動で行った。

## 5. 結果

3.2節で説明した初期値は、直方体モデルの初期値  $w, h, d$ 、点群を移動するときの並進初期値  $\vec{T} = (t_x, t_y, t_z)$ 、及び回



図 2 計測対象の部屋の画像

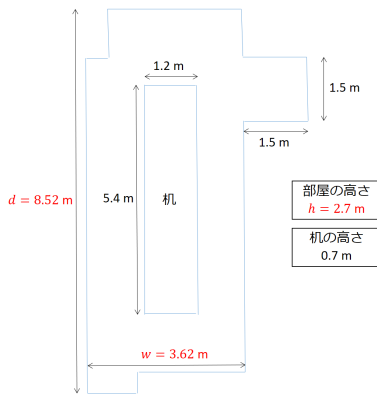


図 3 計測対象の部屋の間取り図

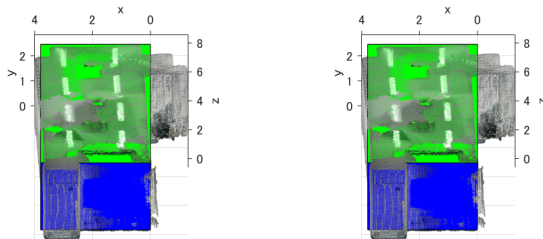


図 4  $(w, h, d)=(3.62, 2.7, 8.52)$ , 図 5  $(w, h, d)=(2.7, 3.62, 8.52)$ ,  
 $\vec{T}=(2.95, 1.40, 2.00)$ ,  $\vec{T}=(2.95, 1.40, 2.00)$ ,  
 $\theta = \pi/14$  の場合  $\theta = \pi/14$  の場合

転初期値  $\theta$  である。図 4-7 にこれら 7 つの初期値を変えて実行したフィッティング処理の結果として生成されたモデルの例を示す。

図 4 は  $(w, h, d)=(3.62, 2.70, 8.52)$ ,  $\vec{T}=(2.95, 1.40, 2.00)$ ,  $\theta = \pi/14$  を設定した場合である。このときのフィッティング処理結果では、直方体の寸法は幅  $w=3.80$  m, 高さ  $h=2.68$  m, 奥行き  $d=8.22$  m であった。その他, 図 5, 6, 7 も含めたすべてのフィッティング処理結果を表 1 に記載する。

これらの結果から提案手法のフィッティング処理は初期

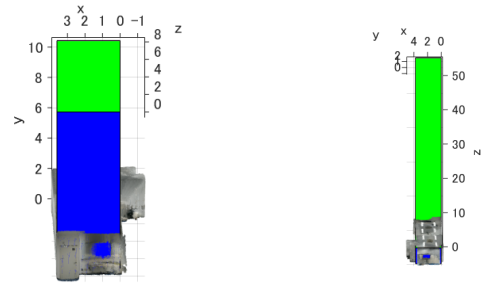


図 6  $(w, h, d)=(3.62, 8.52, 2.7)$ ,  $\vec{T}=(2.95, 1.40, 2.00)$ ,  
 $\theta = \pi/14$  の場合  
図 7  $(w, h, d)=(3.62, 2.7, 8.52)$ ,  $\vec{T}=(2.95, 1.40, 2.00)$ ,  
 $\theta = \pi$  の場合

値の影響を大きく受けることがわかる。

### 5.1 考察

この実験では初期値の重要性が如実に表れた結果になった。図 4 のように、直方体の 3 辺に理想的な値を設定した場合でも、並進初期値  $\vec{T}$  と回転初期値  $\theta$  の最良の初期値が定まっていないため、誤差が生じる結果となった。しかし、この場合は実環境の幅方向の長さ 3.62 m に対して直方体モデルの幅  $w = 3.80$  m より誤差 4.9 %, 高さ方向の長さ 2.70 m に対して  $h = 2.68$  m より誤差 0.8 %, 奥行き方向 8.52 m に対して  $d = 8.22$  m より誤差 3.6 % となり,  $\vec{T}$  と  $\theta$  を上手く設定できればより良いモデルが生成できる可能性がある。

図 7 も同じく直方体の 3 辺に理想的な初期値を与えた例であるが、こちらは回転初期値  $\theta$  が真値から大きく外れた値をとり、そこへ  $\vec{T}$  だけ平行移動することによって、モデルと点群の位置がかけ離れた状態からのフィッティング処理になる。その結果、 $z$  軸方向に大きな誤差が累積され、本来の奥行きの約 6.5 倍もの長さのモデルが生成されたと推測される。

また、図 5, 図 6 はそれぞれ図 4 初期値の  $w$  と  $h$ ,  $h$  と  $d$  を入れ替えたものである。図 5 のように、直方体の初期値と真値との差が小さい場合にはうまく最適解が導かれているが、図 6 のように差が約 2.35 倍にもなると部屋の天井面の点群も床面の点群も両方とも設定した 3 辺の初期値を基に仮に生成した直方体モデルの床面との距離の方が小さくなるため、モデル生成が失敗に終わった。

以上より、より良い結果を得るためにはより良い初期値を推定しなければならない。計測対象の部屋の高さ方向が重力と反対方向に一致し、かつ、ZenFone AR で取得した点群が  $y$  軸方向と平行であることに注目すると、まず RANSAC や LMedS 等によって  $y$  軸と垂直になる天井面もしくは床面を推定できる。屋内空間では少なくとも人間 1 人は通れる幅があるはずなので、先に推定された天井面もしくは床面から 1.50 m 以上は離れた場所にもう一方の

表 1 フィッティング処理の結果

図	初期値 $(w, h, d)$ [m]	$\vec{T} = (t_x, t_y, t_z)$ [m]	$\theta$ [rad]	モデル寸法 (幅, 高さ, 奥行き)[m]
図 4	(3.62, 2.7, 8.52)	(2.95, 1.40, 2.00)	$\pi/14$	(3.80, 2.68, 8.22)
図 5	(2.7, 3.62, 8.52)	(2.95, 1.40, 2.00)	$\pi/14$	(3.80, 2.68, 8.21)
図 6	(3.62, 8.52, 2.7)	(2.95, 1.40, 2.00)	$\pi/14$	(3.60, 10.65, 8.16)
図 7	(3.62, 2.7, 8.52)	(2.95, 1.40, 2.00)	$\pi$	(3.76, 2.67, 55.49)

面が存在するはずである。また、壁面は歪んでいないと仮定すると壁面は  $y$  軸と並行となる。したがって、RANSAC や LMedS で  $y$  軸に平行な面を 1 面は推定できる。2 つの壁の距離についても、少なくとも人間 1 人分は離れているはずである。一般的なドアの幅が 0.60 m であることから、先ほど推定した壁面から 0.60 m 以上離れた位置に平行に壁がもう 1 面存在する。あとは、残りの 2 壁面がこれらの壁面と垂直に交わることを考慮して、同じ要領で推定すれば  $w, h, d$  は決定できる。 $w, h, d$  が推定できれば直方体の各頂点は求まるので  $\vec{T}$  と  $\theta$  は求めることができる。

初期値以外にも誤差を生んだ別の原因として、計測対象となった部屋の壁際に存在するプロジェクタやテレビ、中央に存在する机を取り除かなかったことが挙げられる。例えば、ある程度フィッティング結果が実環境に近かった図 4, 図 5 において、直方体の高さが 2.70 m を下回ったことから、机による影響があることが伺える。

さらに、フィッティング時にはこの部屋の構造を完全な直方体とみなして計算を行ったが、実際には完全には直方体ではないことも影響していると推察される。特に、図 4, 図 5 の結果を見ると、生成されたモデルの幅方向が 3.62 m を上回っていたことから、図 3 の右上部に存在する 1.50 m  $\times$  1.50 m の空間による影響が伺える。

## 6. おわりに

本研究では、ハンドヘルドデバイスを使用して自動で屋内狭空間の計測を行い、そのモデルを生成した。まず、ZenFone AR というハンドヘルドデバイスを計測に使用することで手軽さを満たし、3.64 m  $\times$  8.52m  $\times$  2.70m 程度の部屋に対して約 15 分で計測を行うことが出来たため時間も短縮されたとみなしてよい。しかし、フィッティング処理は不完全であり、間取り図の作成はできなかった。

今後の課題としては、まず第一にフィッティング性能を上げる必要がある。その他の課題として、計測対象の屋内構造を増やしてさらなる評価を行う点、ZenFone AR 端末上で寸法確認ができるようにする点などが挙げられる。また、本研究の目標である間取り図の作成を達成するために、現状のモデルから CAD モデルを生成できるようにする必要がある。

## 参考文献

- [1] Z. Jia, A. Gallagher, A. Saxena, and T. Chen, "3D-Based Reasoning with Blocks, Support, and Stability," In *Proceeding of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2013)*, Portland, Jun 2013.
- [2] V. Hedau, D. Hoiem, and D. Forsyth, "Recovering the Spatial Layout of Cluttered Rooms," In *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2009)*, pp. 1849-1856, 2009.
- [3] Y.M. Kim, N. Mitra, D. Yan, and L. Guibas, "Acquisition of 3D Indoor Environments with Variability and Repetition," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 31, No. 6, p. 138, Nov 2012.
- [4] V. Sanchez and A. Zakhov, "PLANAR 3D MODELING OF BUILDING INTERIORS FROM POINT CLOUD DATA," In *Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2012)*, pp. 1777-1780, 2012.
- [5] M.A. Fischler and R.C. Bolles, "Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Communications of the ACM*, vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.
- [6] S. Ikehata, H. Yan, and Y. Furukawa, "Structured Indoor Modeling," In *Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV2015)*, Chile, Dec 2015.
- [7] J. Xiao and Y. Furukawa, "Reconstructing the World's Museums," In *Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision (ECCV2012)*, Italy, Oct 2012.
- [8] J. Engel, T. Schops and D. Cremer, "LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM," In *European Conference on Computer Vision (ECCV2014)*, Zurich, Sep 2014.
- [9] Matterport <https://matterport.com/> (最終アクセス日:2018/2/06) .
- [10] Canvas <https://canvas.io/> (最終アクセス日:2018/2/06) .
- [11] J.C. Lagarias, J.A. Reeds, M.H. Wright, and P.E. Wright, "Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions," *SIAM Journal of Optimization*, Vol. 9, No. 1, pp. 112-147, 1998.