

# BIM への屋内環境レーザー計測データの自動レジストレーションに関する基礎研究

北海道大学大学院情報科学研究科 ○伊豫田 大佑, 伊達 宏昭, 金井 理

## 要 旨

建物情報モデル (BIM) は, 設計・施工以外にも維持管理を目的とした応用も期待されており, 建物の最新の屋内環境を BIM に反映, 更新させることは重要な課題である. 本研究では, 屋内環境を部分的にレーザー計測した 3 次元点群から, Region Growing を用いて平面特徴領域を抽出し, 特徴領域間の幾何学的関係をグラフ構造として認識する手法を開発したため報告する.

### 1. はじめに

建築プロジェクトにおける様々な情報を電子化した建物情報モデル(BIM)の利用機会が, 今後ますます増加すると予測されている[1]. 計画, 設計, 施工以外にも, BIM の活用により, 建物の維持管理や改築計画が低コストかつ高品質に実施できると期待されている. その一方で, 建物完成後に屋内に加えられる比較的小さな変更や, 設備品・家具などの変更を BIM データに反映させ, 常に最新状態に更新してゆくには多くの手間がかかるため, その自動化が重要な課題となっている.

そこで本研究では, 図 1 に示す様に, 特に屋内環境に対して部分的にレーザー 3 次元計測を行い, 得られた点群データを用いて, BIM データを自動的に最新状態へと更新する手法の開発を目的とする. 本報ではその第一段階として, 屋内環境の 3 次元レーザー計測データから平面等の特長領域を自動抽出し, その特徴領域間の幾何学的な関係をグラフ構造として認識する手法を開発したので報告する.

### 2. 計測点群と BIM の自動レジストレーション手法

本手法のアルゴリズム概要を, 図 2 に示す. まず実際の屋内環境のレーザー計測点群から, 壁・天井・床等を構成する平面等の特徴領域群を抽出し, これら特徴領域間の幾何学的関係を完全グラフで表現した「特徴領域グラフ」 $G_p$ を作成する. 同様に, 同一空間を含む BIM からグラフ  $G_b$  を作成する. このとき, 計測点群の特徴領域グラフ  $G_p$  は, BIM の特徴領域グラフ  $G_b$  の部分グラフとなるため, グラフ  $G_p, G_b$  間のグラフマッチングを行うことで BIM 内の該当位置に, レーザー計測点群をレジストレーションすることが可能となる. その後, 点群と BIM との差分形状を抽出し, 差分形状と一致するモデルを標準設備形状データベース内から検索する. 最後に, 検索された設備モデルを BIM 内に挿入, もしくは BIM 内から削除し, 最新状態へ更新する. 本報ではこのうち, 屋内環境を部分的に計測したレーザー計測点群から平面特徴領域を抽出し, それらの幾何学的関係を特徴領域グラフ  $G_p$  として認識する手法を報告する.

### 3. 計測点群に対する特徴領域グラフの作成

#### 3.1 特徴領域グラフ作成の概要

まず, 3 次元レーザー計測機で屋内環境を部分的に計測し, 点群を取得する. 取得点群に対し Kd-tree を構築し, 近傍点探索の高速化を図る. 次に, 点群内から特徴領域の一つである平面の抽出を行う. 研究目標である点群と BIM との差分形状抽出には, 平面領域を正確に抽出することが必要であるため Region Growing を採用した. その詳細手法は 3.2 節で述べる. さらに, 抽出された特徴領域群に対し, 領域間の幾何学的関係の評価と, 屋内環境のモデルを表現した意味ネット[2]を用いた各領域の意味分類を行う. 幾何学的関係とは, 領域間の平行・垂直・接続・上・下等の関係であり, その関係から完全グラフである「特徴領域グラフ」 $G_p$ を自動で作成する.

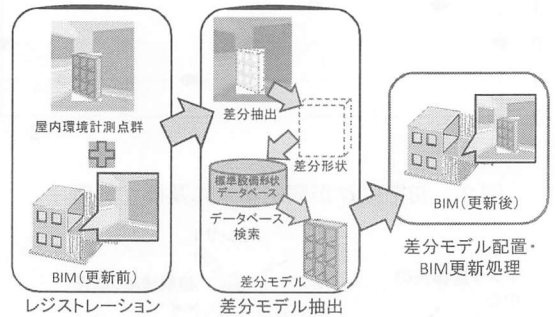


図 1 本研究の概要

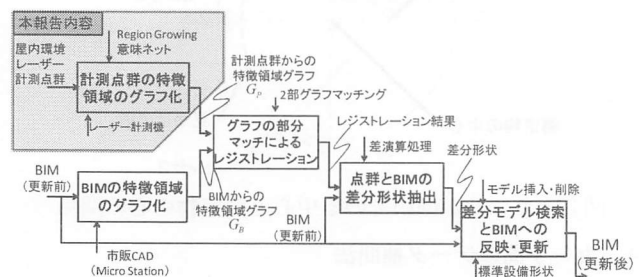


図 2 本手法のアルゴリズム概要

### 3.2 Region Growing による特徴領域の認識

レーザー計測点群に対し, Region Growing を用いて特徴領域の抽出を行う. その処理手順を以下に示す.

- 1) 特徴領域に未所属の測定点群の中からランダムに選ばれたシード点  $p_{seed}$  を領域中心点  $p_c$  として, 図 3(a) に示す様な領域幅  $w=[w_x, w_y, w_z]$  の探索領域  $R_T$  を生成し,  $R_T$  内に含まれる領域未所属の点群を  $i$  番目の特徴領域  $S_i$  に含める. また, 探索領域中心点集合を  $P_c = \{p_{seed}\}$  と初期化する.
- 2)  $P_c$  から 1 点を取り出して  $p_c$  とし, その探索領域  $R_T$  に含まれる点群に式(1)の最小二乗平面をあてはめる.

$$P_c \leftarrow P_c - \{p_c\} \text{ とする.} \quad ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

- 3)  $R_T$  を  $+x$  方向に領域幅  $w_x/2$  ずらした領域  $R_{T1}$  を生成する.  $R_{T1}$  の領域中心点  $p_{c1}$  は式(2)で表される(図 3(b), 図 3(c)).

$$p_{c1} = \left[ x + \frac{w_x}{2}, y, a \left( x + \frac{w_x}{2} \right) + by + c \right] \quad (2)$$

- 4)  $R_{T1}$  に対して拡大停止条件  $C_1$  と  $C_2$  を判定し, どちらも満たさない場合は, 領域  $R_{T1}$  内に含まれる領域未所属の点群を領域  $S_i$  に含め, 5) に移る. また, どちらか一方でも満たした場合は 6) に移る.
- 5)  $P_c \leftarrow P_c \cup \{p_c\}$  とする.
- 6) 中心点  $p_c$  に対して 2), 3), 4) を図 3(b) に示す様に  $+y$  方向,  $-x$  方向,  $-y$  方向に対しても同様に行う.

7)  $P_c = \{\}$  となったら  $i \leftarrow i+1$  として 1) に戻り、全ての点に対して繰り返す。

ここで、拡大停止条件  $C_1, C_2$  を以下に示す。

#### 距離による拡大停止条件 $C_1$

領域  $R_T$  内の点群にフィットさせた最小二乗平面からある点までの距離  $d$  が閾値  $\varepsilon_d$  を上回ること。

$$d > \varepsilon_d \quad (3)$$

更に、式(3)を満たす点数の割合が閾値  $\varepsilon_k$  を上回ること。

$$\frac{k}{K_R} > \varepsilon_k \quad (4)$$

$k$ : 式(3)を満たす点の数  $K_R$ : 領域  $R_{Tn}$  内に含まれる点の数

$\varepsilon_k$ : 式(3)を満たす点の割合の閾値

#### 角度差による拡大停止条件 $C_2$

2つの領域にフィットした最小二乗平面の角度差が閾値  $\varepsilon_r$  を上回ること。

$$\cos^{-1} \left| \frac{\mathbf{n}_1 \cdot \mathbf{n}_2}{|\mathbf{n}_1| \cdot |\mathbf{n}_2|} \right| > \varepsilon_r \quad (5)$$

$\mathbf{n}_1$ :  $R_T$  内の点群に対する最小二乗平面の法線ベクトル

$\mathbf{n}_2$ :  $R_{T1}$  内の点群に対する最小二乗平面の法線ベクトル

$\varepsilon_r$ : 角度閾値

以上より、点群から特徴領域群を抽出することが可能となる。

### 3.3 特徴領域グラフの作成

各特徴領域間の法線ベクトル間角度から、領域間の「平行」および「垂直」関係进行评估する。また、各特徴領域に含まれる点群同士の最短距離を評価し、領域間の「接続」関係を構築する。以上の結果から、各特徴領域をノード、特徴領域間の幾何学的関係をエッジとし、完全グラフとして表現した「特徴領域グラフ」を作成する。 $G_p$  の構造を Nüchter らによって提案された屋内環境対象物の意味ネット[2]とマッチさせ、各領域に対し、天井、床、壁、ドアといった意味的な分類を行う。本手法で適用する意味ネットを図4に示す。この意味分類を行う処理手順を以下に示す。

- 1) 各特徴領域の法線ベクトルから水平面を抽出し、グラフの中で最も「下」に位置する特徴領域を床と判定する。
- 2) 「床」と判定された特徴領域を基準とした幾何学的関係から、意味ネットの構造に従って「床」と平行や垂直等の幾何学的関係を持つ他の領域に対して意味分類を行う。壁とドアの区別は、床と天井両方の幾何学的関係から判断する。
- 3) 2) で意味分類されなかった特徴領域に対しては、床以外で分類済みの領域との幾何学的関係に基づき意味分類を行う。以上によって全特徴領域の意味分類が可能となる。

### 4. 処理結果

図5(a)に3次元レーザー計測を行った屋内環境とその点群データを示す。計測点群数は364511点である。この計測データを用い、3節で述べた Region Growing による特徴領域の抽出を領域幅  $w=[5.0, 5.0, 5.0]$ 、距離閾値  $\varepsilon_d=1.0$ 、角度閾値  $\varepsilon_r=0.9$ 、点数閾値  $\varepsilon_k=0.2$  として実行し、領域毎に色分けをした表示結果を図5(b)に示す。合計で10面の平面特徴領域が抽出された。Plane3 については壁とドアがほぼ同一の平面に存在するため、一つの平面と認識されているが、それ以外の平面に対しては特徴領域が正しく認識されている。またこれらの特徴領域に対して、幾何学的な関係进行评估し、作成された特徴領域グラフ  $G_p$  を図6に示す。また、この  $G_p$  に対して図4に示した意味ネットを適用し、意味分類を行った結果を図7(a),(b),(c)に示す。10面の特徴領域を正しく意味分類することができた。

### 5. まとめと今後の課題

本報では、レーザー計測機による3次元計測点群に対して、Region Growing を用いた特量領域抽出とその幾何学的関係のグラフ化を行うことにより、BIM と計測点群のレジストレーションに必要な、意味を持つ幾何学的構造を抽出できた。今

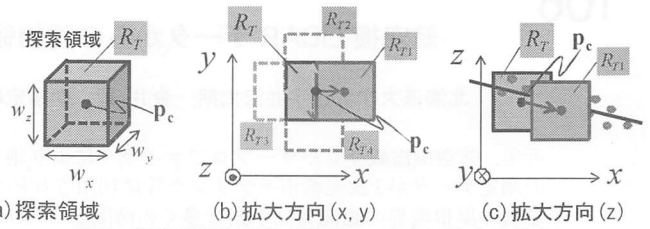


図3 探索領域と拡大方向 (x, y 方向に拡大の場合)

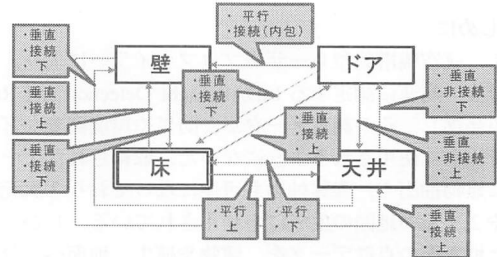


図4 意味ネット

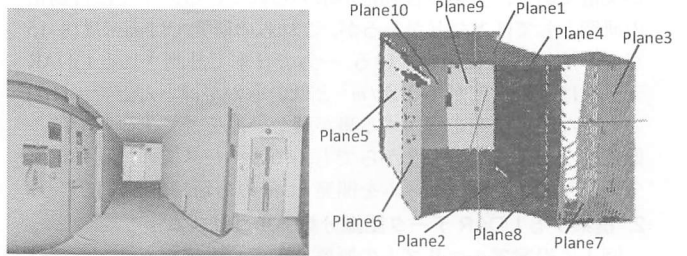


図5 Region Growing による特徴領域抽出結果

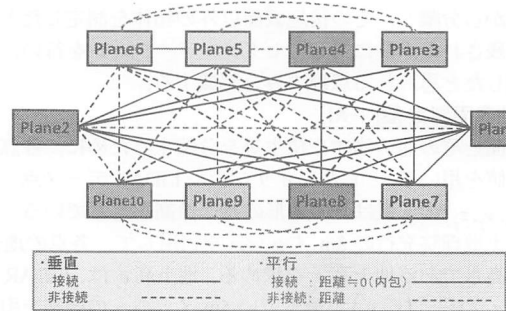


図6 特徴領域グラフ  $G_p$

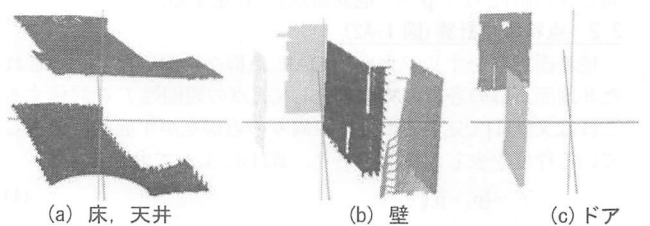


図7 特徴領域の意味分類結果

後の課題としては、BIM 側からの特徴領域グラフ  $G_B$  の自動抽出と、 $G_p$  とのグラフマッチングによる、点群の大まかなレジストレーションを行う予定である。

### 参考文献

- [1] 足達嘉信, BIM を実現する標準データモデル IFC およびその国際的な活用動向, 建築コスト研究, SPRING, pp.4-17, (2009)
- [2] Andreas Nüchter, Hartmut Surmann, Joachim Hertzberg, Automatic Model Refinement for 3D Reconstruction with Mobile Robots. Proc. of 3DIM, pp.394-401, (2003)