

## 点群データを利用した三次元地図補正

柴山 純一<sup>†</sup> 前原 秀明<sup>†</sup> 石渡 要介<sup>†</sup> 加瀬 隆明<sup>†</sup>

我々は、車載のレーザ測定装置より得た点群データを基に都市の精密な三次元地図を作成する研究を行なっている。点群データは、GPS 装置、IMU 装置、オドメータなどを組み合わせることで路上物体、路側物体の精密な位置を得ることができる。今回、点群から建物の壁面を自動的に抽出することにより、家屋外形を含む三次元地図の補正を行なう方式を検討した。さらに、補正を行なう際に、道路上の歩行者・車両・標識・街路樹などの壁面以外の物体の影響を除く方式を考案した。

本論文では、上記方式の検討結果およびプロトタイプシステムによる動作結果を示し、有効性を検証する。

## Correction of 3-Dimensional Maps by Point Cloud Data

Jun-ichi Shibayama<sup>†</sup>, Hideaki Maehara<sup>†</sup>, Yosuke Ishiwatari<sup>†</sup>, Takaaki Kase<sup>†</sup>

This paper introduces a correction method of 3-dimensional maps, using point clouds acquired by a laser measurement unit in a mobile mapping system mounted on a car. The 3-dimensional maps originated from aerial point clouds conveyed a maximum scaling factor of 1/2500. Point clouds from a car, supported by a GPS set, IMU set and an odometer set show more precise positions of objects on and alongside roads, on which the measurement car proceeds. Thus we tried to extract building walls automatically, to correct 3-dimensional maps with building contours. In this process, we tried to get rid of the influence of non-building objects, such as pedestrians, cars, road signs and street trees.

In this paper, we describe a prototype system for map correction and its experimental results.

---

<sup>†</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

## 1. はじめに

地上、特に都市部の地物を三次元地図として再現することにより、防災のシミュレーションやガイダンス、車両や歩行者に対するナビゲーションサービスなどにおいて、利用者は二次元地図を用いるよりも容易に状況を把握することができる。従って、三次元都市地図の作成が盛んになりつつあるが、この作成には多大な労力が必要となる。最近では、航空機搭載のレーザレンジファインダからレーザを照射し、地物までの距離を精密に得るとともに、レーザ装置の位置とスキャン方向を GPS と IMU で獲得することで「点群(Point Cloud)」のデータを得て、上空から見た三次元地図を作成するシステムが知られている[1]。一方、このように航空機から測量された点群のみでは、建物の側面が十分に捉えられず、さらに精度の面でも制約があるため、現在得られる最大尺度は地上測量の成果を加味した場合でも縮尺 1/2500 (平均誤差 1.75m 未満) にとどまっている。

測定用に車両にレーザレンジファインダ、IMU、GPS、さらにはオドメータ、ビデオカメラなどを搭載して精密な点群を得るモバイルマッピングシステムがあり[2][3]、この点群をもとにした三次元地図の構築が試みられている[4]。我々は、点群データを用いて縮尺 1/2500 の三次元地図を補正し、最終的に縮尺 1/500 の三次元地図を作成することを目標としたプロトタイプを開発中である。本論文では、地図補正のために点群から壁面を抽出して既存の三次元モデルの壁面を補正する技術、及びプロトタイプによる検証について述べる。さらに、モバイルマッピングシステムの弱点である、地上の建物以外の物体(駐車車両、街路樹など)の影響の除去について報告する。

なお、車載点群データ自身のもつ誤差の除去については、同時発表の論文[5]に譲る。

## 2. 点群データの取得

モバイルマッピングシステムにより各種のデータを走行する車両から取得し、これを三次元地図の補正に用いる。データ取得の概念図を図 1 に示す。図 1(a)は町並みを模式的に示し、図 1(b)は取得したデータで再現した三次元構造を示す。レーザは物体の表面で反射するので、奥行きのある物体は、レーザ装置側の表面にあたる壁面だけがデータ化される。

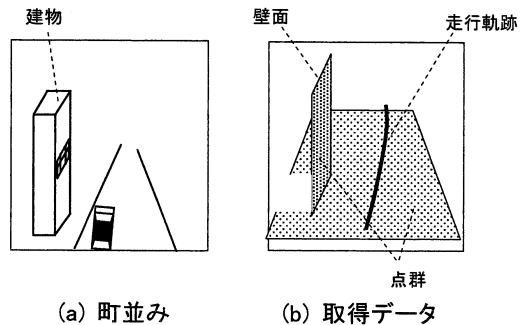


図 1 点群データ取得の概念図

モバイルマッピングシステムでは、1 次データとして次のデータを取得する。

- ① 地物までの距離、取り付け方向に対する角度(レーザレンジファインダの計測値)
- ② レーザレンジファインダの車両に対する取り付け位置、姿勢(固定値)
- ③ 車両の進行方向、速度、加速度(IMU およびオドメータによる計測値)
- ④ レーザレンジファインダの位置、測定時刻、衛星状態(GPS による計測値)
- ⑤ ビデオカメラによる周囲の映像

これらのデータを処理し、以下の 2 次データを求めて、地図補正の検討に用いる。

- ① 計測の原点：車両の走行開始位置。緯度・経度・高度で表わす。
- ② 点列データ：地物の位置を xyz の三次元座標値で記す。x は経度方向、y は緯度方向、z は高度方向であり、測定精度は各々 mm 単位である。点列デー

タには三次元座標値に加えて、そのデータを GPS 計測した際の時刻を記録する。また、ビデオカメラによるデータと照合して、該当地物の色彩(R,G,B各8ビット値)を記録する。

- ③ 走行軌跡データ：車両の三次元位置と時刻。単位は点列データと同じである。

図2に取得した点群の例を示す。ここでは、道路上にバスがあり、路側に街路樹と家屋があるのが見て取れる。



図2 点群の例

### 3. 三次元地図の補正

#### 3.1. 点群による補正方式の利点

点群データは路面、路側の三次元情報を保持している。既存の三次元地図を点群データにより補正して精度を上げることを目的とした方式を検討した。本方式の利点を示す。

- ・ 測量により作成された二次元地図をもとに、航空機測量により取得した広範囲な三次元計測結果を加えて作成された三次元地図が各所で入手可能であり、縮尺1/2500の精度を得ている。
- ・ 道路上の車両から照射するレーザが及ばない家屋密集地、丘、川などがあり、点群のみによって処理できない地物がある。
- ・ 車両からの測定では、図2に見られるように、車両、歩行者などの路上物体が取得される。これらは地図上に表現する際には除外すべき要素となるだけでなく、該当の建物を隠すため、建物の真の形状

が不明となる。従って、広範な範囲を再現した既存の三次元地図は必須である。

#### 3.2. 点群による補正対象

本補正方式は、次の地物について補正対象とし、本稿では壁面の処理を中心に報告する。

- ① 建物の壁面：道路に面している壁面を対象とする。基本的に凹凸が少ないとする。車両や歩行者で遮蔽されている部分、あるいは建物の高層階でレーザが届かない部分があるが、壁面と見なされる部分の三次元位置を定め、三次元地図とマッチングさせる。道路に面していない壁面については、三次元地図のデータを保持するか、補正された壁面にあわせて移動する。
- ② 路面：次のデータ特性から、道路の路面を補正対象とする。

- ・ 道路上の走行軌跡が得られる。
- ・ 路面の高さをミリメートル単位で取得でき、「水勾配」と呼ばれる、道路中央が高く道路端が低い路面構造を再現できる。
- ・ 色彩データをもとに白線などを再現できる。

この補正処理のために、路上物体で隠れた路面については点群を補充する。

ただし道路においては、「建物の壁面の際まで道路であるか」を見分けることが航空写真などの目視でも困難である。従って、今回の検討では車両や歩行者で遮蔽されている部分も路面とみなした。

#### 3.3. 地物構造の補正フロー

三次元地図の点群による補正を行うにあたっては、図3および以下に示す次のフローに基づいて行なうことを検討した。

- (1) 標高情報をもとに、点群を路面と路面以外に大別する。
- (2) 路面以外から建物の壁面を分離する。

(3)建物の壁面以外は、路面上の車両・歩行者・道路標識・街路樹などの路上物体とみなす。路上物体の下およびレーザ装置から見た背後には路面があるものとして路面を補充する。

(4)壁面、路面を三次元物体のポリゴンとして捉える。

(5)三次元物体のポリゴンにより、三次元地図を補正する。

今回、図3に示すフロー中の壁面に関する処理（破線による枠内）を中心にプロトタイプを作成して、処理の有効性を評価した。

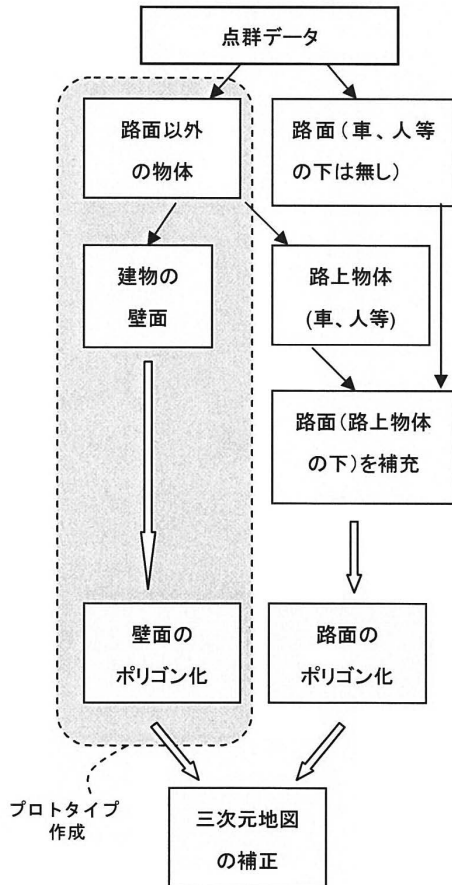


図3 補正の全体フロー

以下、壁面を対象とした補正フローについて検討する。

### 3.4. 建物の壁面の抽出

点群から建物の壁面を抽出する処理は図4のフローに示すとおり、3ステップで行なう。

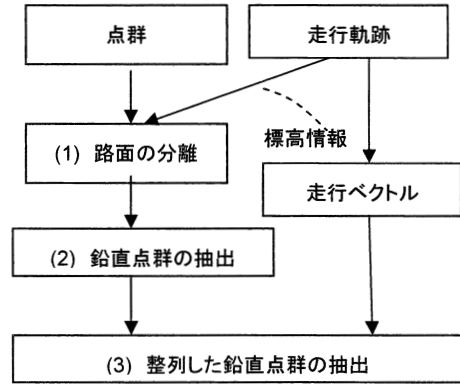


図4 壁面の分離フロー

処理手順を以下に示す。

(1)路面の分離：図5は処理対象の点群と、走行軌跡を示す。この走行軌跡について、進行方向の曲がりの少ない範囲ごとに「進行方向ベクトル」を設定する。進行方向ベクトルは始点・終点におけるレーザレンジファインダの標高を保持している。この標高よりほぼ車高分下のz座標を持った点は「路面」として分離する。

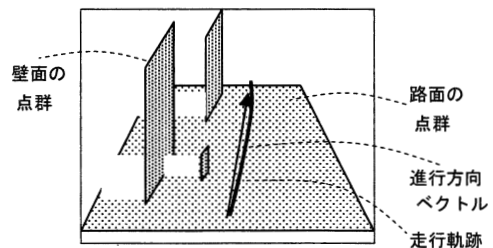


図5 処理対象の点群と走行軌跡

(2)鉛直点群の抽出：通常の平屋の建物の最低限の高さ（例 2m）をしきい値として、それ以上の標高の点群を対象として、任意の点から「ほぼ真下」（位置  $x, y$  の差がしきい値未満）の点（地表高度までの点）を小

グループ化する。さらに、その小グループが位置的に隣接していれば、一まとめにして「鉛直点群」のグループとする。抽出結果を図 6 に示す。

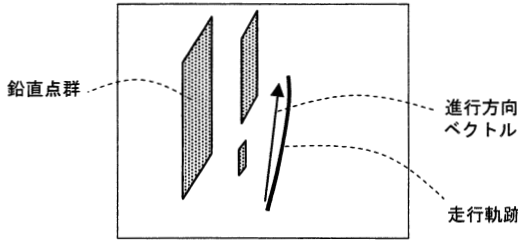


図 6 鉛直点群の抽出

(3) 整列した鉛直点群の抽出: 水平面上に進行方向ベクトルに平行な枠を設定し、鉛直点群を枠によって区切る。区切った範囲内の鉛直点群について、一定サイズ以上のものを「整列した鉛直点群」として抽出する。このように抽出された点群 (図 7) は、道路の延長方向に沿っている物体を表わす。この「整列した鉛直点群」の位置を検査する。進行方向ベクトルに近い点群は、人物、標識などの路上物体の可能性が高いことから、壁面候補から除外し、進行方向ベクトルから遠い点群を壁面候補とする。

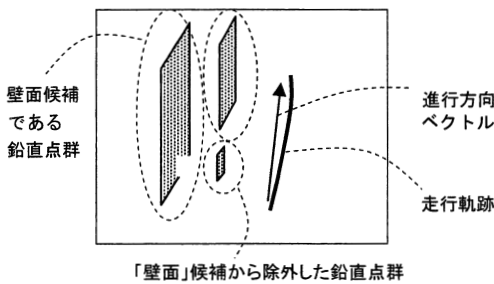


図 7 整列した鉛直点群

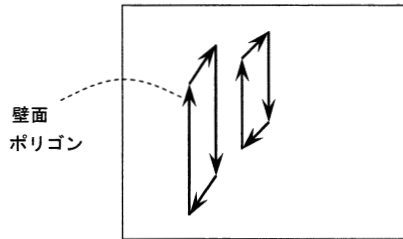
### 3.5 壁面のポリゴン化と地図の補正

整列した鉛直点群中、壁面候補としたものの各々について、ポリゴンとして表わす。壁面の延びる方向については、点群の  $xy$  分布の主軸を計算して定める。ポリゴンの高さの

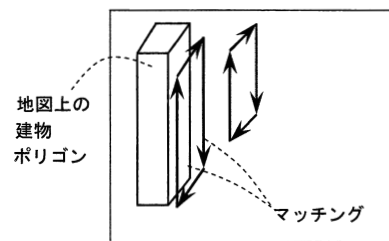
限界は、点群の  $z$  分布の最高と最低により定める。このようにして算出した壁面ポリゴンと、三次元地図中で建物の壁面を表わすポリゴン (地図内壁面ポリゴンと称する) の間のマッチングを取り、所定のしきい値以内で位置が一致している地図内壁面ポリゴンを補正対象とする。図 8 は壁面のポリゴン化を示し、図 8(a) は壁面ポリゴンの算出結果、図 8(b) は三次元地図とのマッチングを示す。

マッチング結果に基づき地図の補正を行なう。この際、原則として地図内壁面ポリゴンを壁面ポリゴンで置き換えるが、以下の問題がある。

- 壁面ポリゴンに隣接している同一建物の他のポリゴンについて、同時に平行移動するか、同位置に留めて建物全体を膨張ないし収縮させるかを検討する必要がある。



(a) 壁面候補のポリゴン化



(b) 壁面ポリゴンと地図とのマッチング

図 8 壁面のポリゴン化

### 3.6 路面のポリゴン化

次に路面のポリゴン化について述べる。走行軌跡データは、移動するレーザ装置の位置の三次元座標を記録している。従って、走

行軌跡データに一致する xy 座標値を持ち、z が低い点群は路面に相当し、この点群からほぼ水平に連続している点群も路面に相当する。ただし、図 9 に示すとおり、路上物体があると、その背後のエリアの路面の点群は欠けるので、このエリアには点群を補充する必要がある。図 9 中で点群を補充するエリアは、図 7 中の壁面候補から除外する鉛直点群の真下と、その背後（走行軌跡から遠い位置）に相当する。

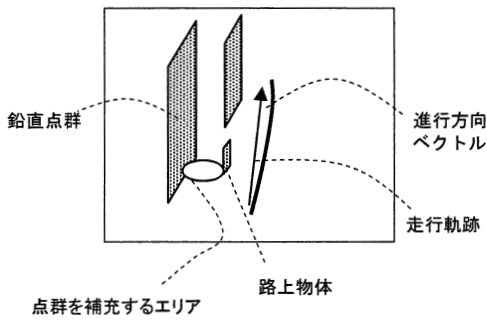


図 9 路面への点列の補充

点群を補充した後の路面については、これを進行方向ベクトルで直進と見なせる単位でポリゴン化し、三次元地図上の道路データとマッチングをとる必要があるが、これについては今後の検討課題とする。

## 4. 実験と検討

### 4.1. 壁面分離とポリゴン化の実験

壁面の分離とポリゴン化に重点を置いたプロトタイプを作成し、実験を行なった。実験の対象地区には、道路に沿った建物と、路上物体に相当する植え込みが存在する。また、この建物には、道路の反対側の建物と 2 階の高さで連結している渡り廊下がある。この渡り廊下は、「道路に直行している壁面」が本方式に与える影響を検証する素材である。

図 10 は対象地区の路面分離後の点群の平面視図であり、走行軌跡を記入してある。

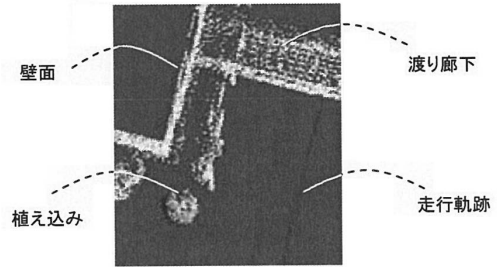


図 10 対象地区の点群（路面以外）

最初に、対象地区の点群を抽出する。図 11 に抽出結果を示す。植え込みは残っているが、道路に直行している要素である渡り廊下は除去されている。なお、図 11 では抽出したグループごとに別の色を与えて確認の便を図っている。



図 11 鉛直点群の抽出

次に、鉛直点群からを整理した鉛直点群を抽出する。図 12 は抽出後の 3 グループの点群を楕円形の枠で囲って表示したものである。壁面より道路寄りの植え込みは除去され、図中の①（壁面）を正しく抽出している。但し、図中②、③に示すとおり、植え込みを抽出した部分も見られる。

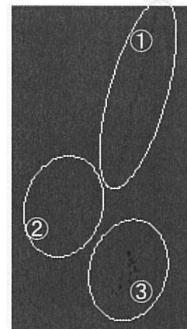


図 12 整理した鉛直点群

最後に、整列した鉛直点群をポリゴン化する。図 13 はポリゴン化の結果であり、図中の①、②、③が該当のポリゴンであるが、前述のとおり、図中①のみが壁面である。なお、図中④で示す多角形のポリゴンは、道路部分をポリゴン化した結果を示すが、道路部分と道路以外の敷地部分が同時にポリゴン化されており、この部分の区別が今後の課題となる。

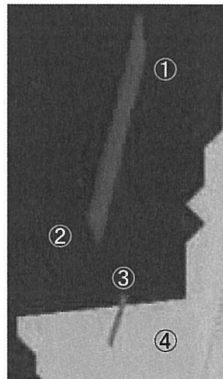


図 13 ポリゴン化

#### 4.2. 実験結果に関する考察

実験結果から、本方式により壁面の点群の分離、ポリゴン化の可能性が示された。ただし、植え込みをそのまま壁とみなしているところが認められるので、今後「壁」の特性（直進性）などを処理過程に盛り込んだ確実な壁の分離に関して、検討を行なう必要がある。

#### 4.3. 検討課題

実験結果より、以下の課題が判明した。

- (1) 「壁」と「壁以外の物体」との確実な分離
- (2) 道路の進路方向に沿わない壁の抽出

今後、今回得た結果をもとに、壁の三次元地図との照合、補正部分の実験・検討、及び路面部分の点列の補充、ポリゴン化、三次元地図との照合を試行する予定である。

## 5. まとめ

モービルマッピングシステムにより取得した路上、路側の点群データ、走行軌跡データに基づく、路側の建物の壁面の抽出方法、壁面のポリゴン化及び路面のポリゴン化手法、ポリゴンデータをもとにした三次元地図の補正手法、に関して検討した。実験により、建物の壁を抽出しポリゴン化する過程について、方式の妥当性と、分離誤りによる今後の処理過程の改良方法についての知見を得た。今後、処理過程を改良するとともに、三次元地図の補正についての実験検証を行なう。

## 参考文献

- [1] 中野,都留,「3次元デジタルマッピングに関する研究」,日本測量技術協会 APA No. 82-12, p78, 2002年9月.
- [2] 吉田,他,「モービルマッピングシステム」,三菱電機技報 Vol. 81, No. 8, 2007年8月, p15.
- [3] Kiichiro Ishikawa, Takumi Hashizume, Jun-ichi Takiguchi, Yoshiharu Amano, et al, "A Mobile Mapping System for Precise Road Line Localization Using Single Camera and 3D Road Model", Journal of Robotics and Mechatronics (JRM) Vol.19 No.2, pp.174-180, 2007.
- [4] 石川,「モービルマッピングシステムを用いた都市空間の三次元移動計測」,SPAR2008J 第4回3次元計測フォーラム, 2008年4月.
- [5] 石渡,他,「点群とカメラ画像を利用した地物認識による点群自身の位置補正 ～補正のための基礎検討～」, 情報処理学会第36回ITS研究会, 2009年3月.