

## 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～

石渡 要介<sup>†</sup> 前原 秀明<sup>†</sup> 藤本 仁志<sup>†</sup> 田中 敦<sup>†</sup>

我々は、地図・画像と実空間の対応付けに関する研究の一環として、モバイルマッピング技術による測量(車載レーザによる道路周辺測定)を利用した、精密な三次元都市地図の作成に関する研究を行っている。車載レーザによって得られた点の集合(点群)の絶対位置は車両からの相対位置と車両絶対位置とを用いて算出するが、都市部ではGPS衛星受信状態が悪い等、車両絶対位置の誤差が大きくなり得、結果として点群の位置の誤差も大きくなり得る。

点群の位置補正のため、点群の配置やカメラ画像を用いた地物認識を利用して、その地物の位置真値と点群との相対距離から車両位置を補正し、そこから点群の位置を再計算する補正システムを提案する。本論文では、補正システムのための基礎検討およびシステム例について述べる。

## Position correction of 3D point cloud using object position detected from laser-measured distance and camera images

Yosuke Ishiwatari<sup>†</sup>, Hideaki Maehara<sup>†</sup>,  
Hitoshi Fujimoto<sup>†</sup>, Atsushi Tanaka<sup>†</sup>

We research on mapping between real space and digital data such as digital maps or digital images. In order to achieve this mapping precisely, we also research on creating precise 3D urban maps using laser sensor mounted on an automobile. The position of 3D point cloud (a group of points, created from distance measured with laser) is relative to the automobile position, then its absolute position is calculated with the absolute position of the automobile. In a city, the position of the automobile sometimes contains inaccuracy because of invisibility of GPS satellites and so on. This causes, therefore, inaccuracy of the position of 3D point cloud.

In order to correct the absolute position, we propose a correcting system using position of objects detected with camera images or arrays of 3D point cloud with colors. This system calculates the relative position between objects and the automobile, corrects the absolute position of the automobile, then recalculates the position of 3D point cloud. In this paper, we described the concepts of this system and system examples.

<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

近年、IMU やカメラ等を車両に搭載し、様々な計測を行うモバイルマッピング技術が多種開発されている。用途として、道路面調査や道路周辺環境の計測などが主に挙げられる。

我々は、地図・画像と実空間の精密な対応付けを行う研究を行っている。そのための技術開発として、このモバイルマッピング技術を利用し、車両上に搭載したレーザレンジファインダによって得られる点群データを用いた精密な都市三次元地図作成の研究を行っている。地図作成には点群の絶対位置が必要となるが、車両に搭載されたセンサで測定し得るデータの大半は車両からの相対関係(車両と、レーザの当たった周辺環境下の地物との距離等)であり、絶対位置を求めるには車両の絶対位置を必要とする。これにより、測定されたデータの絶対位置での精度は、車両の位置精度に依存する。車両に搭載される車両位置検知手法として最も一般的なものはGPS であり、これらを補正する手段としてIMU やオドメトリ等がある。GPS を利用した車両位置検知に関しては様々な手法が提案されているが、GPS 衛星の見えにくい場所(高層ビル街など)では測位結果が悪くなる。

当問題を解決するため、レーザレンジファインダによる点群とカメラ画像による地物認識と地物位置真値による車両位置補正を検討している。これにより点群の位置が補正され、結果として精度の高い点群絶対位置が求められることとなる。

本論文では、レーザレンジファインダによる測定結果(点群)の絶対位置補正を、車両に搭載したカメラ画像による撮影結果を利用して行うシステムの検討内容について述べる。

## 2. モバイルマッピング技術と周辺環境情報抽出

近年、各種センサの高精度化、小型化に伴い、車両にこれらのセンサを搭載して車両を走行させ、周辺環境の三次元情報を取得するモバイルマッピング技術・製品が多種開発されている[1][2][3][4][5][6]。用途としては道路面の状態検知や道路周辺の地物等検出、また航空画像などと組み合わせた三次元立体地図の作成等が挙げられる。搭載されるセンサ類としては、GPS,IMU やオドメトリ(車速パルス)、レーザ機器やカメラ等(図 1)がある。三次元情報の取得手法としては、カメラ画像による地物認識(2台のカメラによるステレオ視等)やレーザ測量による距離測定などが挙げられる。

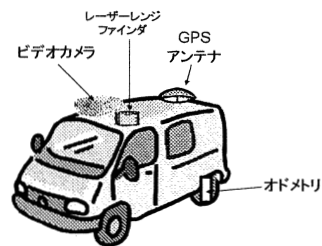


図 1 車載センサ例

我々は、モバイルマッピング技術を利用して、都市三次元地図作成の研究を行っている。そのために、建物や道路の抽出を行うことが第一と考え、車両に搭載されたレーザレンジファインダによって得られる点群を利用して抽出を行うことを検討した。

### 2.1. 点群

点群とは、車両に搭載したレーザレンジファインダによって得られる車両と車両周辺物体との距離測定結果を元にした、空間絶対座標上の点の集合である。車両からレーザを送出し周辺物体に反射した結果(距離)から計算すること

から、ある空間における物体の存在を示すものであり、点群の集合が道路周辺地物になる。

レーザによる距離測定であるため、距離精度が高い(数 cm 程度)利点がある一方で、車両からの相対距離の測定であり絶対位置に直すためには車両絶対位置が必要である。また、送出したレーザが何に当たったかの判定が出来ない。

図 2 は点群の例である。点群にカメラ画像からの色をつけ、絶対位置に直してプロットしたものであるが、道路等が目視できることが分かる。



図 2 点群プロット例

## 2.2. 点群利用時の問題点

前節で述べた通り、点群はレーザ測量によって得られた車両と地物間の相対距離を絶対位置に変換したものであり、その変換には車両絶対位置が必要である。そのため点群の位置にはレーザの誤差の他、車両位置測定誤差も加わることになる。車両測位精度は GPS/IMU の連携によって好条件下(GPS 受信が良好である場合)にサブメートルオーダーでの測定が可能である一方で、高層ビル等によって GPS 受信条件が悪化することによってメートルオーダーの精度劣化が起き得る[7]。

## 3. カメラ画像を利用した点群位置補正システム

前節で述べた問題解決のため、カメラ画像を利用して点群位置補正を行うシステムを検討する。

### 3.1. 地物の絶対位置による補正

問題は点群の車両相対距離誤差に比べて GPS/IMU による位置測定誤差の精度が落ちることである。そこで、車両より精度の高い絶対位置として、道路周辺地物の絶対位置を利用した補正を行う。道路周辺地物の絶対位置から点群内の点(の一部)の絶対位置を得、レーザ測量で得られるその点と車両との相対位置関係(点群の絶対位置算出時に求める)から、車両の絶対位置を求め直す。この車両絶対位置から他の点群の位置を求めることで、車両の GPS/IMU による位置の影響を除く。

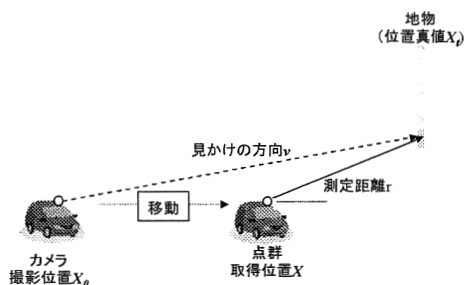


図 3 地物と車両の相対位置関係

この地物と点群の対応付けに、カメラ画像、ないしはカメラ画像と点群の両方を利用する。カメラ画像撮影時の位置および点群取得時の位置等を利用して点群取得時の地物と車両の相対位置関係を決定する。このとき、カメラ画像撮影時位置と点群取得時位置が同一とは限らない(図 3)。

### 3.2. 補正フロー

カメラ画像と点群による位置補正システムの点群位置補正フロー概略を図 4 に記す。地物の検知手法によって 2 つに分かれる。

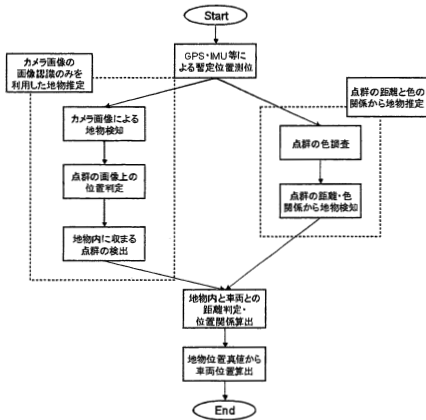


図 4 点群位置補正フロー

#### (1) 点群とカメラ画像による地物認識

点群とカメラ画像による周辺撮影によって周囲の地物を認識することを考える。

これらを利用した判定法としては大きく分けて二種類あり、「カメラ画像による画像認識のみを利用して地物を推定し、点群の画像内位置判定によって距離を決定する」方法と、「点群の画像内位置から点群の色を決定し、点群の距離と色の関係から地物を推定する」方法である。前者は地物認識にカメラ画像のみを利用する手法(図 5)であり、後者は点群と画像の両方を利用する方法(図 6)である。前者はカメラ画像のみで判定が可能であり、またさまざまな画像認識技術を利用できるメリットがある。一方後者の手法では、一枚の画像だけではわからない対象物と車両との距離がわかるため、例えば道路上部の信号機を検知する場合に「画像上から見ると他の地物と混ざるが、基本的に道路上部にある物体は少ないため、距離情報を加えることで他の地物と分離できる」メリットがある。

また、どちらの場合でも計算上画像と点群のマッピングが必須となり、この際点群のカメラ画像撮影時車両位置からの相対位置を求める必要がある。これは位置測定結果の差分を取ることであるから、車両位置誤差のうち IMU 等の誤差が蓄積するデバイスの誤差が軽減されると考えられる。

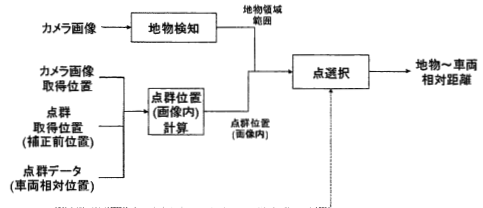


図 5 「カメラのみから地物推定」手法データフロー

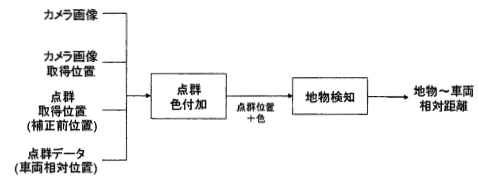


図 6 「カメラと点群から地物推定」手法データフロー

#### (2) 地物位置からの車両位置補正と点群補正

地物を認識した後、点群を利用して地物と車両との位置関係を求める。点群の絶対位置算出時には車両と点との相対位置関係を、レーザレンジファインダの設置位置・設置角度・レーザ送出角を使用してレーザ測量結果から求めるが、この相対位置関係と地物の位置真値から、車両の絶対位置が計算できる。このとき、車両位置精度は地物の測定位置精度、レーザレンジファインダの設置位置等の精度、レーザによる測定距離精度に依るが、GPS 衛星の不感地帯等メートルオーダーでの誤差が出得る箇所と比して、これらの誤差はサブメートルオーダーで

あり、測位精度が向上すると考えられる。車両位置補正後、点群絶対位置を再計算することで、より精度の高い点群絶対位置を得る。

#### 4. 構成例

前章で述べた手法を利用した点群位置補正システム例を以下に述べる。

##### 4.1. 標識検知による点群位置補正システム

###### (1) システム構成・利用データ

本システムはカメラ画像からの標識検知を利用した点群位置補正システムである。入力には弊社製モバイルマッピングシステム(MMS) [1][2]にて取得したデータを利用する。

MMSは3台のGPSとIMU・オドメトリによって測位を行う。また、同時にレーザレンジファインダ2台とカメラ2台(前方用・路面用)を利用して道路周辺環境を取得するものである。本システムでは標識を対象とするため、前方用のレーザレンジファインダおよびカメラで取得したデータを利用する。

点群位置補正フローは図7に、図7中の標識検知による車両位置補正フローを図8に示す。以降、順に述べる。

なお、点群データの取得頻度はカメラ画像の取得頻度より多い。そのため、点群取得タイミングより前のタイミングで取得したカメラ画像の選択を行う必要がある。これは、カメラ撮影時刻と点群取得時刻を記録しておき、点群取得時刻より早く、最も近い時刻に撮影したカメラ画像を利用する。

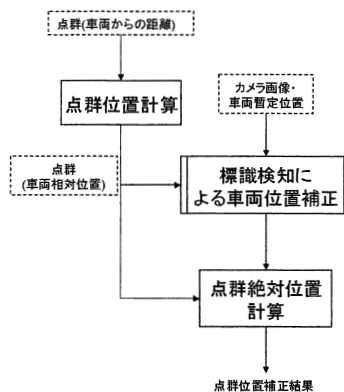


図7 標識検知による点群補正フロー概略

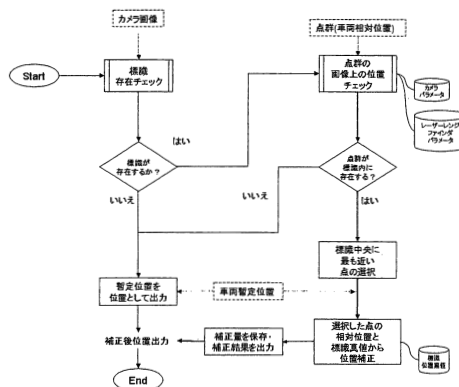


図8 標識検知による車両位置補正

###### (2) 暫定的な位置の算出

GPS、IMU等を利用して、まず暫定位置を求める。ここで一旦位置を算出する理由は、地物認識対象となる地物の絞込みを行うためである。

ここで算出した位置結果はGPSや利用するセンサ等の精度に依存する。例えば、丸の内等の高層ビル街では数メートルの誤差が出ることもある。そのため、認識対象となる地物の選定の際に十分な距離差を取る等の事前検討が必要である。

### (3) 点群の車両相対位置計算

レーザレンジファインダの車両上位置・設置角とレーザ送出角を用いて、レーザレンジファインダによる距離測定結果を、車両相対位置に変換する。なお、点群データは1回の測定につき、角度1度単位で前方180度の範囲の測定結果を得たものである。

### (4) 点群・カメラ画像による地物の認識

次に、点群による距離情報とカメラ画像による色情報の両方を利用した地物認識を行う。対象地物として「画像内の交通標識」を識別する [8]。

カメラ画像内から標識を認識したときの標識の矩形領域  $R$  としたとき、点群の画像中における位置  $(x, y)$  を各点について計算し、領域  $R$  の中心に最も近い点を選び出す。点群の位置算出にはカメラ画像取得時の車両位置および進行方向・点群取得時の車両位置および進行方向を用いる。

### (5) 地物の位置真値による位置補正

(4)の結果から点群測定時の車両位置と地物真値との相対位置関係が求められる。この位置関係と車両の向きから、地物真値と車両位置の絶対位置における位置関係が求められ、その結果車両の位置が補正される。

車両位置が補正された後、この補正結果と車両の向き、点群の車両相対位置から点群の各点の絶対位置を計算することで、補正された点群の位置が求められる。

## 4.2. 道路上方の信号機検知による点群補正システム例

前節では地物検知にカメラ画像のみを利用したシステムを提示した。ここでは「点群の画像内位置から点群の色を決定・点群の距離と色の関係から地物推定」を行うシステムの例として、道路上方信号機の検知を利用した点群位置補正システムについて述べる。

この方式の特徴として、点群とカメラ画像を組み合わせて点群に色をつけた上で、その色の並びから信号機を判定する。すなわち、点が「赤・黄・青(緑)の順で同じ大きさで並ぶ集合」となる場所を選び出す手法である。この場合、画像のみで信号機を検知する手法と比べて、色に距離情報が組み合わさるために他と区別しやすく、また道路上に存在する物体は限られる(トンネル・陸橋・標識・信号等)ため、信号機が判別可能であると考えられる。

基本的な処理フローは4.1節とほぼ同様であるが、標識検知ではなく信号機検知を行うこととなる。フローを図9に記す。

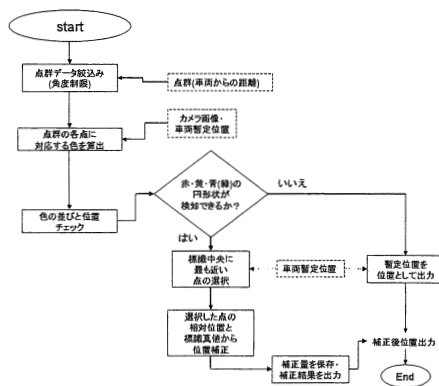


図9 信号機検知による位置補正

道路上方という制約がつくため、車両前方用のレーザレンジファインダの結果から明らかに違う部分(左右の道路肩を走査するよう

‡ 実際には標識の真値を求めた箇所になる。本論文では標識中央としたため、矩形領域の中心に近い点群中の点を求めている。

な部分)を除くことで余分な点群の処理を省くことが出来る。例えば、レーザレンジファインダが車両正面(斜め上方向)を向いているならば、レーザ送出角 0 度付近や 180 度付近を除けばよい。一方で、信号機の点灯タイミングの問題(同時に点灯している信号灯は 1 つ)を考え、同一ルートを何度か走行して 3 種類の色すべてを取得することが望ましい。

## 5. 今後に向けて

本論文では、精密な都市三次元地図の作成のため、モバイルマッピング技術によって取得した点群を利用する際の問題点として、点群の絶対位置が測定車両の位置に依存すること、またその位置が、GPS 受信状態が悪い場合(そしてそれは高層ビル街など都市で起きうること)に大きな誤差を持ちうることを示し、その解決のため、カメラ画像と点群を用いた地物の認識・車両との相対位置関係を用いることによる点群補正システムについて述べた。

今後、MMS による取得データおよび標識測量データを用いた検証を行う予定である。これによって本システムの有効性を示すと共に、都市三次元地図の作成を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究の一部成果は、平成 20 年度総務省「ユビキタス空間情報基盤技術の研究開発」によって得られたものである。総務省および研究参加機関関係者のご支援に感謝致します。

## 参考文献

[1] 三菱電機, 「三菱モービルマッピングシステム 高精度 GPS 移動計測装置」, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/service/mms.pdf>

[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, Aug. 2007, p15.

[3] 山口他, 「多眼ステレオ 3D 計測システム」, 写真測量とリモートセンシング, Vol.47, No.5, 2008, pp18-21

[4] 柴崎他, 「マルチセンサ 3 次元計測システム」, 写真測量とリモートセンシング, Vol.47, No.5, 2008, pp22-25

[5] 石川他, 「モービルマッピングシステムと三次元空間情報管理システム(G-VIZ™)を用いた実都市空間モデリング&ウォークスルーシステム」, 第13回ロボティクスシンポジウム, March, 2008

[6] K. Ishikawa, et al, 「A study of precise road feature localization using mobile mapping system」, 2007 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp1-6, 2007

[7] N. Kajiwara, et al, 「Landmark Update of GPS/INS for Mobile Mapping System using a nearly horizontal single camera and 3D Point-Cloud」, GPS/GNSS 2008, Session D12p, poster session 2

[8] 田口他, 「特徴量ベクトルの相関係数行列を用いた少ないサンプルでの高精度画像認識 ~ 道路標識認識への応用 ~」, 信学技報, ITS2006-85, pp. 55-60, 2007 年 2 月

[9] 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

[10] Kiichiro Ishikawa, Yoshiharu Amano, Takumi Hashizume, Jun-ichi Takiguchi, Takashi Fujishima, et al, "Development of a Vehicle-Mounted Road Surface 3D Measurement System", 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), October 3-5, 2006, Tokyo, Japan, pp.569-573