

## 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 ～地物位置を利用した車両角度補正～

石渡 要介† 前原 秀明† 藤本 仁志† 田中 敦†

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。

本論文では、カメラ画像を用いた地物認識を利用し、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するとともに、補正結果を利用して車両の角度(進行方向)を補正し、点群の位置を再計算する補正システムを提案する。

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

Yosuke Ishiwatari†, Hideaki Maehara†,  
Hitoshi Fujimoto†, Atsushi Tanaka†

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. Because the position of 3D point cloud (a group of points, created from distance measured with laser) is relative to the automobile position, 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 this paper, we propose a system correcting a position of 3D point cloud by means of position correction and angle correction of the automobile, using position of objects detected with camera images or arrays of 3D point cloud with colors.

†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、慣性計測装置(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[1][2][3][4][5][6]。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。このため、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。

この課題を解決するため、車両の絶対位置を、車両に搭載したカメラ画像による撮影結果を利用して補正し、そこからレーザレンジファインダによる測定結果(点群)の絶対位置を補正するシステムについて検討してきた[7]。検討システムにて位置の補正は行えるものの、角度の誤差が残るため、補正後に車両が移動するにつれて誤差が大きくなる問題が確認されている。そこで本論文では、絶対位置補正システムを応用した角度誤差補正手法について述べる。

## 2. 点群とカメラ画像を用いた車両位置補正システムと、角度補正システム

### 2.1 点群とカメラ画像を用いた車両位置補正システムとその問題点

点群は、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空間絶対座標上の点の集合である。点群は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るため、絶対位置変換には車両絶対位置が必要となる。そのため点群の位置測定結果には、誤差としてレーザ測量誤差の他に車両位置測定誤差も加わることになる。

車両位置測定精度はGPS/IMU/車速パルス等の連携によって好条件下(GPS衛星の受

信状態が良好である場合)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 衛星の受信状況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[8]。

図 1, 図 2 は GPS 衛星受信状況が良い場合(図 1) と悪い場合(図 2) における点群位置測定結果をデジタル地図(図内黒線：東京デジタルマップ社製 1/2500 精度地図)上にプロットしたものである。図 3 は図 1, 図 2 の同一部分を重ねてプロットしたものであり、GPS 衛星の受信状態によって同一位置の測定結果に誤差が生じていることがわかる。

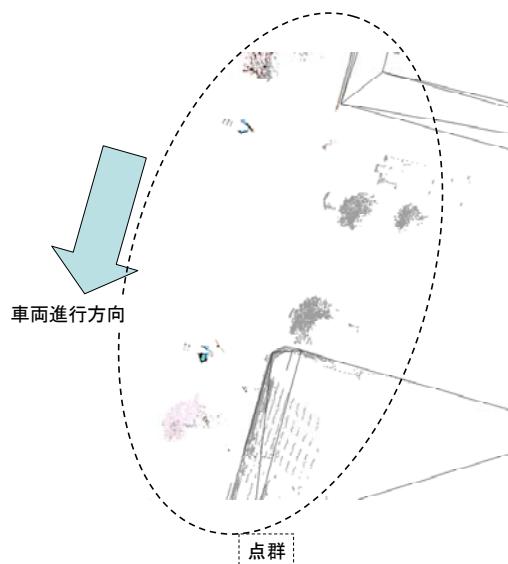


図 1 点群(GPS 衛星受信状況良好時)

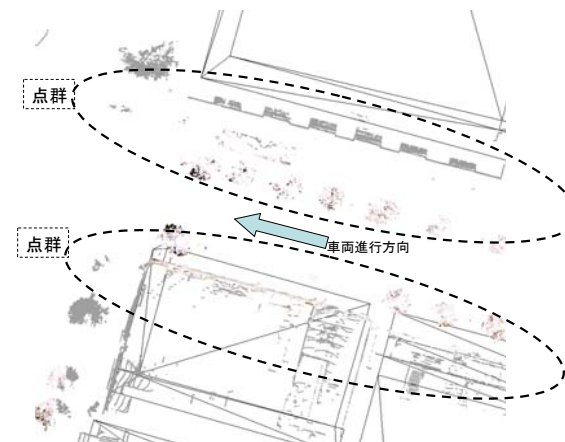


図 2 点群(GPS 衛星受信状況不良時)

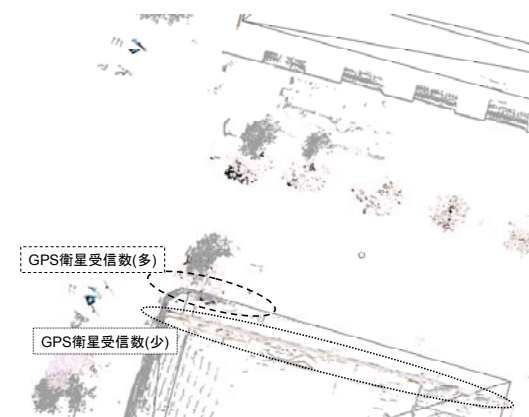


図 3 衛星状態による点群のズレ

本問題に対し、GPS 衛星受信状態の悪い箇所における標識の位置真値を利用し、車両位置を補正する手法をこれまで検討してきた[7]。車両に搭載したカメラで撮影した画像から標識を検知[9]し、そこから標識と車両の相対位置関係を算出することで、この相対位置関係と、予め測定した標識の位置真値から車両位置真値を算出(ランダムマークアップデート)するものである(図 4)。

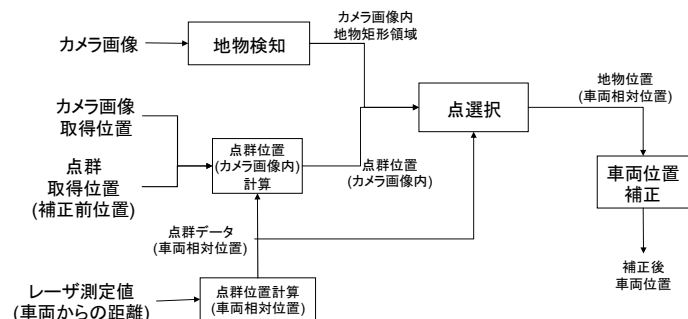


図 4 カメラ画像を利用した点群位置補正フロー

当該処理によって車両位置は補正することができるが、IMU の蓄積誤差が残っているため、補正後に車両が走行するにつれ点群の車両位置誤差が増加する。図 5 は図 1 ～3 で示す箇所での、車両位置補正を行い、そこから位置を再計算した点群を示したものであり、図 6 は図 1 の点群と図 5 の点群を重ね合わせたものであるが、図右側(ほぼ補正直後)と比べて、左側(補正直後から約 60m 移動した箇所)がデジタル地図からずれている(本データでは約 38.2cm のズレが生じている)ことがわかる。

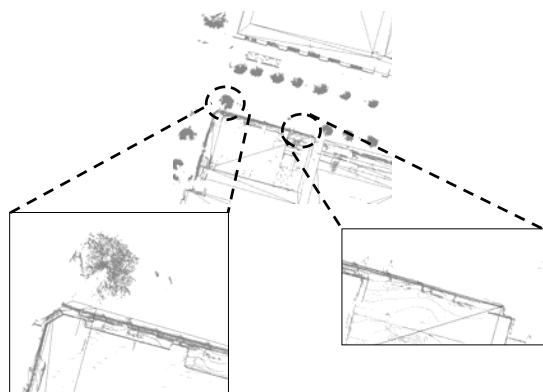


図 5 位置補正後点群とデジタル地図

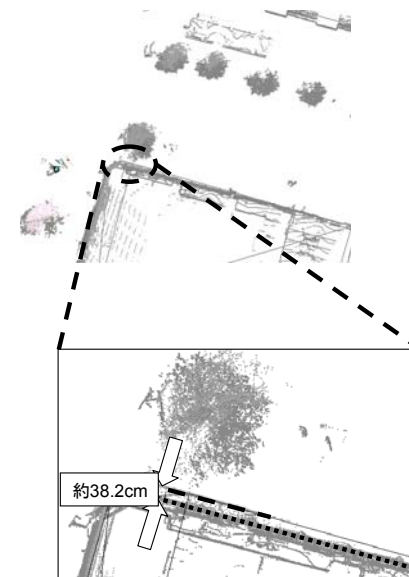


図 6 GPS 衛星受信状況良好時との点群比較

## 2.2 標識位置真値を利用した角度補正

前述の通り、IMU の誤差を補正しない場合、数十メートル移動することで目に見える程の誤差が生じる。この誤差に対し、予め測定した標識の位置真値を利用した角度補正手法を検討した。

ここで、補正に対し以下の条件を加えるものとする。

- 1) 同一標識の複数回検知が可能  
車両が標識を認識する際、その条件(車両位置・レーザの送出方向等)は複数あるものとする。これは、車両に搭載されたレーザレンジファインダが高頻度(1秒間に数十回)でレーザを送出するため、レーザ送出間の車両移動距離が短く、同一の標識を異なる時刻で送出したレーザが捕捉する可能性が高いためである。このとき、車両と標識のそれぞれの位置関係を算出することができ、それぞれの車両の補正を行うことが出来る。

- 2) 短時間での車両向き(進行方向)は一定  
前述の複数回位置補正に対し、補正時刻の間隔は短い(レーザの送出間隔：0.1～0.2 秒程度)。この短い時間で車両が向きを大きく変えることは一部条件 $\ddagger$ を除き考えにくい。すなわち、この補正の間、「車両は直進移動をしている」とみなすことが出来る。

この条件により、短時間での2回の位置補正によって得られた位置の移動量で、車両の進行方向(ヨー角)を求めることが出来る。図7に示すように位置補正後の座標が $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ の時、走行向き $\theta$ は以下の式で表すことが出来る。

$$\tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (X_2 \neq X_1)$$

$$\theta = 90^\circ \quad (X_2 = X_1, Y_2 > Y_1) \quad \dots\dots(\text{式 1})$$

$$\theta = -90^\circ \quad (X_2 = X_1, Y_2 < Y_1)$$

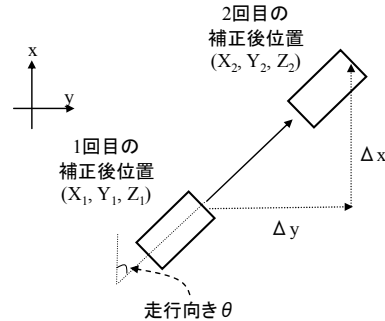


図7 移動距離と進行方向

$\ddagger$  曲がり角で曲がっている途中に検知する場合等が考えられるが、IMUの誤差が乗り易いと考えられるなど、測位条件として悪すぎるため、そのような条件での補正は考えないものとする。

## 2.3 角度測定誤差

[1]で示した位置補正アルゴリズムでは、車両と標識の相対位置関係を求める際に車両の向きが必要となる。そのため、相対位置関係の計算値には角度誤差が乗る。

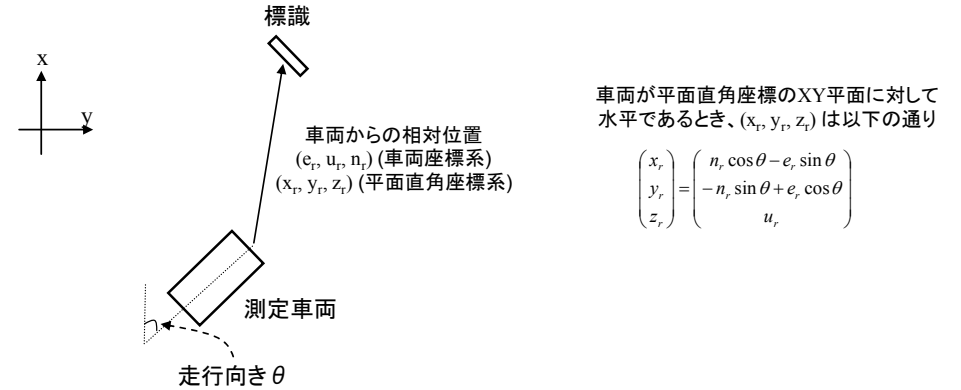


図8 車両と標識の相対位置関係(車両座標系・平面直角座標系)

図8は進行方向 $\theta$ (度)、角度誤差 $\varepsilon$ (度)の時の相対位置関係を、車両座標系と絶対座標系(平面直角座標系)で示したときの両者の関係を示している。車両相対座標系は、X軸を車両進行方向・Y軸を車両上方・Z軸を車両進行方向右方向に取ったもので、この時絶対座標X,Y方向の誤差(dx,dy)は以下の通りとなる。

$$\begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2(\sin \frac{\varepsilon}{2})(-n_r \sin(\theta + \frac{\varepsilon}{2}) + e_r \cos(\theta + \frac{\varepsilon}{2})) \\ -2(\sin \frac{\varepsilon}{2})(n_r \cos(\theta + \frac{\varepsilon}{2}) + e_r \sin(\theta + \frac{\varepsilon}{2})) \end{pmatrix} \quad \dots\dots(\text{式 2})$$

このとき、 $\varepsilon=2$ (度)、 $e_r$ および $n_r$ の値が10m程度ならば、絶対位置の誤差はそれぞれ10～40cm程度となる。一方、前述のアルゴリズムで算出した角度に対する、角度誤差の影響を算出したものが図9である。

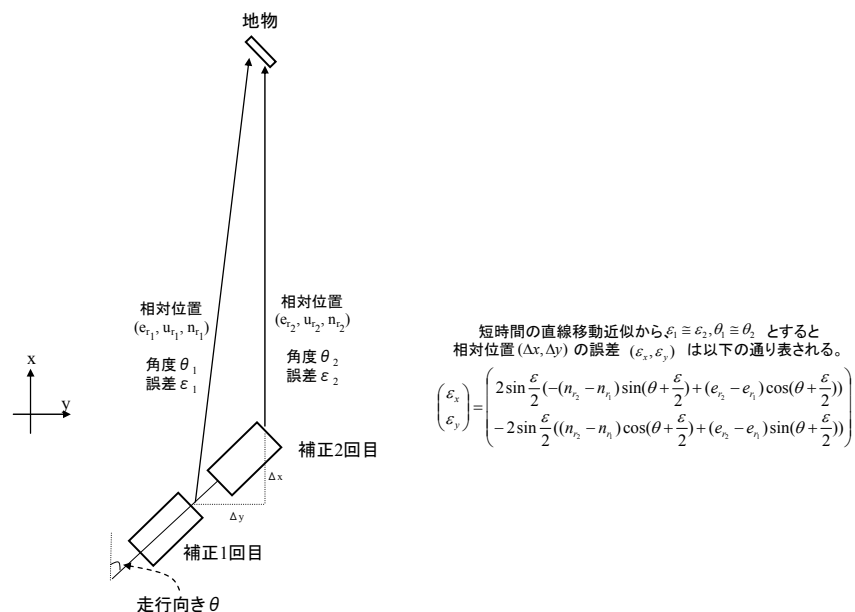


図 9 角度算出時の誤差

前節で述べた条件を導入すると、2度の補正後位置間の距離  $(\Delta x, \Delta y)$  の誤差  $(\varepsilon_x, \varepsilon_y)$  は以下の通りとなる。

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2(\sin\frac{\varepsilon}{2})(-(n_2 - n_1)\sin(\theta + \frac{\varepsilon}{2}) + (e_2 - e_1)\cos(\theta + \frac{\varepsilon}{2})) \\ -2(\sin\frac{\varepsilon}{2})((n_2 - n_1)\cos(\theta + \frac{\varepsilon}{2}) + (e_2 - e_1)\sin(\theta + \frac{\varepsilon}{2})) \end{pmatrix} \dots\dots(式 3)$$

このとき、1回目・2回目の補正後の位置が近いことを考えると、 $n_2 - n_1$  および  $e_2 - e_1$  の値が 0 に近づく。そのため、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  の値も 0 に近づき、式 1 より得られる角度も真値に近いと考えられる。すなわち、本計算により得られる進行方向の角度は信頼性が高い。

### 3. 角度補正適用例

前章で述べたアルゴリズムを適用した結果を記す。本データは、弊社製モービルマッピングシステム(MMS) [1][2]を使用し、丸の内地区で取得した点群(図 2 の範囲)である。

#### 3.1 デジタル地図との比較

図 10 ～図 12 は 3 種類の点群(位置角度補正なし(図 10)・位置補正のみ適用(図 11)・位置角度補正後(図 12))をデジタル地図上にプロットしたものであり、それらを重ね合わせたものが図 13 である。なお、補正角度量は約 0.35 度であった。また、位置角度補正後の点群を、図 1 で示す点群(GPS 衛星受信状態がよく、位置精度が高いもの)と重ね合わせたものが図 14 である。

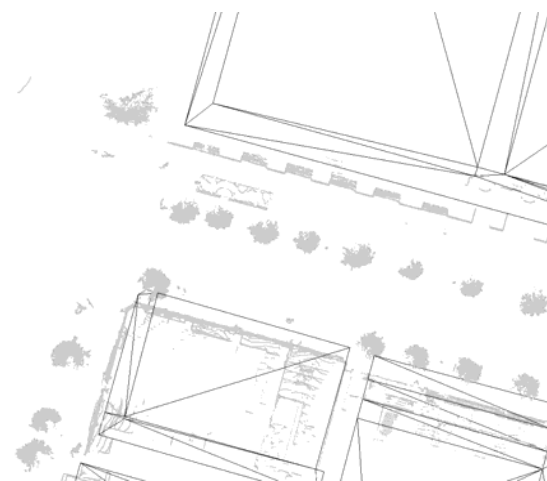


図 10 点群(補正なし)

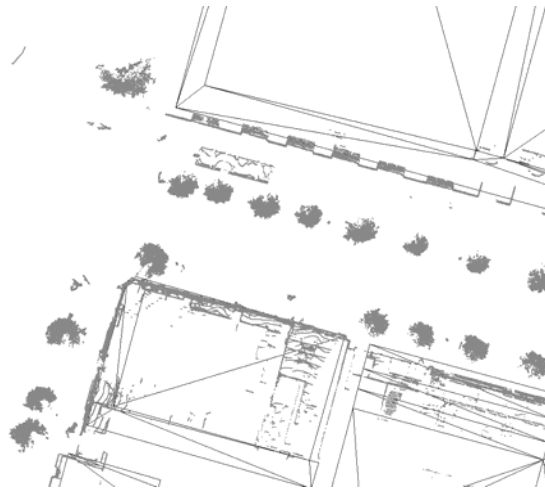


図 11 点群(位置補正のみ)

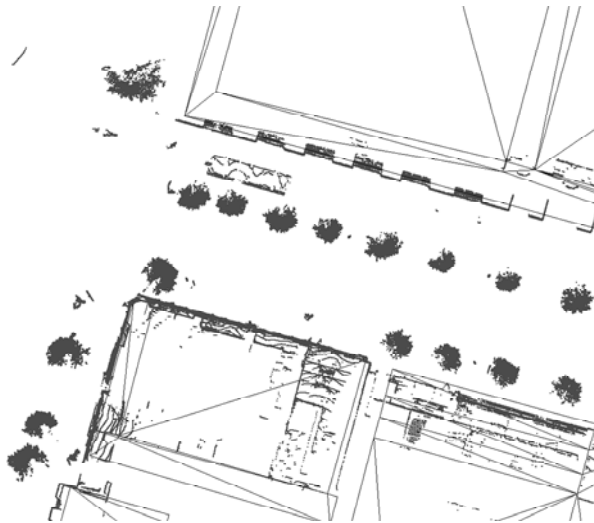


図 12 点群(位置・角度補正)

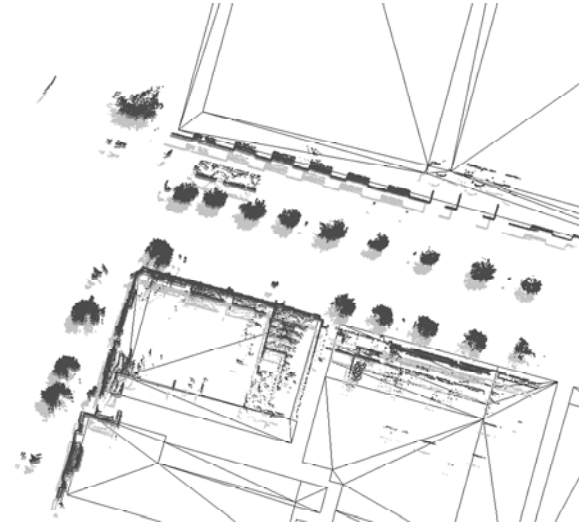


図 13 点群位置比較

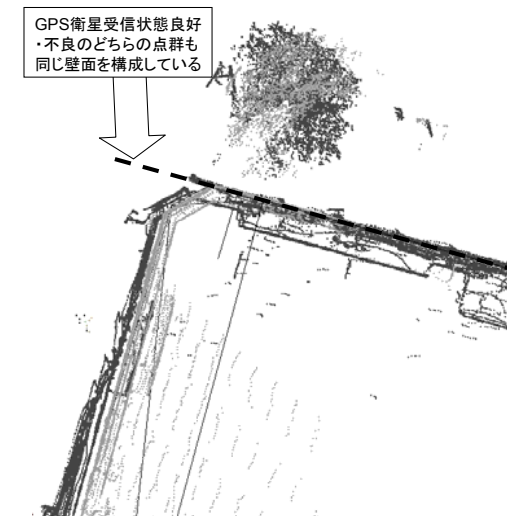


図 14 GPS 衛星受信状況良好時との比較(位置・角度補正)

図 14 の通り、GPS 衛星受信状態が良好時の点群と比較して、角度補正によって一致の度合いが増していることがわかる。ただし、デジタル地図は誤差を含むため、実環境との一致度合いが問題になる。

### 3.2 実環境との比較

図 15 は図 10～12 の中央付近の範囲にある 2 箇所の壁上の点を測定(測定精度 5cm)し、その点から算出した壁面を含む平面をプロットしたものである。

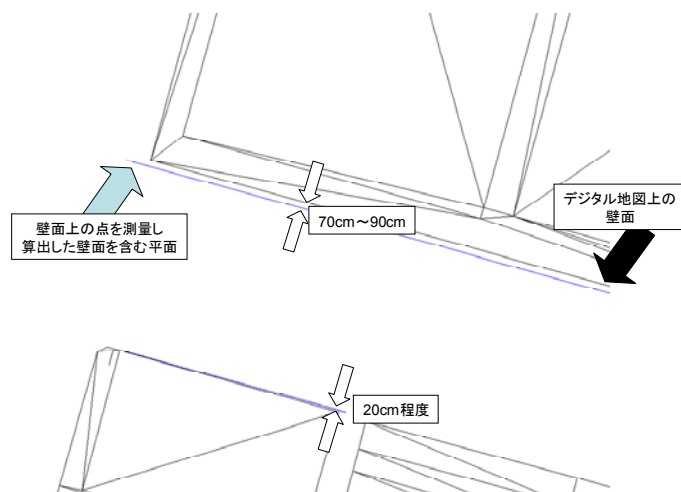


図 15 デジタル地図と測定壁面

図 15 で示すとおり、デジタル地図側の誤差が壁面の存在する平面の差(直線距離で、最大約 90cm)が出ている。図 12 にこの平面をプロットしたものが図 16 である。図で示す通り、点群は測定した壁面上に乗っていることが分かる。

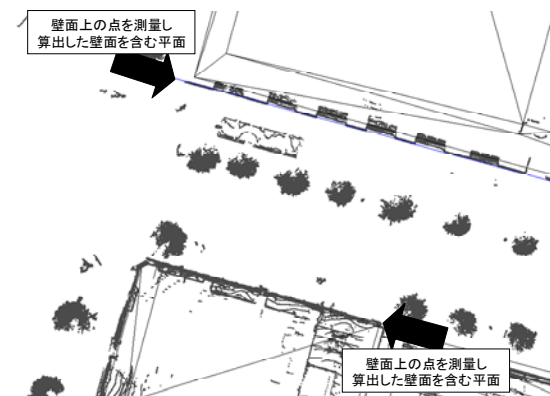


図 16 測定壁面と点群

図 16 の上側の、壁面近辺の点群と壁面を抜粋したものが図 17 である。三次元地図の作成の際、これらの点群の集合を壁と認識することが出来る。このとき、この点群と測定壁面との平均距離(誤差)は約 26.6cm となった。実際には、これらの点群からさらに余分な点(壁面から凹んでいるか所など)が含まれており、それらを省くことで精度向上が見込める。

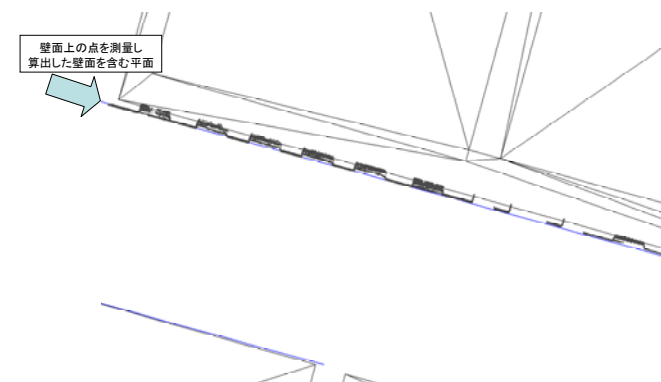


図 17 測定壁面と点群(上部抜粋)

同様に、図 16 下部の壁面近辺の点群と壁面を抜粋したものが図 18 である。同様に誤差を計算すると約 35.6cm となった。本データにも、余分な点が含まれており、それら

を省くことで精度向上が見込める。

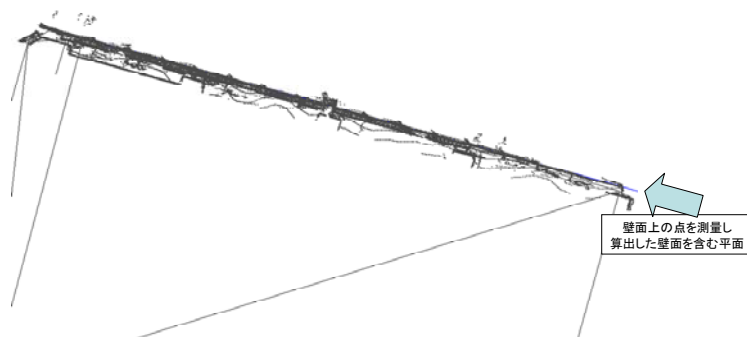


図 18 測定平面と点群(下部抜粋)

#### 4. 終わりに

本論文では、モバイルマッピング技術によって取得した点群をランドマークアップデートで補正した結果に対し、角度誤差によるズレの増大を確認し、その解決のため、短時間に連続してランドマークアップデートを行えることによる移動距離・方向検出を利用した、車両の角度補正手法について述べた。また、実データをもとに、当手法によって真値に近づいていることを示した。

今後、さらなる点群補正を行い、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

本研究の一部は、総務省「ユビキタス・プラットフォーム技術の研究開発」の一環として実施されたものである。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, 「三菱モバイ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, 「モバイ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, 「モバイ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  
ンポジア, 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, p1-6,  
2007
- [7] 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, pp.63-69
- [8] N. Kajiura, 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
- [9] 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