

点群データを利用した三次元地図補正 (第2報)

柴山 純一[†] 前原 秀明[†] 石渡 要介[†] 加瀬 隆明[†]

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、各種の地物情報を含む点群から建物の壁面の点群を抽出してポリゴンを作成し、このポリゴン情報をもとに三次元地図の建物ポリゴンを補正する方式を開発した。この方式により、測定装置と壁面との間に植樹がある場合の対処が可能となる。

本論文では、点群データを利用した三次元地図補正の方式、および開発したシステムにおける実験結果を示し、補正方式の有効性を検証する。

Correction of 3-Dimensional Maps by Point Cloud Data (2nd Report)

Jun-ichi Shibayama[†] Hideaki Maehara[†]
Yosuke Ishiwatari[†] Takaaki Kase[†]

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. Point clouds from the car, supported by a GPS set, an IMU set, an odometer and a video camera, show precise positions of objects on and alongside roads, on which the measurement car proceeds. From the point clouds, we extracted building walls, expressed them by polygons, and using these polygons, we corrected 3-dimensional maps with building contours. In this process, we tried to get rid of the influence of non-building objects, such as street trees.

In this paper, we describe the method to correct 3-dimensional maps by point cloud data, the results of map correction by the developed system, and verified the effectiveness of the method.

[†] 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所,
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

1. はじめに

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、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、利用者は二次元地図を見るよりも容易に状況を把握することができる。近年、三次元地図作成の省力化を目的として、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 で獲得して点群のデータを算出し、上空から見た三次元地図を作成するシステムが実用化されている[1]。但し、航空機からレーザを照射する原理上、建物の側面を捉えることが難しい。このため、現在の三次元地図の精度は地図情報レベル 2500 (平均誤差 1.75m 未満で、縮尺 1/2500 相当) に留まっている。上記サービスの活用にあたっては、「地図情報レベル 500 (平均誤差 0.25m 未満)」を実現する必要がある。一方、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 (MMS) が開発され[2]、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[3]。

我々は点群データを用いて地図情報レベル 2500 の三次元地図を補正し、最終的に地図情報レベル 500 の地図を得ることを目標とした開発を行っている。前回の発表[4]で、本開発の構想と、点群から壁面を抽出するプロトタイプシステムについて報告した。今回、このシステムを改良し、測定装置と壁面との間に植樹がある場合の対処[5]を含め、点群を基に三次元地図の補正を行う一連の方式を開発し、実験システムを構成した。

この処理方式を、東京都千代田区丸の内地区の道路中、約 340m を走行し得た点群と、該当区域の三次元地図とに適用して実験を行った。本処理により三次元地図にある 8 棟の建物ポリゴン全ての位置を補正した結果、補正量 (平行移動量) は 8 棟平均で 1.08m であった。この補正結果を評価し、処理方式の有効性を確認し、今後の課題を抽出した。

なお、三次元地図の誤差の補正には、点群データ自身の誤差修正[6]と、建物位置の精密測定結果が必要となるが、今回は点群データを正と仮定した誤差補正を行った。

2. 三次元地図補正の概要

2.1 地図補正の効果

図 1 は、補正の効果を示す図であり、点群データと三次元地図 (シェーディング表示) を重畳した。図 1(a) は、補正前であり、左が平面視図、右が立面視図である。図 1(a) では、点群の壁面より約 1.61m 道路寄りまで三次元地図の建物壁面がせり出している。図 1(b) は補正後であり、点群の壁面の位置に三次元地図の壁面が平行移動し、

地図補正の効果が確認できる。

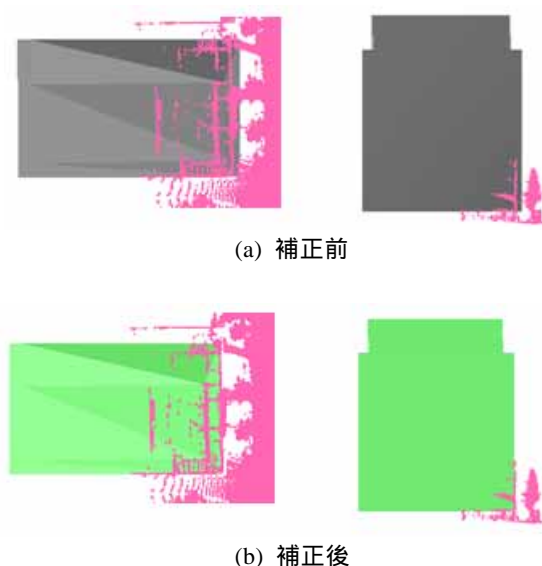


図1 点群と三次元地図（補正前後）の重畳

2.2 実験用データ

三次元地図補正システムを構築して実験を行った。対象地区は東京都千代田区丸の内地区の道路とその両側の建物である。

(1) 入力データ

使用した点群は、 x, y, z の位置座標精度が mm 単位、点群収集時刻が GPS 計時の msec 単位のデータである。測定車両で約 340m の区間を 130 秒で走行し、151 万点、容量 72MB のデータを得た。また、測定車両の走行軌跡を入力データとして使用した。図 2 は全点群の平面視図であり、道路、壁面他の地物を表す。

(2) 三次元地図

三次元地図は、市販の地図情報レベル 2500 の DXF 形式データを用いた。この地図から該当の道路の左右の建物を抽出し、建物単位に DXF データを分離して、各建物に

「建物 ID」を付して利用した。今回の補正処理の対象とした三次元地図の斜視図を図 3 に示す。

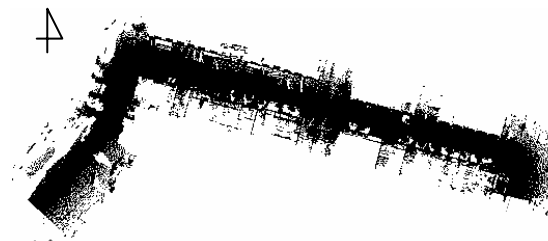


図2 入力点群（平面視図）

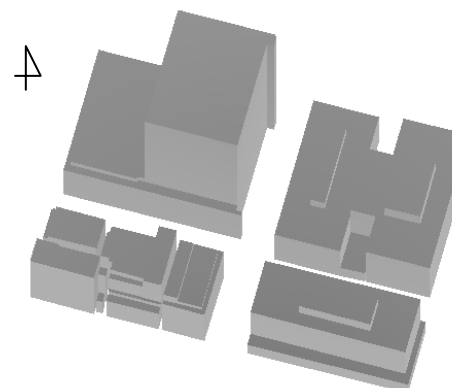


図3 対象地区の三次元地図

3. 三次元地図補正の方式

点群データを入力して三次元地図の補正を行う処理は大きく 3 段階からなる。処理全体のフローを図 4 に示す。

以下の節では、処理の段階ごとに処理例と方式を記す。

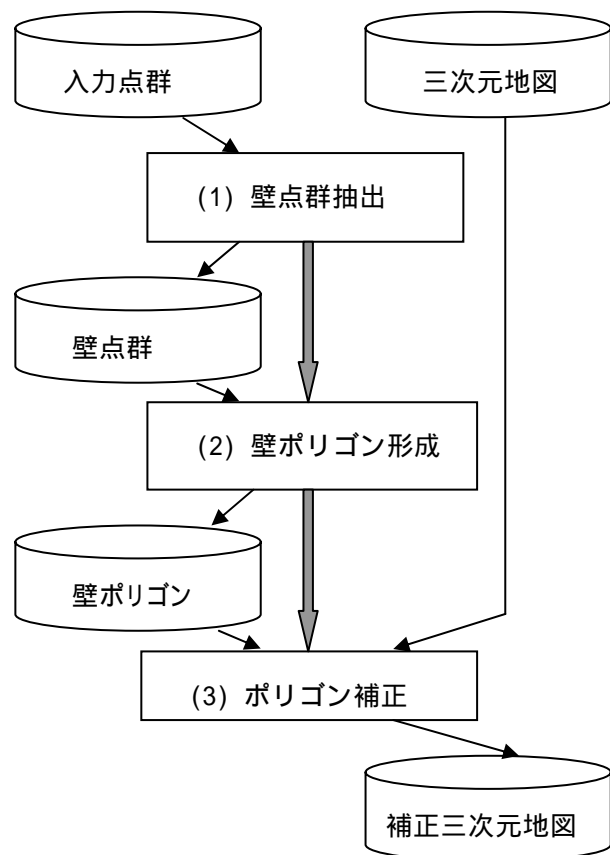


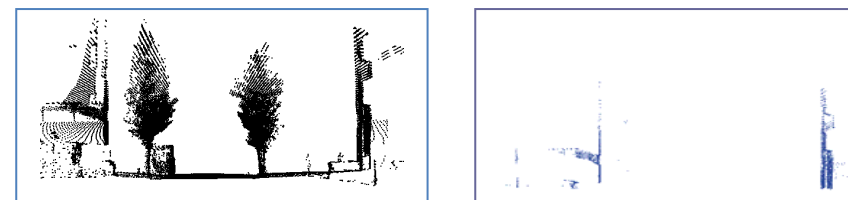
図4 補正処理のフロー

3.1 壁点群抽出

入力点群は道路、樹木、壁その他の地物要素が全て含まれたデータであり、ここから壁を構成している点群である壁点群を分離する。なお、本処理と壁ポリゴン抽出は、測定車両の走行軌跡がほぼ直線である区間を走行軌跡線分として求め、この線分区間ごとに行う。

図5は道路から進行方向を見た立面図であり、壁点群抽出の入出力を示す。図5(a)

は入力の各種地物を含む点群、図5(b)は出力の壁点群を示す。



(a) 入力点群 (b) 抽出した壁点群

図5 壁点群抽出の入出力

本処理に当たっては、走行軌跡に沿う地物の分布を考察し、次の性質を仮定した。

- ・ 植樹や電柱等は歩道と車道の境にあり、道路際にはない。
- ・ 壁は道路際（歩道の際）にある。
- ・ 道路面から高さ2m程度までは建物の入や低木の植え込みなどが存在する。

上記仮定より壁点群の探索範囲を限定する。範囲限定の準備として、走行軌跡の直進区間ごとに、点群を左右方向に3区分、上下方向に3区分、計9区分する。この9区分の内、左上と右上の区分内の点群を壁の候補とする。次に壁の候補中で道路際にある点群を壁点群とする。道路際は、左下と右下の区分内の点群を基に一定の区切長ごとに判定する。図6は道路際の判定の原理図である。

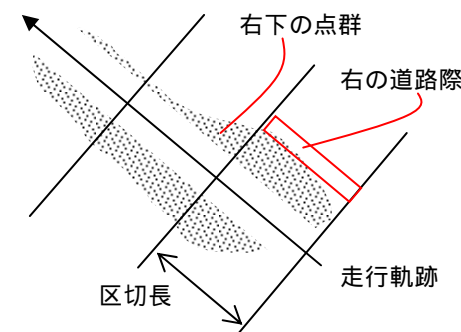


図6 壁点群分離の原理図

3.2 壁ポリゴン形成

壁点群から、壁を表す壁ポリゴンを形成する。図 5(b)に示す壁点群から形成した壁ポリゴンを図 7 に示す。

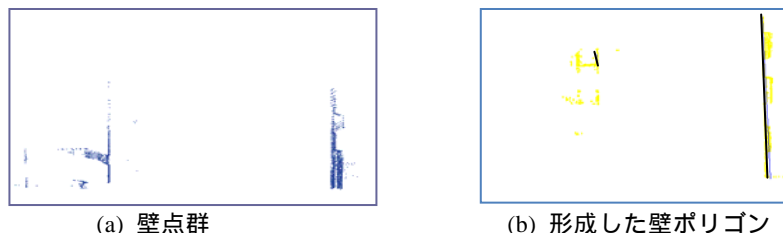


図 7 壁ポリゴン形成の入出力

前節の処理で得た壁点群を構造化して、壁を構成する「壁ポリゴン」を形成する。壁ポリゴンは垂直なポリゴンの集合で、屏風状に折れた台形の面が複数連なる構造であり、平面視をすると「折れ線」に見える。図 8 は壁点群から壁ポリゴンを形成する原理図である。図 8(a)に示すように、走行軌跡線分の進行方向にある塊を分離し、さらに図 8(b)に示すように、走行軌跡線分の法線方向に塊を分離し、この塊の延長方向を一ポリゴンとして、これを連結する。このようにして得たポリゴンは凹凸が多い形状であるため、平滑化を施して壁ポリゴンとする。

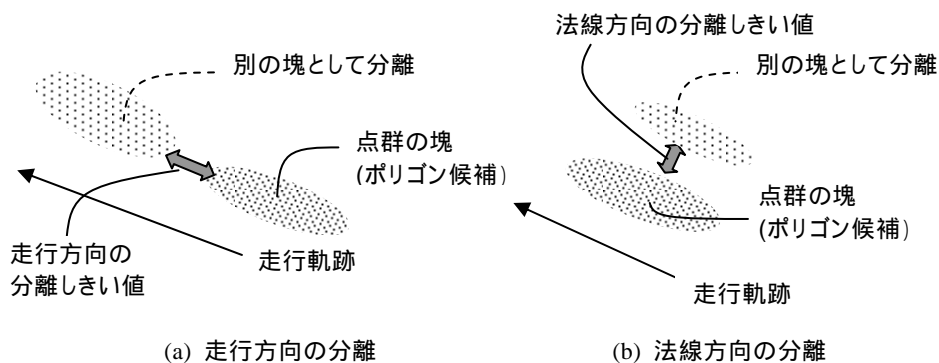
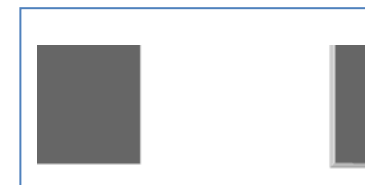


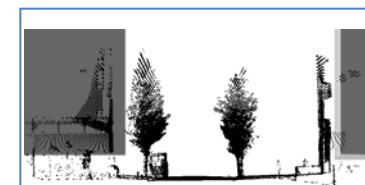
図 8 壁ポリゴン形成の原理図

3.3 壁ポリゴン補正

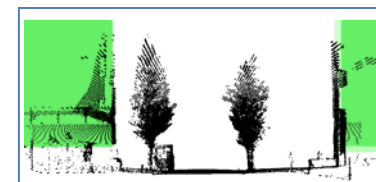
壁ポリゴンと、三次元地図の建物ポリゴンとを比較対照して一定の条件を満たす建物ポリゴンを補正し、補正した三次元地図を得る。図 9 にポリゴン補正処理の入出力を示す。図 9(a)は元の三次元地図(車両の進行方向に見た立面図)であり、道路の左右に建物がある。図 9(b)は図 9(a)と点群との重畳結果であり、点群を正とした場合、左右の建物とも右側にずれている。図 9(c)はポリゴン補正結果であり、左右の建物の壁と点群内の壁とがほぼ一致する。



(a) 元の三次元地図



(b) 点群と(a)との重畳



(c) 点群と補正後の三次元地図

図 9 ポリゴン補正の入出力

以下、本ポリゴン補正処理の方式を述べる。補正は壁ポリゴンを基準とした建物ポリゴンの移動により行う。建物ポリゴン自体は建物を一周する形状であるが、ここから壁ポリゴンに相当する辺（道路に面した辺）を検出して補正し、それに合わせて建物全体を補正する。現状、補正方法には、平行移動を実装している。

本処理は、建物ポリゴンごとに次の5ステップで行う。

(1) 補正対象建物の決定

走行軌跡の周辺で、「選択範囲」のしきい値内にある三次元地図の建物ポリゴンを補正対象とする。

(2) 補正対象辺の決定

補正対象の建物ポリゴン中、道路に平行という観点で、走行軌跡線分となす角度のもっとも小さい辺を選択し、補正対象の辺とする。

(3) 補正基準辺の決定

補正対象の辺から「選択範囲/2」のしきい値内にある壁ポリゴンを選択する。該当する壁ポリゴンが複数ある場合は、最大長さのポリゴンとする。選択したポリゴン中の、補正対象の辺に最も近い辺を補正基準辺とする。

(4) 補正対象辺の補正

三次元地図中の補正対象辺を壁ポリゴン中の補正基準の辺により平行移動して補正する。この原理を図10に示す。補正は平行移動とし、選択した建物ポリゴンの辺と、補正基準の辺の midpoint との距離で移動量を定める。

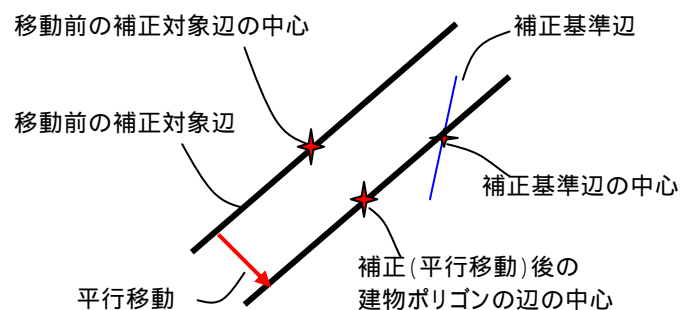


図10 補正対象辺の決定と補正

(5) 建物ポリゴン全体の補正

該当の建物ポリゴンで、補正対象の辺以外は、補正対象辺の移動に合わせて平行移動する。なお、垂直方向の移動は行わない。

4. 補正結果と検討

図11は実験対象領域の全体をワイヤフレーム表示した平面視図で、元の三次元地図と補正結果とを重畳表示している。図中A~Hは建物名である。

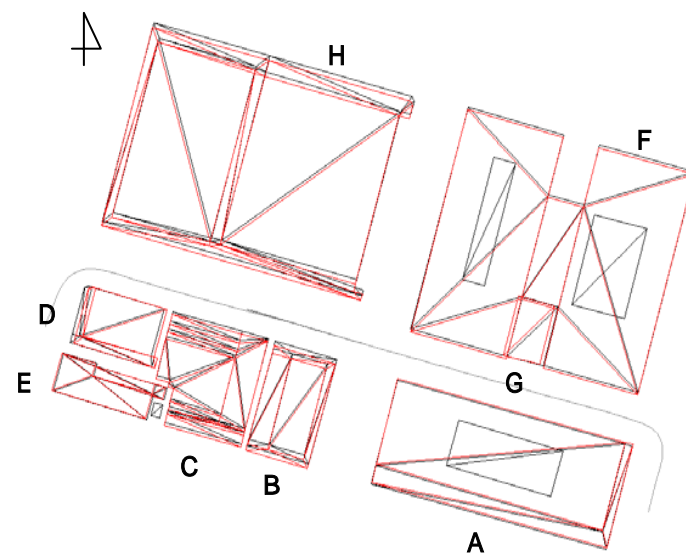


図11 補正前後のポリゴンの重畳（平面視図）

この補正による建物ごとの移動量を表1に示す。移動距離の平均は1.085mであった。各建物について、現地調査により建物の状況を把握しつつ、主な建物について補正処理結果を検討する。

表 1 補正処理による移動量のまとめ

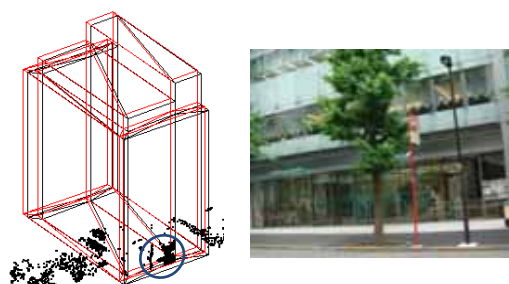
建物名	移動距離(m)	移動方向(deg) (*1)
建物 A	0.607	14.8
建物 B	1.612	195.9
建物 C	0.954	195.0
建物 D	1.203	105.9
建物 E	0.512	285.9
建物 F (*2)	0.863	195.2
建物 G (*2)	1.417	284.9
建物 H	1.509	195.3

(*1) 北を基準とした時計回りの角度。

(*2) 同一建物であるが、DXF形式ポリゴンでは、両翼部分が建物 F、中央部分が建物 G となっている。

4.1 建物 B

建物 B は、2.1 節の図 1 および 3.3 節の図 9 の左側の建物であり、建物ポリゴンを道路路面から 1.612m 遠ざけて移動するよう補正した。この建物をさらに図 12 に示す。図 12(a)は壁点群を重畳表示した斜視図であり、図 12(b)は建物の写真である。図 12(a)中、部分は玄関ホールへの引っ込みのため、壁点群が建物の奥に入り込んでいる。

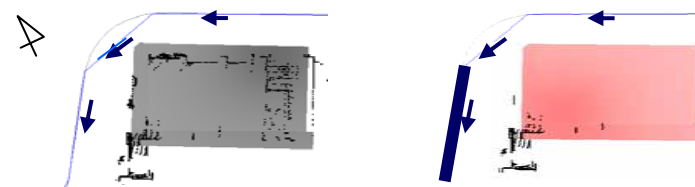


(a) 斜視図 (b) 現地写真

図 12 建物 B の様子

4.2 建物 D

建物 D は図 13 に示すとおり曲がり角にある。このため、走行軌跡線分は走行軌跡の曲線に沿った 3 本の線分で近似する。図 13(a)は補正前、図 13(b)は補正後であり、図中の太線で示した走行軌跡線分を補正基準辺とした場合、補正後の建物ポリゴンは全体が東(道路から遠ざかる方向)に約 1.2m 移動した。なお図 13 中に示す壁点群は、図 13(a)では建物周辺の全て、図 13(b)では補正基準辺に対応したもののみとした。

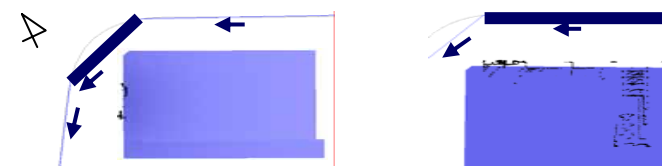


(a) 補正前 (b) 補正後

図 13 建物 D の補正

この結果は点群の分布とは合致しないことから、要因を検討した。本処理では、カーブ走行の際は関与する最後の走行軌跡線分を補正基準辺とし、これに最も平行な建物ポリゴンの辺を補正対象辺としている。この補正基準辺を変更した場合の結果を図 14 に示す。図 14(a)はカーブ途中にある図中の太線を補正基準辺にした場合で、補正対象辺は図 13(b)と同じであり、建物ポリゴンは東側に数 mm 移動し、建物の東西の位置については点群分布と一致した。図 14(b)は補正基準辺を曲がり角にかかる以前の走行軌跡線分(図中の太線)にした場合で、建物ポリゴンは南方向に建物が移動し、補正結果が点群の分布と合致した。

上記より、曲がり角に対応した補正処理方式の改良が必要といえる。なお、点群データ取得用の車両を角を曲がらずに複数回走行させて点群を取得し、各々の走行で得た補正結果を統合することも有効な方策と考えられる。



(a) カーブ途中の辺 (b) カーブ前の辺

図 14 補正基準辺の選択と補正例

4.3 建物 F, G

建物 F, G は本来一体の建物であるが、DXF 上では二つ（両翼の建物 F と中央の建物 G）に分かれている。図 15 に補正前後を示す。両翼の F 部分は、南側（図中、下）の道路に向かって 0.86m 移動し、実際の点群分布に合致した。中央の G 部分は、本来の意図とは異なり、西（図中、左）へ移動した。これは、建物 G 内側のロビーに存在する「壁点群」が影響したためである。今後、両建物のポリゴンを一体化して扱うよう処理の改良が必要である。

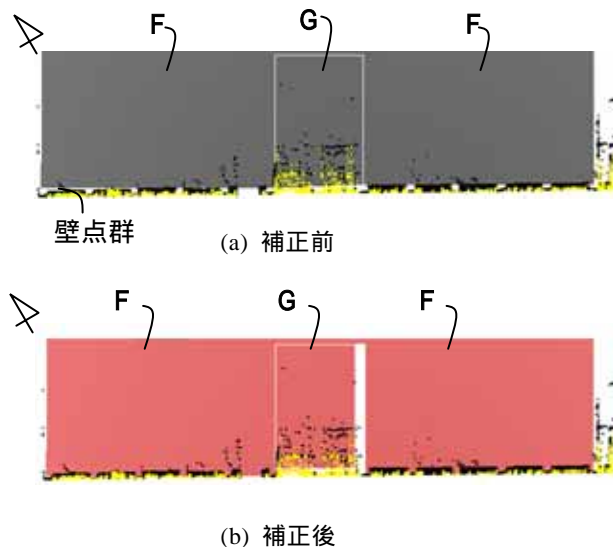


図 15 建物 F, G の補正

5. 補正処理の課題

5.1 実験システム上の課題

(1) ポリゴン形成の課題

図 16 にポリゴン形成の課題の一つを示す。図 16(a) は建物 H の点群の一部を拡大し、

壁ポリゴンを重畳した図であり、図 16(b) は該当箇所付近の写真である。現状、凹凸のある壁面に対する壁ポリゴンは、凸部と凹部を結ぶため、補正後の壁面位置は凸部と凹部の中間となる。一方、三次元地図の壁面はこの凹凸を表現せず凸部を結ぶため、ポリゴン同士の補正のみでは点群分布に一致する補正結果が得られない。したがって、建物の凹凸を認識し、凸部の点群を基に処理することで補正精度の向上を図る必要がある。

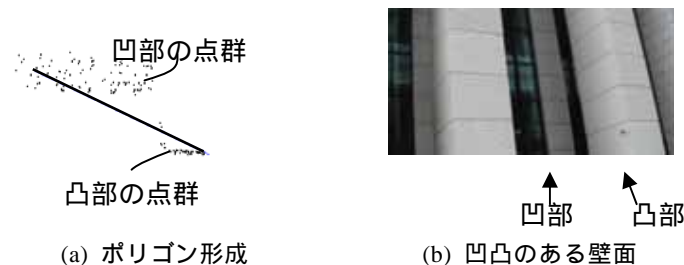


図 16 凹凸のある壁面における課題

(2) ポリゴン補正の課題

現状のポリゴン補正は建物全体の平行移動に限っている。しかし、4.2 節の道路角にある建物で検討したように、今後は道路面ごとに独立した補正を行い、建物全体の補正精度を上げる必要がある。

5.2 補正処理の基本的な課題

(1) 点群の精度

今回、点群位置を正とする補正を行ったが、入力点群の精度は GPS 衛星の受信状態、ジャイロ精度等の影響を受け、現状、0.26m ~ 0.36m の誤差が含まれている[7]ため、この誤差の解消が必要である。

(2) 三次元地図のモデル化手法との対応

建物には細かい輪郭形状（例：壁面の凹凸、玄関ホール、角の面取り）があるが、縮尺 1/2500 相当の三次元地図では単純な線分にモデル化している。点群は細かい輪郭形状に沿うため、点群から形成したポリゴンでは 3.3 節にあげた補正対象辺、補正基

準辺の設定では誤った設定をする場合がある。今後、様々な建物に対応するため、三次元地図のモデル化手法に対応した補正方式や、補正結果の評価方法の検討が必要である。

6. まとめ

地物を表す点群から建物の壁面の点群を抽出し、これを基に既存の三次元地図の建物壁面を補正する処理方式を開発した。本方式について、丸の内地区で取得した点群と同地区の三次元地図を用いて実験を行った。実験の結果、ほとんどの三次元地図中の建物を、点群中の壁面の位置に補正することに成功した。また、一部の補正結果には、移動量が不十分、あるいは移動方向が不正確な箇所がみられたので、その原因を検討し、課題を抽出した。この結果、処理方式の改良により、機能・性能の向上をはかる見通しが立った。

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, 「モバイルマッピングシステムを用いた道路三次元情報の活用」, 三菱電機技報, Vol. 83, No.5, 2009.
- 3) 石川, 「モバイ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.
- 4) 柴山, 他, 「点群データを利用した三次元地図補正」, 情報処理学会第36回ITS研究会, 2009年3月.
- 5) 柴山, 他, 「点群からの道路・建物構造の抽出」, 電子情報通信学会2009年ソサイエティ大会 A-17-11, 2009年9月.
- 6) 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.
- 7) 石渡, 他, 「点群とカメラ画像を利用した点群自身の位置補正 ~ 位置真値を利用した角度補正 ~」, 情報処理学会第40回ITS研究会, 2010年3月.