

テクニカルノート

オクルージョンを考慮したレーザ点群抽出に基づく 看板計測アプリケーション

石渡 要介^{1,a)} 前原 秀明¹ 宮原 浩二¹ 久野 徹也¹

受付日 2011年3月31日, 採録日 2011年7月8日

概要: 我々は、カメラ画像および3次元絶対座標の集合であるレーザ点群から、ユーザの指定した看板の位置・大きさを推定する看板計測アプリケーションを開発した。本アプリケーションは、看板の点群が画像内で比較的均一に分布することを利用して看板に対応する点群のみを抽出し、これにより画像上に対象の看板以外の障害物がある場合（オクルージョンが発生している場合）でも計測を行うことができる。実データによる大きさ計測を行い真値との比較を行った結果、5%以内の誤差で計測が行えることを確認できた。今後は、ユーザによる看板範囲指定の誤差が推定精度に与える影響等を評価し、計測精度の向上を目指す。

キーワード: モービルマッピングシステム, 点群, ITS, 写真測量

Measurement Software for Road Signs Using 3D Point Clouds and Camera Images

YOSUKE ISHIWATARI^{1,a)} HIDEAKI MAEHARA¹ KOJI MIYAHARA¹ TETSUYA KUNO¹

Received: March 31, 2011, Accepted: July 8, 2011

Abstract: We have developed an application software that measures the positions and the sizes of road signs using camera images and point clouds that have the absolute 3D coordinates. Our software extracts a subset of point clouds which might be on the surface of a road sign assuming that the points on the road sign are dispersed uniformly. Thus, the software can measure the road signs, even if an obstacle is located in front of the sign. The evaluation results show that the error ratio is less than 5 percent. We will study how much the precision of user's manual location of a road sign region will affect the measurement precision in order to improve the performance.

Keywords: mobile mapping system, point cloud, ITS, photogrammetry

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ービルマッピング技術が多種開発されている [1], [2], [3]. 用途として、道路面調査や道路周辺環境の計測等が主にあげられる [4], [5].

我々は、総務省委託研究「ユビキタス・プラットフォーム技術の研究開発」の実証実験の1つとして、モービルマッピング技術を利用した「屋外広告物調査」を行った。この

実証実験は、広告物規制条例や景観条例等に対する官公庁業務支援を目的としたものである。この実証実験に対し、我々はカメラ画像と点群を利用した、ユーザが指定した屋外広告物（看板）の位置・大きさ等の測量を簡易に行える看板計測アプリケーションを試作した。本アプリケーションの適用対象として、計測された位置・大きさを地図・看板管理台帳（市町村に登録申請がなされた看板の台帳）と組み合わせ「看板が法令に違反していないか」「看板自体が申請を受けているか」等の確認を適宜行う等の業務を想定している。

点群から看板位置・大きさの計測を行うためには、まず看板の点群を選び出す必要がある。点群はカメラ画像の

¹ 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, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

^{a)} Ishiwatari.Yosuke@dr.MitsubishiElectric.co.jp

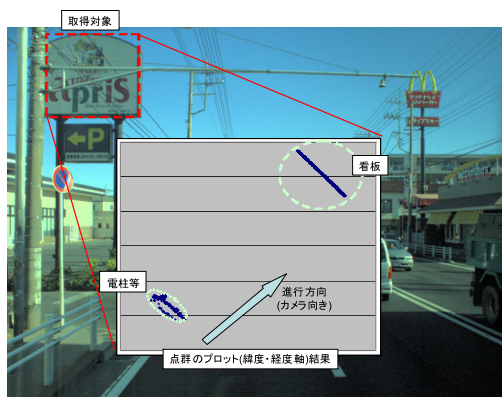


図 1 オクルージョン発生箇所における点群分布の例
Fig. 1 Observed laser points in occluded scene.

撮影時位置・向きを利用して画像上にマッピングすることができることから、これにより画像上の看板の範囲内に収まる点群を選択することができ、また看板の点群はこの範囲内に収まる。ただし、カメラ画像の撮影位置と看板の位置の関係次第では、看板の手前に障害物が存在する可能性がある。図 1 はカメラ画像と画像上の看板範囲（画像左上・赤破線）に収まる点群をプロットした結果を示しているが、定義した範囲には看板とそれ以外の物体が含まれる場合（本論文において定義するオクルージョン）があり、計測に先立ってこれらの点群を正しく分離する必要がある。

看板計測の関連システムとしては、アジア航測の Geo-Master [2] を利用した、看板・標識といった地物のモデリングシステム [6] がある。当該システムではライン CCD カメラを用いて取得した画像と点群を利用して地物の位置を決定しているが、オクルージョンに対する考慮がない。また、上記位置決定の際に画像上の地物の角を指定するが、その 3 次元位置を点群の位置で決めてしまう [7] という課題もある。

この課題に対し本論文では、距離による点群のグルーピングと各グループ点群の分布状況による点群抽出手法によって解決を図る。詳細は次章で述べる。

2. 看板計測アプリケーション

看板計測アプリケーションは、ユーザ操作に基づいて三菱電機製モービルマッピングシステム (MMS [1]) で測定したレーザ点群から計測対象の看板の点群を抽出し、看板の位置・大きさを推定するものである。計測とともに、計測結果に空間コード [8] を付与しデータベースへの登録を行う。画像上において、計測対象にオクルージョンがある場合であっても正しい計測を行うことが特徴である。GUI 画面を図 2 に示す。

2.1 MMS 取得データ

看板計測アプリケーションでは MMS で取得した 2 種類のデータを利用する。1 つは車両前方を撮影したカメラ画

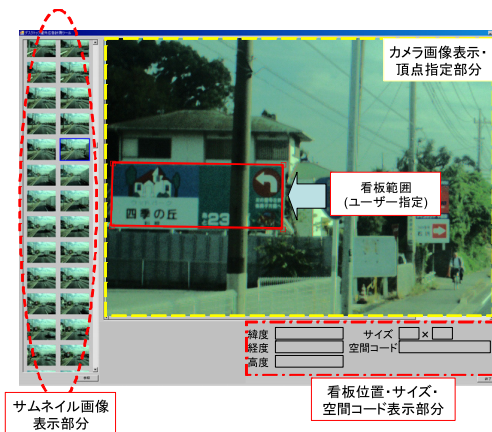


図 2 アプリケーション GUI 画面
Fig. 2 GUI of the application software.

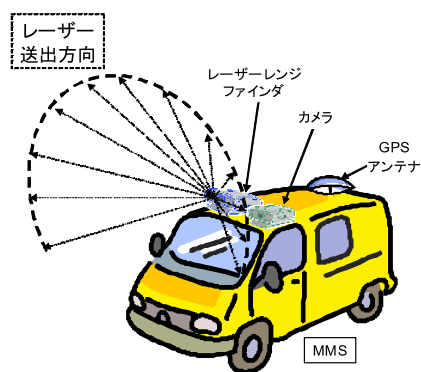


図 3 MMS 上のセンサの配置
Fig. 3 Sensors on MMS.

像であり、もう 1 つはレーザレンジファインダで取得した点群である。カメラ画像撮影の際には、撮影時の MMS 位置・向きもあわせて記録される。点群は、レーザレンジファインダのレーザ送出地点からレーザ照射点までの距離を、レーザ送出地点の 3 次元位置（車両搭載の GPS により計測）を用いて、レーザ照射点の 3 次元絶対座標に変換したものである。レーザレンジファインダは車両進行方向を基準として車両上方（30 度）に向いており、車両前方上部へレーザを 181 方向（送出間隔は 1 度、計 180 度方向）に送出する（図 3）。

2.2 処理フロー

以下、処理の内容を説明する。処理フローを図 4 に示す。

- 1) ユーザが、GUI 左側に表示されたサムネイル画像から計測対象となる看板を含む画像を選択する。選択された画像は GUI 中に等倍表示される。
- 2) ユーザが、等倍表示された画像内にある看板の範囲（四角形）の 4 頂点座標をマウスポインタで入力する。上記ユーザ処理の結果をもとに、以下の処理を計算機が行う。
- 3) カメラ原点および入力した 4 頂点で定義される四角錐に含まれる点群をすべて取り出す。ただし撮影時のカ

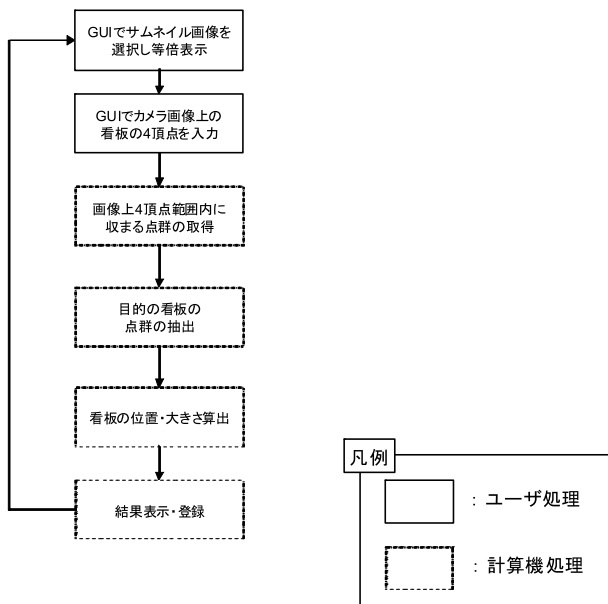


図 4 処理フロー

Fig. 4 Flow of point extraction.

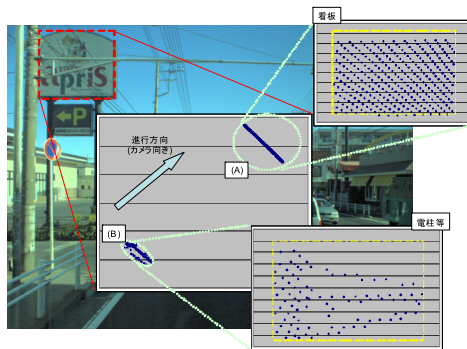


図 5 地物の点群の画像上での分布

Fig. 5 Distribution of the points on the image.

メラの位置から一定範囲内にある点群を対象とする。

- 4) 3) で選択した点群の中から、計測対象の看板に対応する点群を抽出する。抽出方法の詳細は次節で述べる。
- 5) 4) で抽出した点群の近似平面によって切り取られる前述の四角錐の断面を得る。この断面から、看板の大きさ（幅・高さ）を算出する。また、断面の重心位置を看板位置とする。
- 6) 計測結果に空間コードを付与し、位置・大きさとともに GUI 上に表示する。また、データベースへの登録を行う。

2.3 点群抽出

点群抽出にはオクルージョンを考慮する必要がある。たとえば図 5 において、破線で示された看板を計測対象としたとき、手前の電柱および付属物がオクルージョンとなっている。図 5 中央のグラフは四角錐によって切り取られた点群を地表面上に投影したものである。これらの点群は 2 種類のグループに分けることができ、それは、(A) 計測対

象の看板上点群、および、(B) 電柱と付属物上点群、である。これらの点群をさらに画像投影面に投影するとそれぞれ図 5 右上下の図になる。この例のように計測対象となる看板の点群は比較的均一に分布する。このことを利用して点群を抽出する。

- a) 入力された点群を、点群間距離でグルーピングする。ここで、同一グループ内の各点間距離は閾値 α 以下とする。
- b) 各グループの点群の近似平面を算出し、入力した 4 頂点で定義される四角錐がこの近似平面で切り取られる断面から、各グループの点群の収まる範囲（幅 w および高さ h ）を求める。
- c) 各グループの点群密度と理論的な密度との比を求める。比計算にあたり、レーザ送出方向の車両座標系における単位ベクトルを $e(i)$ （ただし i は 0 から 180 までの整数値）とし、点群の中央点にもっとも近い点にあたるレーザを $e(j) = (e_{xj}, e_{yj}, e_{zj})$ としたとき、比 r は以下の形式で近似される。ただし車両座標系は MMS 進行方向を X 軸、車両鉛直方向を Y 軸、進行方向右手方向を Z 軸とする座標系である。

$$r = \frac{n \cdot \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \cdot D_x (|e_{zj}|/e_{xj} - |e_{z(j+1)}|/e_{x(j+1)})}{w \cdot h} \quad (1)$$

ただし、

$$d_x = (v/f) \cdot (|e_{zj}|/e_{xj}), d_y = (v/f) \cdot (e_{yj}/e_{xj}) \quad (2)$$

ここで、 n はグループに含まれる点群の点数、 v は MMS の平均速度、 D_x は MMS から点群中心までの車両座標 X 軸方向距離、 f はレーザの走査周波数である。

- d) 密度比 r が閾値 β を超え、なおかつカメラ画像撮影位置に最も近いグループを看板の点群として取り出す。

3. 実験と評価

本章では、看板計測アプリケーションによる点群抽出結果および、大きさを計測し真値と比較した結果について述べる。位置計測結果に関しては、位置計算自身が点群の絶対位置精度に依存するためここでは評価しない。

3.1 測定対象と点群取得結果

本アプリケーションを使用して、柏市内国道 6 号線沿いにある以下の 4 つの看板の測定処理を行った（図 6）。特に①は看板前方にある電柱・電線を除去して選択する必要がある*1。前章で述べた手法におけるパラメータは、 $v = 10.0$ (m/s), $f = 75$ (Hz), $\alpha = 0.28$ (m), $\beta = 0.9$ としている。

*1 ②の看板の前にも電線はあるが、使用した点群データ内から当該電線のデータがなく、計測に影響がなかった。

図7は①の看板の計測を行う際、指定した矩形領域内に収まる点群と、そこから本手法で抽出した点群をそれぞれプロットしたものである。抽出した点群の前方にある電柱を取り除き、板形状の地物が抽出されていることが分かる。

3.2 取得点群による幅・高さ測定と評価

それぞれ、実計測値（幅，高さ）および測定結果は表1の通りである。なお、幅・高さの誤差率は「 $((\text{幅 or 高さ}) \text{ 実計測値} - (\text{幅 or 高さ}) \text{ 測定値の絶対値}) / ((\text{幅 or 高さ}) \text{ 実計測値})$ 」で求めている。

どの結果も実計測値と5%以内の誤差であり、このことから抽出した点群は各看板（の一部）であると考えられる。



図6 測定対象看板
Fig. 6 Target signs.

3.3 誤差要因

計測誤差の要因として、点群の測定誤差（付録参照）のほかにユーザの指定ずれによる測定誤差が含まれる。図6で示した画像では約1.5cm~2cm/ピクセル程度の誤差（上記測定対象に対して、誤差率で最大1%程度）が生じうる。表1の結果と比べて無視できない量の誤差になりうるため、ユーザの指定範囲の測定に対する影響を除けるような（ユーザの指定が実際の看板の範囲からずれないように）指定手法を検討する必要があると考えられる。

また、本手法では看板の形状を平面として計算しており、そうでない形状ではその分の誤差が出る。図6③の例では道路面水平方向の断面が楕円形状で、幅はその長径で算出されるが、得られる点群は楕円上に乗っており、その近似平面は長径部分より前（車両に近い側）に求められる。

4. 終わりに

本論文では、カメラ画像と点群を利用した、オクルージョン除去を行い看板の位置・大きさ計測を行うアプリケーションについて述べた。画像中の看板の範囲をユーザが指定して得られる点群を距離でグルーピングし、各グループの点群が比較的均一に分布することを利用して看板の点群のグループのみを選択することでオクルージョンを除去できることを示した。実データによる評価を行い、目的の看

表1 測定結果・誤差

Table 1 Calculation results.

No.	実計測値 (幅, 高さ)	測定結果 (幅, 高さ)	幅誤差率	高さ誤差率
(1)	3.50m, 3.80m	3.54m, 3.87m	0.011	0.018
(2)	1.80m, 3.60m	1.74m, 3.56m	0.033	0.011
(3)	4.00m, 3.27m	3.91m, 3.28m	0.023	0.003
(4)	5.00m, 4.00m	5.21m, 4.09m	0.042	0.023

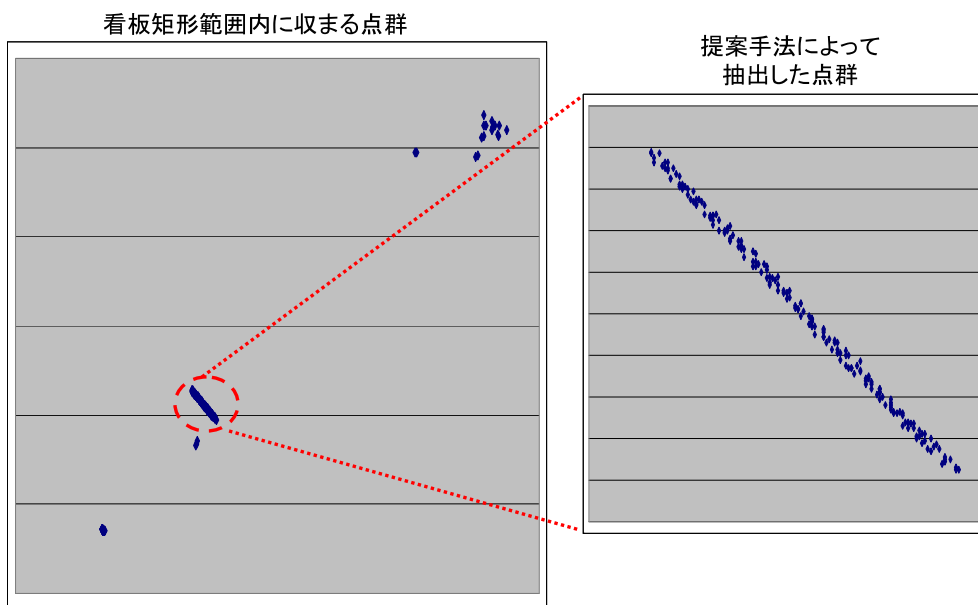


図7 点群抽出結果
Fig. 7 Result of point extraction.

板の点群を取得し5%以下の誤差による大きさ推定を行うことができた。本手法を看板アプリケーションへ適用する際、看板形状による誤差のほか、ユーザの指定ずれといった人的要因が含まれてくるため、抽出手法の高精度化とアプリケーションとしての誤差軽減手法をそれぞれ検討する必要があると考えられる。

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いたします。

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，入手先 (<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/service/mms.pdf>).
- [2] 辻 求：GeoMaster，写真測量とリモートセンシング，Vol.47, No.5, pp.26-27 (2008).
- [3] 史 中超，史 云，柴崎亮介：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, pp.22-25 (2008).
- [4] 石川貴一朗ほか：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-VIZTM) を用いた実都市空間モデリング&ワークスルーシステム，第 13 回ロボティクスシンポジウム (Mar. 2008).
- [5] Ishikawa, K. et al.: A study of precise road feature localization using mobile mapping system, *2007 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp.1-6 (2007).
- [6] Zhao, H. and Shibasaki, R.: A New Interface for Extracting Urban Spatial Objects using Vehicle-borne Laser and CCD Cameras, *8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Sendai, Japan (2003).
- [7] available from (<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/research/poster/2007/pdf/3dmapping/zhao.pdf>).
- [8] 総務省：空間コードの在り方について，ICT による生産性向上に関する検討委員会（第 1 回），入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho.tsusin/policyreports/joho.tsusin/ict_imp/pdf/070802.1.s8.pdf).

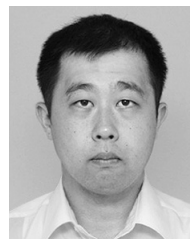
付 録

測定に使用した MMS 搭載のカメラ・レーザレンジファインダの諸元は表 A.1 の通り。

表 A.1 カメラ・レーザレンジファインダ諸元

Table A.1 Specification of cameras and laser range finders on MMS.

カメラ台数	2 台	
カメラ諸元	画素数	500 万画素
	視野角	水平方向 54°，垂直方向 41° (1 台あたり)
	設定方向	前正面向き (1 台) 前下面向き (1 台)
	撮影速度(最速)	11 枚/秒
レーザ搭載台数	2 台	
レーザレンジファインダ諸元	設定方向	前上 (30°) (1 台) 前下 (-30°) (1 台)
	絶対精度 (移動体測量による座標取得の正確度)	0.1m (二乗平均) 以内 (GPS 取得状況が良好の場合)
	相対精度 (移動体測量による座標取得の安定度)	0.01m (二乗平均) 以内
	自己位置精度	0.06m (二乗平均) 以内 (GPS 取得状況が良好の場合)



石渡 要介 (正会員)

1999 年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。2002 年同専攻博士課程単位取得退学。2003 年三菱電機 (株) 入社。マルチメディア応用技術の研究開発に従事。ACM, IEEE 各会員。



前原 秀明

1990 年宇都宮大学大学院工学研究科修了。同年三菱電機 (株) 入社。現在、同社情報技術総合研究所勤務主席研究員，ステレオ画像処理技術の研究開発に従事。情報処理学会論文賞ほか受賞。電気学会会員，工学博士。



宮原 浩二 (正会員)

1988 年九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。同年三菱電機 (株) 入社。1999~2000 年カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員，2002~2006 年三菱電機米国研究所研究員。現在、マルチメディア表示技術の研究開発に従事。IEEE 会員。



久野 徹也

1989年福井大学工学部電気工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。現在、同社情報技術総合研究所に所属。画像入力技術、映像システム・信号処理技術、色再現工学、グラフィックス技術に従事。電子情報通信学会、映像情報メディア学会各会員。工学博士。