

モバイルマッピングシステムの観測データを用いた 看板計測ソフトウェアとその精度評価

石渡 要介† 前原 秀明† 宮原 浩二† 久野 徹也†

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3次元都市地図の作成に関する研究を行っている。3次元地図作成研究の一応用として、「点群と画像による看板位置・大きさ計測」を行うシステムについて開発を進めている。看板位置・大きさ計測では、点群から看板の点だけを如何に抽出するかが課題となる。この課題に対し、我々は点群と同時に取得した画像内での点群の分布から、看板の点を抽出する手法を提案している。

本論文では、我々が提案した点群抽出手法を実装した看板計測ソフトウェアおよびその評価結果について示す。

Measurement software for road signs using 3D point clouds and camera images

Yosuke Ishiwatari†, Hideaki Maehara†,
Koji Miyahara†, Tetsuya Kuno†

We research on creating precise 3D urban maps using a laser sensor on an automobile as a part of researches on mapping between real space and digital data such as digital maps or digital images. We have developed the application software that measures the position and the size of road signs using point clouds getting from a laser sensor and camera images in the course of the research effort. The key for precise measurement is how well the points on the target can be extracted from 3D point cloud. We have proposed a method for the extraction by considering a camera image and the distribution of the points.

In this paper, we describe the developed application software and the experimental results of road sign measurements.

†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数開発されている[1][2][3][4][5][6]。これらの技術は、道路面調査や道路周辺環境の計測などに適用されている。

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。本研究の一環として、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3次元地図作成について検討した。この3次元地図を利用し、道路周辺に存在する看板の位置・大きさ測定を適用先として想定している。点群は位置情報に過ぎないため、目的の地物の点群だけをどのようにして抽出するかが課題となる。この課題に対し、ユーザーの指定情報を利用した点群抽出手法を筆者らは提案している[7]。この手法は点群取得と同時に取得した画像上の看板の範囲を指定し、画像上での点群の分布から目的の点群を抽出するものである。

本論文では、前記提案手法を実装したソフトウェア概要と、そのソフトウェアによる看板の幅・高さ算出結果と実データとの比較結果を示す。

2. 点群と看板計測への応用

2.1 点群と地物

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測量結果(車両からの相対距離)を3次元座標に変換した、空間絶対座標上の点の集合である。点群は道路周辺環境上の1点を示し、その集合が道路・建物などを示す。そのため、適切に点群を抜き出すことで、道路周辺の特定の地物を構成することが可能となる。車両前方を取得するようにレーザレンジファインダとカメラを設置した三菱電機製モバイルマッピングシステム(以降 MMS

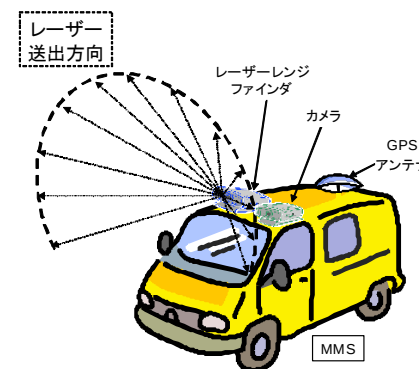


図 1 MMS 概略

と記載・図 1)[1]で取得した道路周辺点群から、行き先表示板の点群を抜き出した例を図 2 に示す。

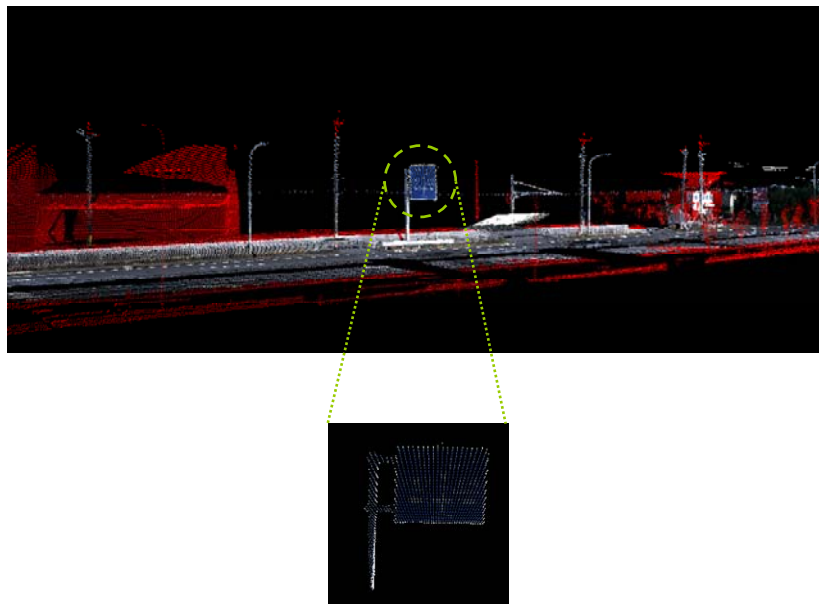


図 2 点群から行き先表示板を抜き出した例

2.2 点群を利用した看板計測

図 2 のように地物の点群を抜き出し、点群の位置情報を利用することで地物の存在する場所・大きさ等を求めることができる。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」(平成 20～22 年度)の実証実験のひとつとして、点群を利用した「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の法令遵守の流れに沿うものであり、これらに対する官公庁業務支援を目的として、我々はカメラ画像と点群を利用して屋外広告物(看板)の位置・大きさ等の測量を簡易に行える看板計測ソフトウェアを試作した。これにより、モバイルマッピング技術によってカメラ画像・点群を一回だけ取得することで、必要に応じて看板の位置・大きさを現地に測定に赴くことなく何度も測定することが出来る。図 3 は本ソフトウェアの想定利用構成であり、本ソフトウェアによって計測された位置・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」などの確認を適宜行う等の業務を想定している。

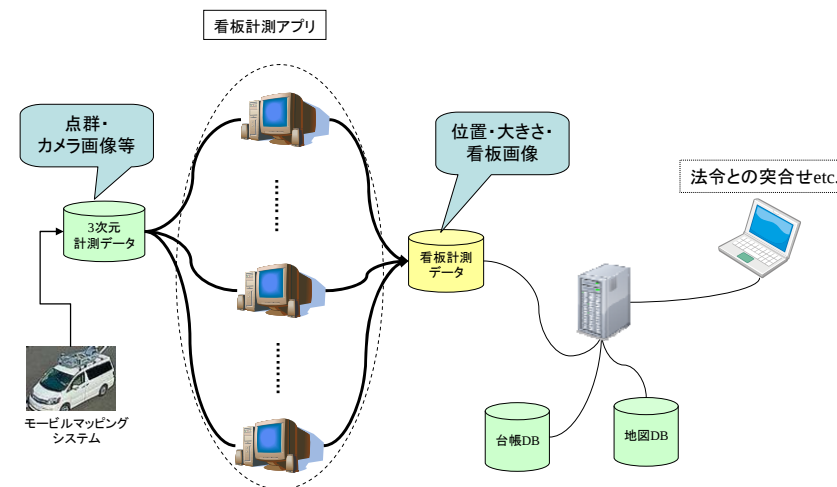


図 3 想定構成

なお本ソフトウェアでは、一般的に看板の形状・大きさは多岐にわたるため画像から看板を自動認識させる全自動計測は想定しておらず、ユーザーに画像上の看板の範囲を指定させ、その看板の位置・大きさを計測する半自動計測を採用している。

2.3 対象となる看板の点群選択

点群から看板位置・大きさの計測を行うためには、まず看板を示す点群を選び出す必要がある。

カメラ撮影時の位置・向き等の情報によって、点群はカメラ画像上にマッピングすることが出来る(図 4)。これにより、画像上の範囲内に収まる点群を選ぶことが出来る。また目的の看板の点群はこの範囲内に収まる。ただし、範囲内の点群すべてが目的の看板の点群とは限らない。図 5 はカメラ画像と画像上の看板範囲(図 5 左上・赤破線)に収まる点群を緯度経度軸にプロットした結果(図 5 右下)を示しているが、目的の看板の点群の前方に電柱や電線といった「障害物の点群」が多量に含まれるため、測定のためにはこれらを取り除く必要がある。

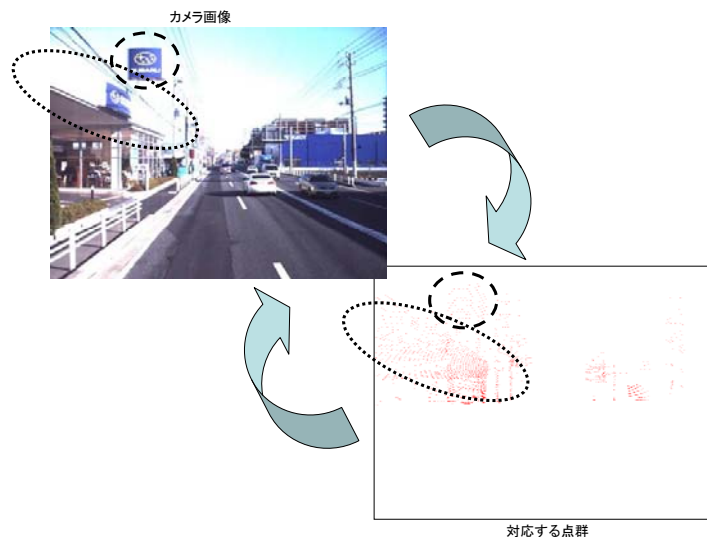


図 4 カメラ画像と点群の関係

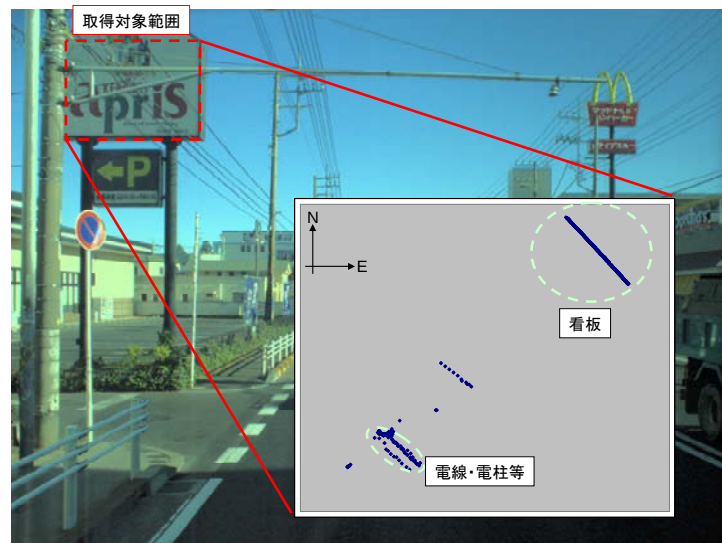


図 5 選ばれた点群と点群の示す地物

3. 看板計測ソフトウェア

本章では、看板計測ソフトウェアの詳細について説明する。本ソフトウェアはユーザーの指定に基づき、MMS を使用して取得した点群・カメラ画像およびカメラ画像撮影時位置を利用して看板の高さ・幅および位置計測を行うものである。実行画面を図 6 に示す。

3.1 看板計測処理フロー

以下、処理の内容を説明する。処理フローを図 6 に示す。

(1) ユーザーが、GUI 左側(図 6 左)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(図 6 右)。

(2) ユーザーが、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。

上記ユーザー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。ただし撮影時のカメラの位置から一定範囲内(例えば、車両位置から緯度経度高度方向それぞれ前後 50m 以内)にある点群を対象とする。

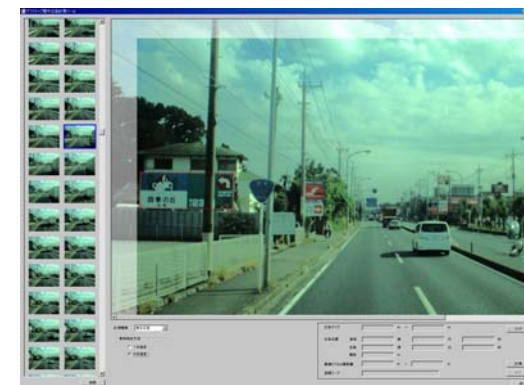


図 6 看板計測アプリケーション

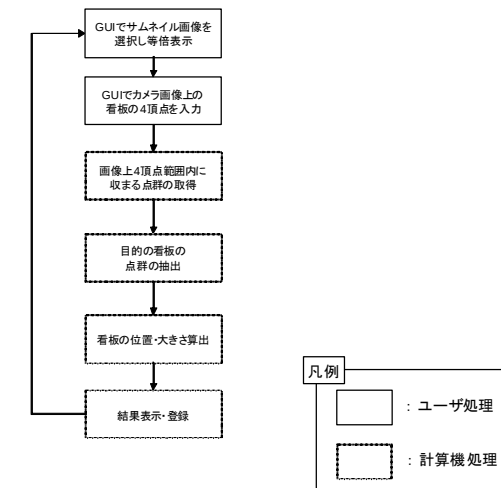


図 7 処理フロー

具体的には、点群位置 p と MMS 位置 x に対し、 $p-x$ のカメラ座標系(カメラ光軸方向および画像左右・上下方向を X,Y,Z 軸とした座標系)での位置を算出し、そこか

らカメラ画像上での位置を決定する．カメラ座標系における位置が (x_c, y_c, z_c) となるとき，カメラ画像上の位置 (x_i, y_i) は以下の通り． (x_i, y_i) がユーザーの指定した矩形範囲内に収まるもののみを抜き出す．

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{z_c * f}{x_c * p} \\ -\frac{y_c * f}{x_c * p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{center} \\ Y_{center} \end{pmatrix}$$

(上記式の f はカメラの焦点距離， p は画像の 1 ピクセルあたりの距離，

X_{center}, Y_{center} は光軸のカメラ画像上位置)

(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．抽出方法は[7]による．

(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．

四角錐の断面を得るために a) 点群による近似平面の計算，b) 近似平面と四角錐の交点の計算，の 2 つの処理を行う．

a) 得られた点群の位置から，最小二乗法によって点群の乗る近似平面を算出する．

近似平面 $ax+by+cz+d=0$ と点群 (x_p, y_p, z_p) の距離 D は

$$D = \frac{|a*x_p + b*y_p + c*z_p + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

算出し， D^2 の和が最小となる a, b, c, d を決定する．これにより近似平面が算出できる

b) ユーザーの指定した 4 頂点を a) で算出した平面上にマッピングすることで求める．

カメラ画像上の点 (x_i, y_i) とカメラ座標系原点を結ぶ直線のカメラ座標系における

$$\frac{x}{f/p} = \frac{y}{-(y_i - Y_{center})} = \frac{z}{x_i - X_{center}}$$

を絶対座標系(3次元上の位置が一意に定まる座標系を指す．本論文では平面直角座標系とする)に変換し，その直線式と a)の平面との交点を算出する．

得られた 4 点で得られる四角錐の断面が，測定対象となる看板の絶対座標系における範囲であり，4 点の位置から幅・高さを算出する．また，4 点の位置の重心を看板の位置とする．

(6) 計測結果を GUI 上に表示する．

看板の位置・幅・高さを GUI 上に表示するとともに，前述の四角錐断面を画像上に表示する．看板計測後，その看板が存在する別の画像を選択した際，計測結果を画像上に反映させ，「画像内の看板が測定済みかどうか」を判別できるようにしている(図 7)．測定結果(位置・高さ・幅)とともに看板の 4 頂点を保持しておき，前記(3)と同等の処理を行うことで看板の別画像内での位置を算出する．

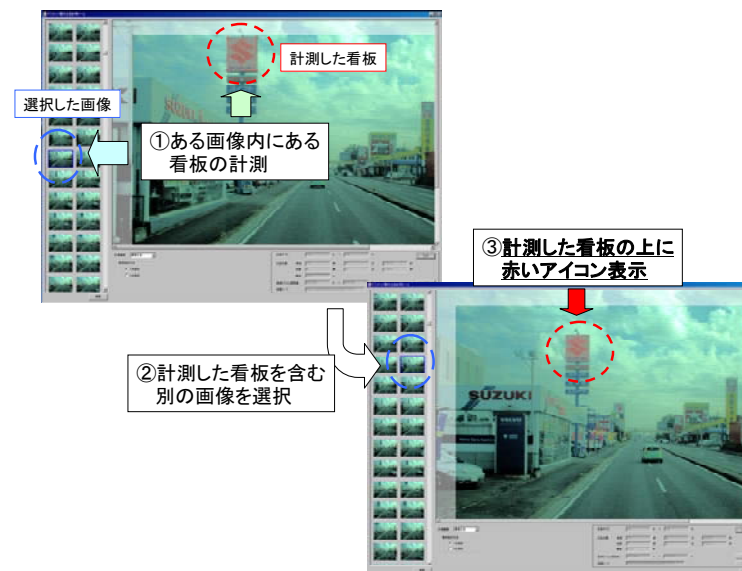


図 8 計測済看板の表示

屋外広告情報

広告サイズ m × m

広告位置

東経	140	度	00	分	02.6347	秒
北緯	35	度	50	分	35.4441	秒
標高	201.9	m				

空欄コード

4. 評価

本ソフトウェアを使用して、千葉県柏市内国道 16 号線沿いにある 6 つの看板の測定および評価を行った。柏市内国道 16 号線沿いを MMS で走行し、取得した点群・カメラ画像で対象看板の計測を行うと共に、位置・大きさの真値(業者による申請値)と比較した。真値について柏市役所様に協力頂いた。ただし、位置に関しては番地までの記載であり、正確な位置情報ではないため評価対象外とする。計測対象となる看板を図 10 に示す。



図 10 評価対象看板

4.2 計測結果

対象の6個の看板の計測結果及び真値との比較を表1に示す。なお、幅・高さの誤差率はそれぞれ「(真値－測定値の絶対値)/(真値)」の値を示している。

表 1 測定結果・誤差

No.	真値(幅, 高さ)	測定結果(幅, 高さ)	幅誤差率	高さ誤差率
(1)	6.00m, 1.90m	5.94m, 1.88m	0.010	0.011
(2)	3.61m, 5.95m	3.61m, 5.91m	0.000	0.007
(3)	5.90m, 1.84m	5.78m, 1.84m	0.020	0.005
(4)	2.50m, 2.90m	2.59m, 2.92m	0.036	0.007
(5)	7.20m, 3.60m	7.01m, 3.57m	0.025	0.008
(6)	3.55m, 2.40m	3.49m, 2.29m	0.017	0.046

[7]での評価結果と同様、どの測量も誤差率0.05以内に測定できていることが分かる。(5)のように看板手前に障害物が多数ある環境でも上記誤差で計測できており、障害物の点群を除去し看板の点群だけを抽出できていると考えられる。

4.3 誤差要因

上記結果により本ソフトウェアでは計測対象看板の点群を抽出出来ていると推定されるが、測定結果には数%の誤差がある。この計測誤差要因として以下のものが挙げられる。

(1) ユーザー指定による誤差

画像上の看板位置をユーザーが指定した際にずれることがある。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)が生じ得、表1の結果と比べて無視できない量の誤差になり得るため、ユーザーの指定範囲の測定に対する影響を除けるような(ユーザーの指定が実際の看板の範囲からずれないような)指定手法を検討する必要があると考えられる。

(2) 看板形状による誤差

計測の際、看板の形状を平面として計算しているため、平面形状ではない看板では計測値に誤差が出る。図10③の例では道路面水平方向の断面が曲面で、点群はその曲面上に乗っている。そのため、平面近似によって計測値は小さく

なると推定される(図11)。

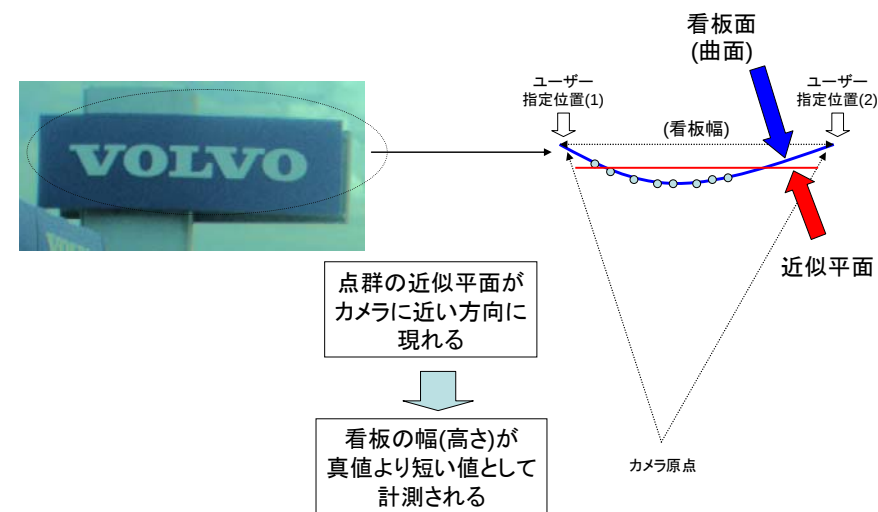


図 11 曲面形状看板の測定誤差

そのため、正確な大きさ推定を行うためには点群の分布による形状判定が必要になると考えられる。

5. 終わりに

本論文では、カメラ画像と点群を利用した、看板の位置・大きさ計測ソフトウェアおよびその計測結果について示した。対象となる看板の点群のみを選択し平面近似を行い、ユーザーの指定した画像上での看板の範囲を近似平面上にマッピングすることで対象の看板の位置・大きさを算出する。柏市内国道16号線沿線の看板を対象とした評価を行い、5%以下の誤差による大きさ推定を行うことが出来た。本ソフトウェアでは、ユーザーの指定ズレによる誤差や看板の形状による誤差が含まれてくると考えられ、これらへの対応により更なる高精度化を図る。

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, Mar. 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] 石渡他, 「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」, 情報処理学会第 44 回 ITS 研究会, Mar. 2011