

レーザスキャナを用いた距離と見えに基づく物体識別

Object recognition based on range and reflectivity using a laser scanner

○ 近藤 直明 (九大) 大石 修士 (九大) 岩下 友美 (九大)
正 倉爪 亮 (九大) 正 長谷川 勉 (九大)

Naoaki KONDO, Kyushu University, kondou@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Shuji OISHI, Kyushu University

Yumi IWASHITA, Kyushu University

Ryo KURAZUME, Kyushu University

Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University

This paper proposes a novel object recognition technique using a laser scanner. A laser scanner precisely measures three dimensional shape of a target, and object recognition can be conducted by comparing shapes of objects. However, it is difficult to distinguish objects that have similar shapes, such as a remote control and a cellphone, based only on three dimensional data. On the other hand, a laser scanner can obtain intensity of a laser pulse as a by-product of range data. Reflectance image, which is a collection of intensity data, has appearance information of a target object. We developed a novel object recognition technique using range and reflectance image simultaneously, and realized road traffic census by applying the proposed technique.

Key Words: Reflectance image, Laser scanner, Object recognition, Traffic census

1 はじめに

近年、距離画像を高速かつ高精度に計測できるレーザスキャナが相次いで開発、市販されている。レーザスキャナは、センサから発射されたレーザ光が物体表面に反射して再びセンサに戻るまでの時間を計測し、物体までの距離を取得するもので、高精度な三次元形状計測が可能である。計測された三次元形状はVRモデルの作成や構造物の現況確認など多くの用途があるが、三次元形状同士を比較することで、物体識別を行うことも可能である [1] [2] [3]。Stederら [1] は、距離画像から法線情報に基づく特徴を抽出したNARF (Normal Aligned Radial Features) の特徴点の検出方法を提案し、特徴点検出の安定性とNARFのマッチング性能についての実験を行っている。伊達ら [2] は、三次元モデル上の法線方向周りの点の分布を表すSpin Imageを用い、法線スムージングや点密度一様化を行うことでノイズやデータ欠損に対してロバストな認識を実現している。また、Behleyら [3] は、三次元データから得られるスペクトルヒストグラムを用いることで、地面、車、草木などの識別実験を行っている。しかし、これらの特徴量は三次元データに基づく物体形状の特徴を記述しているため、例えば携帯電話とリモコンなど、類似した形状の物体を正確に識別することは困難である。この場合、物体の形状情報に加え、カメラ等の他のセンサから得られる”見え”の情報を付加した識別が有効となる [4]。Mohottalaら [4] はレーザスキャナとカメラの2つのセンサを用いた移動体識別システムを考案している。しかし、一般に各センサから得られる情報は異なる視点からのものであるため、センサ間でのキャリブレーションを行わなければならない。

一方で、レーザスキャナからは距離計測の副産物としてレーザの反射光強度(リフレクタンス値)を得ることができる [5]。リフレクタンス値は、単一周波数の点光源下における物体の見えに関する情報を持っており、単一のレーザスキャナから物体の距離情報と見えの情報が取得できる。そこで、本研究では、レーザスキャナから得られる物体の形状

と見えの特徴に基づく物体識別手法を提案する。また、提案手法を道路交通量調査へ適用し、提案手法の有効性を確認する。

2 提案手法

2.1 リフレクタンス画像

レーザスキャナによる距離計測の際には、副産物としてレーザのリフレクタンス値が得られる。レーザスキャナから得られた距離値を二次元濃淡画像として表示したものを図1(a)に示す。また、距離画像と同様に、リフレクタンス値を二次元濃淡画像として表示したリフレクタンス画像を図1(b)に示す。計測の特性上、一つの距離値に対してリフレクタンス値は一意に決定できるため、距離画像とリフレクタンス画像は厳密に位置合わせされた画像となる。また、これらの画像はセンサから能動的に発射されたレーザにより生成される画像であるため、環境光の影響を受けずに昼夜を問わず安定的に計測を行うことができる。

2.2 距離情報に基づく物体切り出し

物体識別を行う際には、計測データから識別対象物体の領域のみを切り出してくる必要がある。例えば、カメラ画像を用いて識別を行う場合、画像の色情報を基に物体を切り出すため、複数の色を持つ物体がある場合やセンサから見て類似した色の物体が重なっている場合には、識別対象物体を背景から正確に切り出すことは困難となる。一方、距離画像は物体の形状情報を持っており、距離値の断絶や法線方向の違いから識別対象物体を比較的容易に切り出すことができる。また、距離情報とリフレクタンス情報は一対一に対応しているため、距離画像により切り出された領域のリフレクタンス値を参照することで、物体の見えの情報も取得することができる。距離情報に基づいて図1の距離画像及びリフレクタ



(a) Range image



(b) Reflectance image

Fig.1 Range and reflectance images



(a) Range image (b) Reflectance image

Fig.2 Extracted range and reflectance images

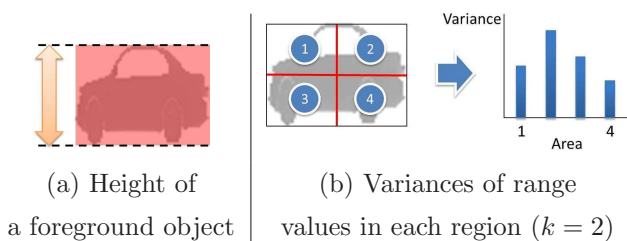


Fig.3 Features of a range image

ンス画像から物体（バス）を切り出した結果を図2に示す。

2.3 特徴量抽出

本節では、距離画像及びリフレクタンス画像から抽出する二種類の特徴量について述べる。距離画像からは、識別物体の高さ、及び距離画像中の物体に外接する矩形領域を $k \times k$ 個に分割した各小領域における距離分散値の2つ（図3）を特徴量として抽出し、 $k \times k + 1$ 次元の特徴ベクトルを求める。

リフレクタンス画像から抽出する特徴量には HOG(Histograms of Oriented Gradients) [6] を用いる。HOG [6] は、Dalalらにより人検出のために開発された特徴記述子で、画像をいくつかの領域に分割し各分割領域にお

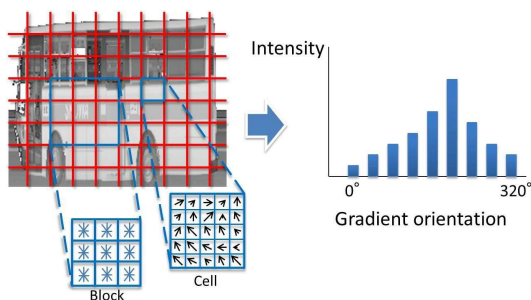


Fig.4 HOG



Laser scanner

Fig.5 Experimental setup

ける輝度強度と輝度勾配をヒストグラムとして扱うことで、物体の大まかな形状を記述できる（図4）。

距離特徴量として用いる分散値と HOG 特徴量は入力画像を一定の数に分割して算出するため、入力画像中の物体のサイズが変動した場合でも不変な特徴を抽出できる。

2.4 識別手順

画像から抽出した距離特徴量 \mathbf{x}_1 とリフレクタンス特徴量 \mathbf{x}_2 の各特徴量を結合した新たな特徴ベクトル $\mathbf{x} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2\}$ を物体の特徴量として識別を行う。識別器には SVM(Support Vector Machine) を用いる。通常、SVMは2クラスの分類に用いられるが、分類したいクラスが $n(n \geq 3)$ クラスある場合には、まず分類したいクラスの内2クラスで比較を行う。その比較を全組み合わせ、つまり nC_2 通りで行うことで多クラスでの分類が可能となる。

3 交通量調査実験

3.1 実験手順

本章では、提案手法を交通量調査に適用し、その有効性を確認する。実験に際し、レーザスキャナ SICK LMS151 を図5のように、レーザ面が地面と垂直になるように設置し、レーザ面を通過する移動体の距離画像とリフレクタンス画像を計測した。なお、視野角、角度分解能、および計測周波数はそれぞれ 270° 、 0.5° 、50Hz とし、移動体の速度がほぼ一定となる地点で計測を行った。また、特徴量抽出の際の距離画像の分割数は $k = 4$ 、HOGのセル、ブロックに含まれるセル数、勾配方向数はそれぞれ 8×8 、 4×4 、18 とした。従って、識別に用いる特徴量の次元数は 7217 となる。

Table 2 Recognition results (5 categories)

	Range and reflectance image(Proposed)					Range image				
	Bus	Car	Bike	Track	Human	Bus	Car	Bike	Track	Human
Images	37	72	43	16	50	37	72	43	16	50
Detected	38	71	43	16	50	39	70	41	19	49
Correct	37	71	43	16	50	37	68	38	16	45
Precision	97.4%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	94.9%	97.1%	92.7%	84.2%	91.8%
Recall	100.0%	98.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	94.4%	88.4%	100.0%	90.0%

Table 3 Recognition results (6 categories)

	Range and reflectance image(Proposed)						Range image					
	Bus1	Bus2	Car	Bike	Track	Human	Bus1	Bus2	Car	Bike	Track	Human
Images	24	13	72	43	16	50	24	13	72	43	16	50
Detected	24	13	72	43	16	50	23	17	69	40	19	50
Correct	22	11	72	43	16	50	18	10	68	37	16	45
Precision	91.7%	84.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	78.3%	58.8%	98.6%	92.5%	84.2%	90.0%
Recall	91.7%	84.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	75.0%	76.9%	94.4%	86.0%	100.0%	90.0%

Table 1 Dataset

Categories		
Bus	Bus1	24
	Bus2	13
Car		72
Bike		43
Track		16
Human		50



(a) Range image



(b) Reflectance image

Fig.6 Categories of moving objects

3.2 結果

識別対象の移動体のカテゴリはバス、車、バイク、トラック、人の5つである。各カテゴリのデータ数を表1に、LOOCV (leave-one-out cross-validation) を適用し識別を行った結果を表2に示す。距離特徴量のみを用いる場合でも比較的高い識別性能を示していることが確認できる。さらに、バスのカテゴリを会社によって2つに分けて同様の実験を行った。各カテゴリの距離画像、リフレクタンス画像を図6に、6カテゴリで識別を行った結果を表3に示す。全てのカテゴリにおいて、リフレクタンスによる見えの情報を付加することで、距離情報のみを用いた識別に比べて識別性能が向上している。特に、バスのカテゴリにおいては、二種類のバスは類似した形状を有しているため、距離情報のみを用いた際の識別性能は他のカテゴリと比較し低いが、リフレクタンス画像のHOG特徴量を用いることで、バスの識別性能は他のカテゴリのものに比べて向上している。また、HOGの次元数をPCAにより30次元に削減した結果を表4に示す。30次元に削減した際の累積寄与率は59.2%であるが、PCAを適用する前と比べてRecallが1%しか低下せず、少ない次元数でも見えの特徴を付加することで識別性

能が向上することが確認できた。

4 まとめ

本論文では、距離画像とリフレクタンス画像を用いた識別手法を提案した。本手法は、レーザスキャナにより得られる物体の形状情報に加え、レーザの反射強度に基づく見えの特徴を利用することで識別精度の向上を実現している。そのため、カメラのような受動的な計測を行うセンサと違い、環境光の影響を受けず夜間などでも安定的にデータを取得できるという利点を有する。本稿では、交通量調査のための移動体識別に提案手法を適用し、その有効性を確認した。今後は距離特徴量及びリフレクタンス特徴量における画像の分割数やSVMのパラメータの最適化について検討する予定である。

Table 4 Recognition results using 30 dimensions of HOG features

	Range and reflectance image(Proposed)					
	Bus1	Bus2	Car	Bike	Track	Human
Images	24	13	72	43	16	50
Detected	26	12	72	43	15	50
Correct	23	10	71	43	15	50
Precision	88.5%	83.3%	98.6%	100.0%	100.0%	100.0%
Recall	95.8%	76.9%	98.6%	100.0%	93.8%	100.0%

文献

- [1] B. Steder, R. B. Rusu, K. Konolige, and W. Burgard, "Point Feature Extraction on 3D Range Scans Taking into Account Object Boundaries". In IEEE International Conference on Robotics Automation, 2011.
- [2] Hiroaki Date, Yusuke Kaneta, Akihiro Hatsukaiwa, Masahiko Onosato, and Satoshi Kanai, "Object Recognition in Terrestrial Laser Scan Data using Spin Images". CAD'11 conference and exhibition, PaperNumber:83, 2011.
- [3] J. Behley, V. Steinhage, and A. B. Cremers, "Performance of Histogram Descriptors for the Classification of 3D Laser Range Data in Urban Environments". In IEEE International Conference on Robotics Automation, 2012.
- [4] Shirmila Mohottala, Shintaro Ono, Masataka Kagesawa, and Kasushi Ikeuchi, "Fusion of a Camera and a Laser Range Sensor for Vehicle Recognition". In Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2009.
- [5] Axel Murguet, 岩下友美, 倉爪亮, "距離画像とリフレクタンス画像を用いた移動体識別". 第28回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 3I3-3, 2010.
- [6] Navneet Dalal and Bill Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection". In Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, 2005.