

リフレクタンス画像を用いた街並みモデルの セマンティックラベリング

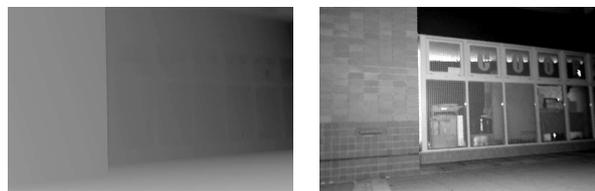
○近藤直明 大石修士 岩下友美 倉爪亮(九大)

1. はじめに

本稿では、レーザレンジファインダ (LRF) を用いて、3次元地図に対してラベル付けを行うセマンティックラベリング手法を提案する。LRFは、センサから発射されたレーザ光が対象物体表面で反射して戻ってくるまでの時間を計測することで、物体までの距離を高速かつ高精度に取得することができる。LRFにより計測された距離情報から構築される3次元幾何モデルは、構造物の現況確認やヴァーチャルリアリティなどに広く用いられている。さらに、3次元幾何モデルを構成する点群に対し識別を行うことで、人や建物などのラベルを付加した3次元地図を作成する手法も提案されている。

Zhuら[1]は、レーザ面が車の進行方向に対し垂直になるように設置した車載レーザスキャナから2次元距離画像を取得し、木、人、地面などの6カテゴリのセマンティックラベリングを実現している。距離情報から得られる法線や重心の座標などを特徴量として用い、約90%の識別率を示している。Paulら[2]は、車上部に取り付けた回転テーブルの上にLRFを設置し、テーブルを回転させながら計測を行うことで得られた周囲の3次元点群に対し、車、建物、地面などの6物体の識別を行っている。本手法では、物体の形状やスペインメージを特徴量として用いており、またGaussian Processによる識別を行うことで、SVMを用いた場合よりも高い識別性能を実現している。しかし、Zhuら[1]やPaulら[2]の手法では距離情報に基づいた特徴量のみを用いているため、類似した形状の物体の識別は困難となる。この場合、物体の形状情報に加え、デジタルカメラ等の画像センサから得られる物体の見えの情報を利用した識別が有効である。Douillardら[3]は、レーザスキャナから得られた3次元モデルとカメラ画像を用いて車や木、壁など16カテゴリの識別を行っている。この手法では、エレベーションマップを基にセグメンテーションされた点群データに対し、3次元幾何情報や対応するカメラ画像中の色情報を特徴量として抽出し識別を行っている。また、地面モデルと物体モデルに基づいた新たな識別器を提案しており、KNNやSVM等の従来の識別器に比べ、より高精度な識別性能を実現している。しかし、一般的に各センサは異なる視点から計測を行うため、各センサから得られる情報は位置合わせを行う必要がある。また、カメラ画像は周囲の明るさにより大きく変化する問題もある。

そこで、我々はLRFによる距離計測の際に副産物として得られるレーザの反射光強度 (リフレクタンス値) に着目した。リフレクタンス情報は、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LRFから物体の距離情報と見えの情報が得られ



(a) 距離画像

(b) リフレクタンス画像

図1 LRFから取得できた画像

る。我々はすでに、単一のLRFから取得した距離情報とリフレクタンス情報を用いた移動体識別手法を提案した[4][5]。また、乗用車やトラック、バスなど5カテゴリの移動体を識別対象とし、距離情報とリフレクタンス情報を共に用いることで、距離情報のみを用いる場合よりも識別性能が向上することを確認した[5]。本稿では、LRFから得られた距離画像とリフレクタンス画像を用い、木や建物などが混在する街並みの3次元モデルに対するセマンティックラベリング手法を提案する。また、識別実験を行いその性能を確認する。

2. 提案手法

2.1 リフレクタンス画像

LRFは、センサから発射したレーザ光が物体表面に反射し、再びセンサに戻ってくるまでの時間から距離値を取得する。その際、センサに戻ってきたレーザの反射光強度 (リフレクタンス値) が距離計測の副産物として得られ、単一のLRFから距離情報と見えの情報を同時に取得することができる。実際にLRFから得られた距離値を濃淡値として表示した距離画像を図1(a)に示す。同様に、リフレクタンス値を濃淡値として表示したリフレクタンス画像を図1(b)に示す。原理上、ある距離値に対してリフレクタンス値が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が行われた画像となる。また、計測はセンサから能動的に発射されたレーザにより行われるため、環境光の影響を受けずに安定なデータを取得できる。

2.2 識別手順

本節では、提案するLRFを用いた街並みの3次元幾何モデルに対するセマンティックラベリング手法について述べる。本手法では、まずLRFにより計測された3次元モデルから地面領域を削除し、地面領域以外の点群に対してセグメンテーションを行う。次に、各セグメントの形状・リフレクタンス情報から特徴量を抽出し、SVMを用いて識別を行う。提案手法の概略を図

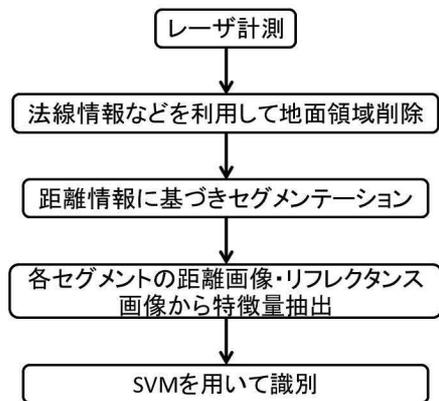


図2 識別までの流れ

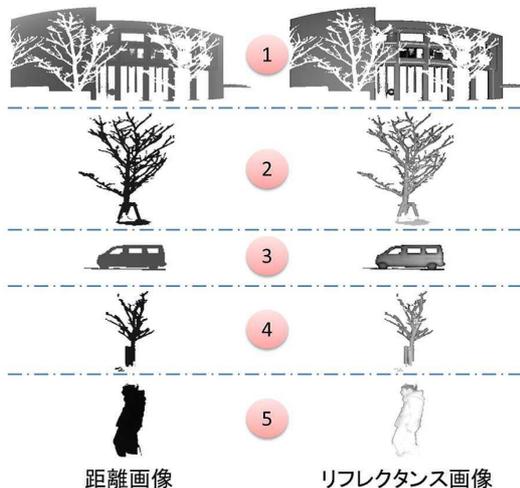
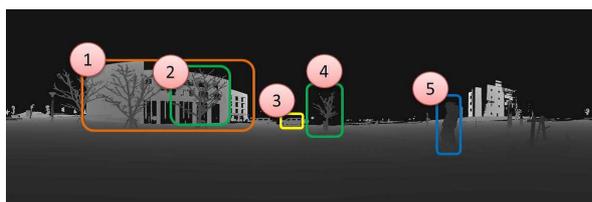
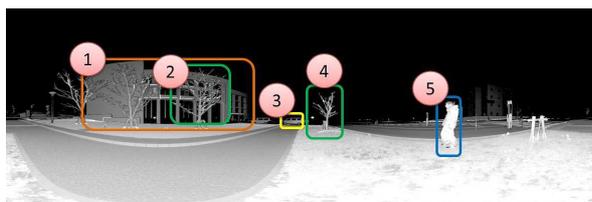


図4 セグメンテーション後



(a) 距離画像



(b) リフレクタンス画像

図3 セグメンテーション前

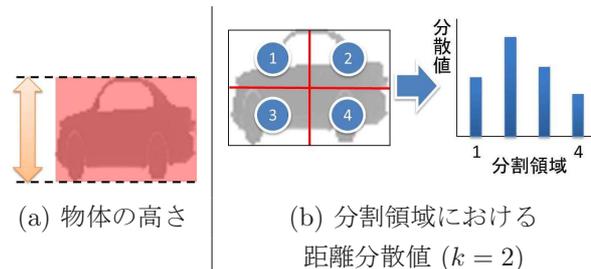


図5 距離特徴量

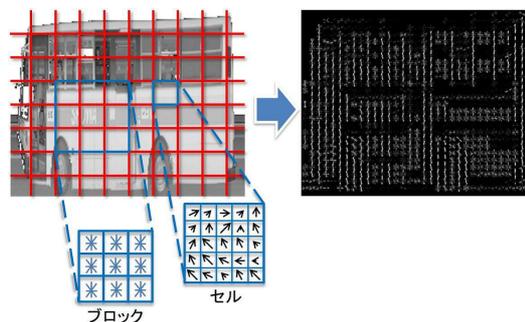


図6 HOG

2に示す。

2.2.1 距離情報に基づくセグメンテーション

物体識別を行うためには、複数の物体が含まれているデータに対してセグメンテーションを行い、識別対象物体ごとに切り出す必要がある。そこでまず、法線方向と高さを基に距離画像から地面領域を検出、削除した。次に、距離値や法線方向の連続性に基づき、距離画像内の物体領域をセグメンテーションした。さらに前節で述べたように、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、セグメンテーションにより切り出された距離画像領域のリフレクタンス値を参照することで、物体の見えの情報を取得した。回転テーブルの上に乗せたLRFを用いて周囲の環境を計測して生成された距離画像とリフレクタンス画像をそれぞれ図3に、距離情報に基づいたセグメンテーションにより物体ごとに切り出した距離画像とリフレクタンス画像をそれぞれ図4に示す。

2.2.2 特徴量抽出・識別

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2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5)を特徴量として抽出し、 $k \times k + 1$ 次元の距離特徴量を求める。

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は、Dalalらにより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、物体の大きな形状を記述できる(図6)。

距離画像から抽出した距離特徴量 x_1 と、リフレクタンス画像から抽出したリフレクタンス特徴量 x_2 を結



図7 実験環境

表1 データセット

カテゴリ	データ数
木	50
人	30
車	45
建物	60

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、SVM(Support Vector Machine)を用いて識別する。

3. 識別実験

3.1 実験手順

実験では、図7のように LRF(LMS151, SICK) を回転テーブルに設置し、全周方向に対して 0.16° 刻みで計測を行った。なお、上下方向の視野角、角度分解能はそれぞれ 190° 、 0.25° とした。また、特徴量を抽出する際の距離画像の分割数は $k = 4$ 、HOGのセル数、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。リフレクタンス特徴量である HOG に対しては主成分分析を適用し、次元数を 7200 次元から 30 次元に削減した。

3.2 実験結果

識別対象の移動体のカテゴリは木、人、車、建物の4つとした。各カテゴリのデータ数を表1に、LOOCV (leave-one-out cross-validation) を適用し距離特徴量のみを用いた場合の識別結果を表2に、距離特徴量とリフレクタンス特徴量を用いた場合の識別結果を表3に、それぞれの場合での平均適合率と平均再現率を表4に示す。また、距離情報により物体をセグメンテーションした3次元モデルを図8に、セグメンテーションされた物体に対して識別を行い、カテゴリごとに彩色した3次元モデルを図9に示す。リフレクタンス情報と距離情報を共に用いることで、距離情報のみを用いた場合よりも識別性能が向上していることが確認できた。

4. まとめ

本稿では、距離画像とリフレクタンス画像を用いた、街並みの3次元幾何モデルに対する新たなセマンティックラベリング手法を提案した。提案手法は、単一のレーザレンジファインダから得られる距離画像とリフレクタンス画像を利用することで、物体の形状と見えの情報を取得し、高精度な識別を実現している。

表2 識別結果1(距離情報のみ)

		識別されたカテゴリ			
		木	人	車	建物
実際の カテゴリ	木	82.0%	4.0%	6.0%	8.0%
	人	6.7%	66.7%	23.3%	3.3%
	車	11.1%	11.1%	75.6%	2.2%
	建物	10.0%	3.3%	3.3%	83.4%

表3 識別結果2(距離情報+リフレクタンス情報)

		識別されたカテゴリ			
		木	人	車	建物
実際の カテゴリ	木	90.0%	0.0%	6.0%	4.0%
	人	0.0%	96.7%	3.3%	0.0%
	車	6.7%	2.2%	84.4%	6.7%
	建物	6.7%	1.7%	5.0%	86.6%

表4 平均適合率・平均再現率

	距離情報のみ	距離情報 + リフレクタンス情報
	平均適合率	77.0%
平均再現率	76.9%	89.4%

本手法で用いている LRF は、センサが能動的に発射したレーザ光により計測を行っており、環境光の影響を受けずに安定してデータを取得できる。従って、夜間でも安定な識別が可能である。

今後は、セグメンテーションの精度の向上やレーザ計測を行うシステムの改良について検討する予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究(課題番号 24656173)及び日本学術振興会科学研究費補助金特別研究員奨励費(課題番号 246404)の支援を受けました。

参考文献

- [1] Xiaolong Zhu, Huijing Zhao, Yiming Liu, Yipu Zhao, Hongbin Zha: "Segmentation and Classification of Range Image from an Intelligent Vehicle in Urban Environment", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2010.
- [2] Rohan Paul, Rudolph Triebel, Daniela Rus, Paul Newman: "Semantic Categorization of Outdoor Scenes with Uncertainty Estimates using Multi-Class Gaussian Process Classification", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012.

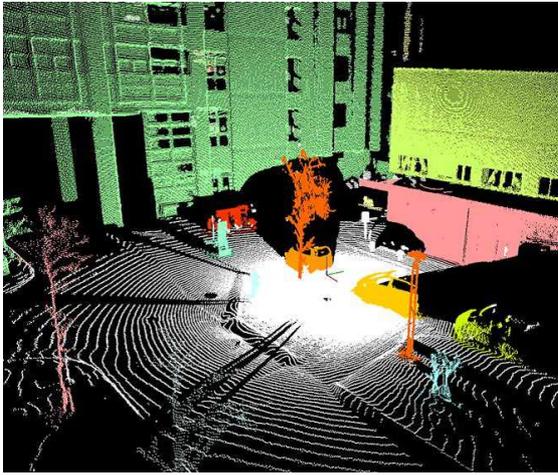
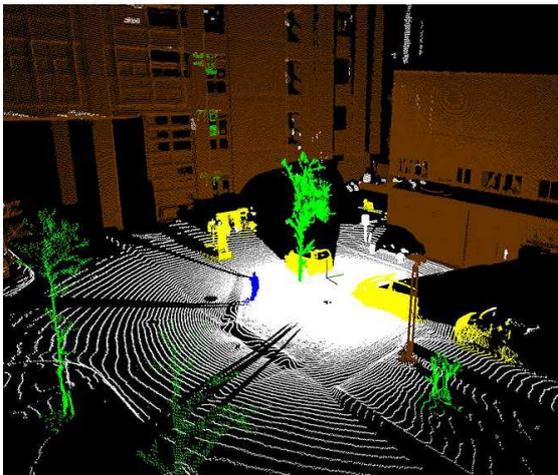


図8 セグメンテーション後の3次元モデル



■:木 ■:人 ■:車 ■:建物

図9 識別により彩色された3次元モデル

- [3] B. Douillard, A. Brooks and F.T. Ramos: "A 3D Laser and Vision Based Classifier", Proc. 5th Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2009.
- [4] 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.
- [5] 近藤 直明, 大石 修士, 岩下 友美, 倉爪 亮, 長谷川 勉: "レーザスキャナを用いた距離と見えに基づく物体識別", 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2013, 2013.
- [6] Navneet Dalal, Bill Triggs: "Histograms of oriented gradients for human detection", In Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, 2005.