

NDTを用いた距離画像の物体識別

九州大学 ○酒見慶太 倉爪亮

Object recognition with depth images using NDT

Keita Sakemi and Ryo Kurazume, Kyushu University

Abstract: This paper presents a new object recognition method using Normal Distribution Transform (NDT). Firstly, 3D range data is transformed to ND representation using Principal Component Analysis. Then a directional histogram of Eigen vectors is created. Object classification is performed using the directional histogram.

1. はじめに

人の日常生活を手助けする生活支援ロボットには、カメラや距離センサを用いて、生活環境内に存在する様々な物体を認識、分類する機能（物体認識）が必要不可欠である。これまで、特定物体の認識、あるいは一般的な物体カテゴリの認識手法として、まずそれぞれの物体を様々な局所特徴量の集合として表現し、その集合の類似度を求める手法が多く提案されてきた。

例えば、距離センサから得られる3次元データ（Depth image、Fig. 1）に対しては、特徴点周りの領域を分割し、分割された各領域内の法線ベクトルの分布をヒストグラムとして表現するSHOT[1]、形状及びテクスチャの特徴を記述するCSHOT[2]、表面法線周りの点群の分布を記述するSpin image、物体の3次元形状を局所領域における法線方向の分布として表現するHONV[3]などが提案されている。

しかし、これらの多くは、法線方向などが安定に得られることを前提とした特徴記述子であり、大規模構造物の計測に用いられるLRF(Laser

Range Finder)やステレオカメラにより取得されるような、ノイズを多く含む不均一な点群に対しても、安定な特徴記述手法の開発が課題となっている。

一方、複数の点群同士を位置合わせする問題に対し、一般的に用いられるICP(Iterative Closest Point)法に代わり、より高速な処理が可能なNDT(Normal Distributions Transform)法[4]が提案されている。NDTは、点群をボクセルに分割し、ボクセル内の点群分布を正規分布として表現する手法である。またこのNDTは点の分布及び法線方向を抽出できることから、3次元点群の記述法としても用いることができる。ICP法で必須の最近傍点探索が不要であることから、高速な位置合わせ処理が実現できる[5]。

そこで本稿では、法線方向を明示的に用いない新たな物体認識手法として、NDTを用いた物体認識手法を提案する。提案手法では、まずLRFやステレオカメラで計測した様々な物体の3次元点群に対し、NDTを適用して3方向の固有ベクトルを抽出し、その方向ヒストグラムを特徴量とした物品データベースを構築する。認識時には、同様にして得られた3次元点群にNDTを適用して固有ベクトルの方向ヒストグラムを作成し、物品データベースと比較することで物体認識を行う。特徴記述にNDTを用いることで、点群を構成する各点の法線方向を明示的に決定する必要がないため、ノ



Fig. 1 Depth image

イズに対して頑強という特徴を有する。

2 HONVを用いた特徴記述法

HONV(Histogram of Oriented Normal Vector) は、距離センサから得られた物体の形状特徴を記述するために、Tangら[3]により提案された。HONVでは、物体の3次元形状を局所領域における法線方向の分布として表現する。まず距離画像の各ピクセル $p = (x, y)$ において、以下により法線ベクトルを計算する。

$$N = \left(-\frac{\partial d(x,y)}{\partial x}, -\frac{\partial d(x,y)}{\partial y}, 1 \right)^T \quad (1)$$

ここで、 $d(x, y)$ はピクセル p における距離値を表す。次に、得られた法線方向を、天頂角 θ と方位角 φ で表す。

$$\theta = \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{\partial d(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial d(x,y)}{\partial y} \right)^2} \quad (2)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\partial d(x,y)}{\partial y} / \frac{\partial d(x,y)}{\partial x} \right) \quad (3)$$

各ピクセルで法線方向を計算した後、まず距離画像を $k \times k$ のセルに分割する。次に、分割されたセル内において、法線方向を離散化し、 $N_\theta \times N_\varphi$ 個のビンに投票を行うことで、ヒストグラムを作成する。

3. 提案手法

3.1 NDTを用いた特徴記述法

提案手法の処理手順を以下に示す。

1. 距離画像をボクセル化する。
対象となる距離画像を格子状に区切り、ボクセル化する。ボクセルのサイズは任意である。
2. 各ボクセル内の点分布から共分散行列を求める。
3. 固有値分解し、3つの固有ベクトルを求める。固有値分解には行列ライブラリEigenを使用している。
4. 固有ベクトルを天頂角 θ と方位角 φ (Fig. 2)で表現し、量子化する。それぞれの分割数は9及び18である。

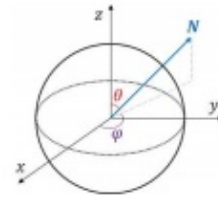


Fig. 2 Zenith angle θ and azimuth angle φ

5. 量子化された天頂角 θ と方位角 φ に従い、ヒストグラムの該当する箇所に投票する。
6. 距離画像中の全ボクセルについて2, 3, 4, 5の処理を行い、完成したヒストグラムを特徴ベクトルとする。(Histogram example, Fig. 3)

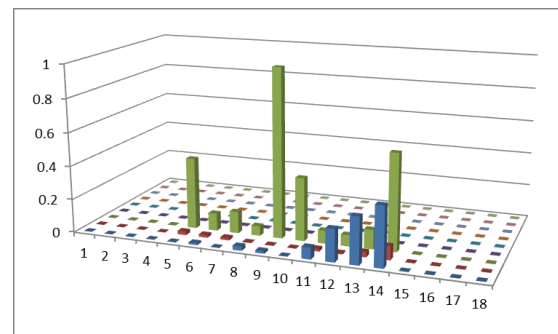


Fig. 3 Histogram using NDT

3.2 SVMによる識別

距離画像から抽出した特徴ベクトルを特徴量とし、SVM(Support Vector Machine)を用いて識別を行う。

4. 実験

NDT及びHONVを用いて識別実験を行った。使用したデータセットは、Xtionで撮影した、茶碗(Fig. 4)、急須(Fig. 5)、ディスプレイサ(Fig. 6)、ペットボトル(Fig. 7)及び徳利(Fig. 8)の5つのカテゴリの計100個の距離画像から成る。各カテゴリは20個の距離画像を持つ。撮影時には、それぞれの物体を平らな机の上に置き、斜め方向からXtionで距離画像を撮影した。



Fig. 4 chawan



Fig. 5 pot



Fig. 6 dispenser



Fig. 7 petbottle



Fig. 8 tokkuri

ペットボトルの撮影はラベルを剥がす前に行った。

4.1 実験手順

まず、前述したデータセットに対し平面除去を施し、物体のみを抽出する。その後、NDT及びHONVを用いて特徴記述を行い、算出した特徴量をSVMに入力すること

で識別率を求める。SVMのカーネルには、線形カーネル、RBFカーネル、HI (Histogram Intersection)カーネル、 χ^2 乗カーネルの4つを使用した。また各カーネルのパラメータは、総当たり探索により、最も高い識別率を示すものを用いた。

4.2 実験結果

前述した4つのカーネルにおけるNDT及びHONVを用いた識別実験結果をTable.1に示す。

Table.1 Recognition rate

recognition rate		SVM kernel			
		linear	RBF	HI	CHI2
descriptor	HONV	70%	86%	90%	53%
	NDT	85%	88%	90%	89%

これより、NDTを用いた特徴ベクトルは、HONVに比べてカーネル間の性能差が少なく、安定した識別が可能であること、また性能もHONVよりも同等かそれ以上であることを確認した。

また、NDTでは処理ボクセルの大きさを変えることで、分布を計算する点群の範囲を変化することができる。そこで解像度を変えて2種類のNDTを用いた特徴を計算し、それぞれの特徴ベクトル（方向ヒストグラム）を連結して新たな階層化された特徴ベクトルとした。2種類のNDTを用いた特徴量による識別結果を Table.2に示す。

Table 2 Recognition rate using hierarchal descriptor

recognition rate		SVM kernel			
		linear	RBF	HI	CHI2
hierarchy	single	85%	88%	90%	89%
	2 layers	85%	88%	90%	91%

このように、階層化された特徴ベクトルを用いることで、識別性能が若干向上することがわかる。

4. まとめ

本稿では、法線ベクトルを明示的に用いない新たな3次元点群に対する特徴ベクトルとして、

NDT の方向ヒストグラムを用いた特徴ベクトルを提案した。今後は、データセットを構成する距離画像数を増やし、提案手法の性能評価を再度行う予定である。

[1] F. Tombari, S. Salti, L. Di Stefano, "Unique Signatures of Histograms for Local Surface Description", 11th European Conference on Computer Vision (ECCV), 2010.

[2] F. Tombari, S. Salti, L. Di Stefano A Combined Texture-Shape Descriptor For Enhanced 3D Feature Matching. In Proceedings of the 18th International Conference on Image Processing (ICIP), 2011.

[3] S. Tang, X. Wang, X. Lv, T. X. Han, J. Keller, Z. He, M. Skubic, and S. Lao, "Histogram of oriented normal vectors for object recognition with a depth sensor", in The 11th Asian Conference on Computer Vision, pp.525-538, 2012.

[4] Peter Biber and Wolfgang Straber, The normal distributions transform: a new approach to laser scanmatching. In Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pages 2743–2748, 2003.

[5] 鄭 龍振, 倉爪 亮, 岩下 友美, 長谷川 勉, 大規模な 3 次元環境地図と RGB-D カメラを用いた移動ロボットの広域位置同定, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.10, pp.896-906, 2013