

# 基于激光成像雷达距离图像的目标提取与分类技术

黄涛<sup>1,2,3</sup>, 胡以华<sup>1,2,3\*</sup>, 赵钢<sup>3</sup>, 赵楠翔<sup>1,2,3</sup>, 瞿福琪<sup>1,2,3</sup>, 吴永华<sup>1,2,3</sup>

1. 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 安徽合肥 230037;
2. 安徽省电子制约技术重点实验室, 安徽合肥 230037;
3. 解放军电子工程学院, 安徽合肥 230037)

**摘要:** 激光雷达主动成像有别于各类被动成像的一个显著优势就是可以直接生成目标的距离图像, 与常规光学图像相比距离图像具有一些不同的统计特性, 当距离图像中存在多目标时统计直方图具有明显的多峰结构特征. 通过对距离图像统计直方图峰值的提取实现了对距离图像的目标提取, 利用最小外接矩形拟合及目标距离数据获取了目标的实际尺寸、矩形拟合度等信息, 并由此实现了对目标的分类. 运用该方法处理实际的距离图像, 达到了预期的目标.

**关键词:** 激光雷达; 距离图像; 直方图; 峰值检测; 最小外接矩形; 目标分类  
**中图分类号:** TN149 **文献标识码:** A

## Target extraction and classification base on imaging LADAR range image

HUANG Tao<sup>1,2,3</sup>, HU Yi-Hua<sup>1,2,3\*</sup>, ZHAO Gang<sup>3</sup>, ZHAO Nan-Xiang<sup>1,2,3</sup>,  
QU Fu-Qi<sup>1,2,3</sup>, WU Yong-Hua<sup>1,2,3</sup>

1. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China;
2. Key Laboratory of Electronic Restriction, Anhui Province, Hefei 230037, China
3. Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, Anhui, China)

**Abstract:** Active imaging LADAR (Laser Detection And Ranging) stands out from other passive imaging systems for its function of acquiring range image of targets. Compared with traditional optical image, range image has more particular statistical characteristics, it can obviously show multi-peak structures when multiple targets exist in the range image. Target Extraction of range image could be realized by extracting peaks of its stat-histogram; and targets could be classified by the size and rectangle degree obtained by the use of minimum enclosing rectangle. Processing a real range image by using this method has obtained the anticipated result.

**Key words:** LADAR; range image; histogram; peak detection; minimum enclosing rectangle; object classification  
**PACS:** 42.30.Sy

## 引言

激光成像雷达是将激光用于回波测距、定向, 并通过位置、物体反射特性识别目标, 体现了特殊的发射、扫描、接收和信号处理技术的装置. 当前对激光成像雷达目标分类、识别方面的工作起步时间不长, 国内外的学者在这方面已经做了一定的研究<sup>[1,2]</sup>, 但总的来说对于距离图像的目标分类、识别方面的研究相对较少. 由于距离图像所反映的是目标的几

何特征, 是目标的本质特征, 因此利用距离像进行目标分类、识别是激光成像雷达独有的手段, 也是其突出的优势.

目前对激光雷达距离图像的目标分类识别主要采取两类方法. 一类是直接利用距离图像的灰度变化信息, 用传统图像处理中的边缘检测等技术, 提取目标的轮廓<sup>[3]</sup>. 由于边缘检测往往形成断裂的轮廓, 需要复杂的后续操作才能得到所需的最终分割; 而在表面曲率不连续的地方, 采用这种方法检测不

收稿日期: 2010-03-22, 修回日期: 2010-09-29

基金项目: 国家自然科学基金(60672154)

作者简介: 黄涛(1983-), 男, 江西九江人, 硕士研究生, 主要从事激光遥感信息处理方面的研究工作, E-mail: tao\_online@163.com.

\* 通讯作者: E-mail: yh\_hu@263.net.

Received date: 2010-03-22, revised date: 2010-09-29

到边缘点,且后续措施无法弥补.另一类是将距离图像直接转换为具备空间 3 维坐标的点云,再通过模式识别的方法实现对点云目标的分类与识别<sup>[4]</sup>.这种方法虽然有较好的分类识别效果,但是算法复杂、耗时,满足不了实时性的需求.

本文通过对距离图像的深入分析,提出了一种距离图像目标提取的新方法,并实现了对距离图像的目标分类.该算法对目标的提取和分类效果较好,且运算量较小可以满足实时性的需求.

## 1 距离图像目标提取与分类步骤

本文所述的距离图像目标提取与分类算法的处理流程如下:

(1) 距离分层:利用距离图像统计直方图的多峰结构,将不同距离上的目标分割开来.对分层后的图像进行形态学滤波,可以降低噪声及杂乱小目标带来的影响.

(2) 最小外接矩形拟合:通过最小外接矩形拟合获取每个独立区域的最小外接矩形,并计算目标的矩形拟合度.结合距离图像的距离信息,可以得到最小外接矩形的真实尺寸,以及距离、质心高度等信息.

(3) 目标分类:由于一般的人造目标,如各类车辆,其尺寸有一定的范围,而且形状较为规整.因而可以通过最小外接矩形获取的目标信息,从众多目标中迅速筛选出感兴趣的目标区域,实现对目标的分类.

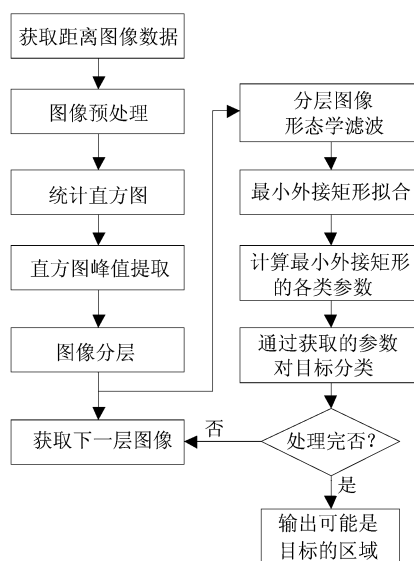


图 1 距离图像目标提取与分类流程图

Fig. 1 The flowchart of the target extraction and classification of range image

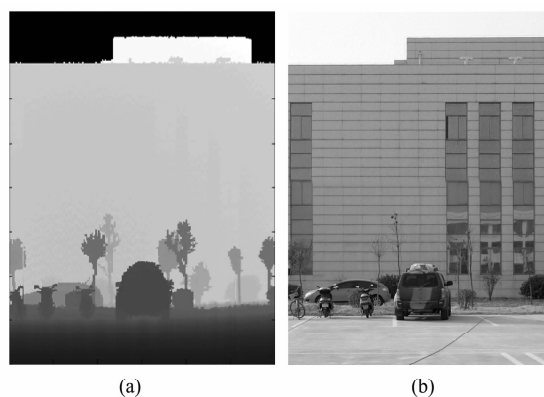


图 2 (a)激光雷达获取的距离图像 (b)对应的可见光图像  
Fig. 2 (a) Range image obtained by LADAR (b) corresponding visible-light image

## 2 距离图像特征分析及目标提取

### 2.1 距离图像统计特性

当激光成像系统获取的数据以二维图像表示时就是一幅距离图像,距离图像是一种记录空间深度的特殊图像,从它可直接得到目标的三维空间信息.图 2 就是一幅真实的激光雷达距离图像和对应的可见光图像,距离图像的灰度值代表了其不同的距离.

图 2 主要的目标为图中央的车辆(1 号车),背景为一建筑物,图中还有摩托车、自行车,以及一辆位于摩托车后的汽车(2 号车),以及灌木、树木等目标.

距离图像的统计特性同传统被动成像方式获取的图像有着非常大的差异.通常认为图像中存在目标和背景两种信息,对于常规的光学灰度图像来说,其统计直方图常呈现双峰形状,目标和背景的灰度值分别对应这两个峰.而距离图像的统计特性就不是这样的,同一目标上各点离观测点的距离相差较小,而不同目标上各点离观测点的距离的均值则可能相差较大,这样在统计直方图上就呈现多峰结构,每个峰可能对应一个或多个相同距离的目标<sup>[5]</sup>.

下图是图 2 中距离图像的直方图分布.其中,横坐标为距离,单位为 m;纵坐标为相对应距离的像素个数.

从图 3 中我们可以看出,距离图像的统计直方图产生了明显的多峰结构,不同距离位置上的目标在直方图上产生了不同的峰.

### 2.2 直方图峰值提取

如将直方图中象素频数值看作离散数列,可设  $P_i$  表示值为  $i$  的象素出现的频数,将  $P_i$  与  $P_{i+1}$ ,  $P_{i-1}$

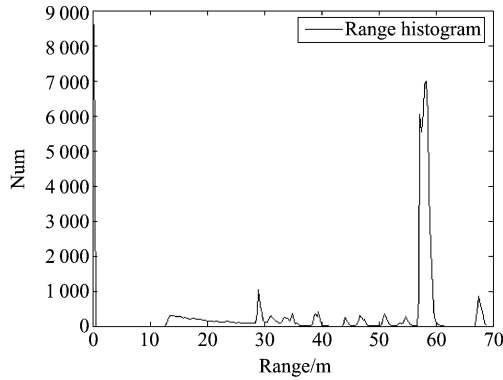


图3 距离图像的直方图  
Fig.3 Histogram of range image

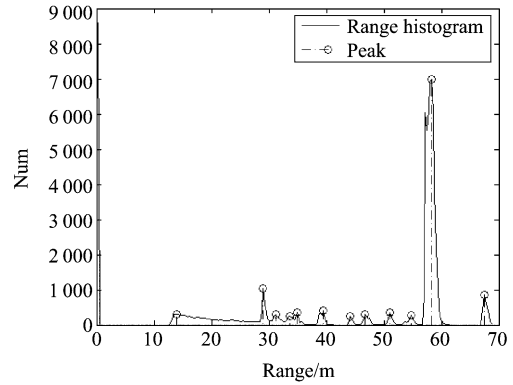


图4 距离直方图峰值检测结果  
Fig.4 Results of peak detection in range histogram

相比较可知:

- 若  $P_i < P_{i-1}$  且  $P_i < P_{i+1}$  则  $i$  是谷点;
- 若  $P_i > P_{i-1}$  且  $P_i > P_{i+1}$  则  $i$  是峰点.

这种认识在实际操作中显然有些粗糙,因为选出的峰点未必具有合理性,其中含有假峰点.为了在出现多峰情形及直方图存在噪声干扰的情况下判断峰点的合理性,可以定义用于峰值提取的“峰值评价函数”<sup>[6]</sup>.

在文献[6]所述的“峰值评价函数”基础上对其改进,使其更加适应距离图像的直方图峰值提取.首先选取一个距离门限,这个门限的大小依所需提取目标的尺寸而定,通常选取1~3m.在这个门限内寻找最大值点  $P_{max}$  和最小值点  $P_{min}$ ,将这个门限向直方图右端滑动,当新进入的数据值未超过  $P_{max}$  时可以认为  $P_{max}$  是峰值点.不过上述方法对于噪声的影响比较敏感,为了消除噪声的影响还应当进行进一步的改进.由于噪声的幅度变化一般相对较小,我们可以比较  $P_{max}$  和  $P_{min}$  的比值来确定  $P_{max}$  是否为峰值点,通常可以认为  $P_{max}$  大于  $P_{min}$  1.2~1.5 倍时为峰值点.由此可以定义“峰值评价函数” $P(i)$ :

$$P(i) = \begin{cases} 1, & P_i = P_{max} \text{ 且 } P_{max} > aP_{min}, \\ a \in (1.2 \sim 1.5) \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

式中,  $0 < i < L$ ,  $L$  为图像中最大距离值.

下图为该峰值检测方法对图3检测的结果.

### 2.3 距离图像目标提取

在确定直方图的峰值位置后,可以在峰值位置的前后设定一个距离门限,将一定距离范围内的目标提取出来.图5是利用该方法从图2中提取的汽车及摩托车的轮廓.

从图5中可以看出,通过距离分层可以有效的

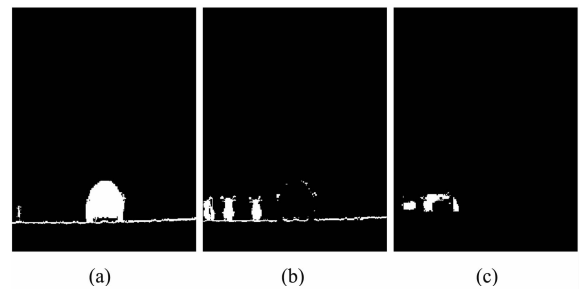


图5 从距离图像中提取的目标轮廓  
Fig.5 Objects contour extracted from range image

将目标从距离图像中提取出来,其中,a为1号车,b为摩托车,c为2号车.可以看出该方法对于1号车和摩托车这两组距离非常接近的目标能够有效的分割,也可以把2号车这样被部分遮挡的目标提取出来.从图5中可以看出,虽然目标已经被提取出来,但图像中的噪声及一些杂乱的小目标影响了对目标的识别,对此,我们通过形态学滤波<sup>[7]</sup>对获取的图像进行处理,可以得到平滑边缘的目标图像.

从图6中可以看出,经过了形态学滤波,有效的降低了噪声及杂乱小目标带来的影响.

通过实例可以看出,本方法能够有效地将不同

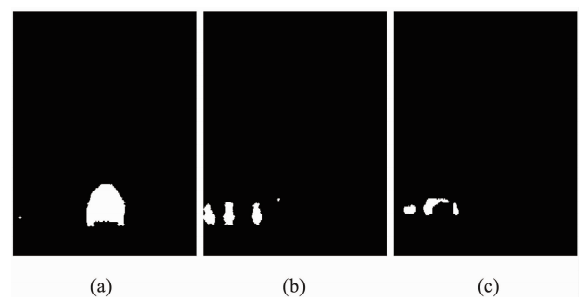


图6 经过形态学滤波处理的目标轮廓  
Fig.6 Objects contour filtered by morphological filter

距离平面上的目标分割开;而对于处在同一距离平面上的目标,由于其方位的差异,不同的目标将形成各自独立的轮廓,可见该方法能够有效的提取距离图像的目标。

### 3 最小外接矩形拟合与目标分类

#### 3.1 最小外接矩形拟合

对经过上述步骤处理的激光雷达距离图像,还需要进一步处理方能有效地从中寻找到感兴趣的目标.通过最小外接矩形来拟合各个分离的目标轮廓,通过最小外接矩形的尺寸来确定目标的大小,通过目标的矩形拟合度来分析目标的形状.由于距离图像特有的性质,可以通过距离图像直接获得目标的实际尺寸,以及距离、质心高度等信息.对于一般人造目标,如各类车辆,其尺寸有一定的范围,而且形状较为规整,因而通过该方法能够有效的将这些目标从距离图像中提取出来。

多边形的外接矩形一般有两种形式,其一是最小绑定矩形 (Minimum Bounding Rectangle, MBR),即以多边形顶点中的最大、最小坐标确定的矩形;其二是最小面积外接矩形 (Minimum Area Bounding Rectangle, MABR).根据应用背景,我们选用的是最小面积外接矩形。

实现 MABR 算法的方法有很多,最常用的一种方法是将物体在  $90^\circ$  内等间隔地旋转,每次记录其轮廓在坐标系方向上的外接矩形参数,通过计算外接矩形面积求取最小外接矩形<sup>[7]</sup>.此方法特点是算法实现方便、运算量相对较小,不足之处是精度相对较低,但就应用而言,该方法的精度能满足应用需求.在研究中,计算 MABR 算法的步骤如下:

第 1 步,对二值图像进行轮廓追踪,得到一系列封闭区域,计算每个封闭区域轮廓的外接矩形面积,

并记录外接矩形长度、宽度和面积;

第 2 步,将图像逆时针旋转  $3^\circ$ ,重复第 1 步;旋转 30 次后,转入第 3 步;

第 3 步,统计每次旋转后封闭区域的矩形面积,求取封闭区域的最小外接矩形,记录最小外接矩形的长度和宽度以及矩形拟合度;

第 4 步,根据距离信息,计算最小外接矩形长、宽的实际值。

表 1 为图 2 的距离图像经过上述计算后的部分数据,图 7 为最小外接矩形拟合的部分结果。

表 1 部分最小外接矩形拟合数据

Table 1 Data of minimum enclosing rectangle

序号	目标宽度/m	目标高度/m	矩形拟合度	目标距离/m	目标质心高度/m
3	1.87	2.06	0.739	29.02	1.43
5	0.56	1.15	0.696	31.35	0.61
6	0.61	1.25	0.686	30.78	0.59
7	0.51	1.15	0.717	31.07	0.63
14	0.63	0.88	0.777	35.48	0.35
26	0.71	1.78	0.558	39.50	1.82
28	0.86	0.66	0.792	44.95	0.45
29	1.88	1.15	0.486	44.87	0.61
30	0.39	0.93	0.714	44.73	0.41
38	0.73	2.40	0.426	51.06	2.02
50	17.7	16.0	0.778	58.31	9.24

#### 3.2 目标分类

在上述实验数据中,序号 3 为图 2 中所示 1 号车,序号 5~7 为图 2 中的摩托车和自行车,从数据中可以发现其测量的尺度符合正常的汽车、摩托车的尺度,矩形拟合度较高;序号 14 为低矮灌木,其特点为高度较矮,矩形拟合度较高、形状规整;序号 26、38 为路边树木,从中可以看出树木类目标高度较高,宽度较窄,矩形拟合度较低;序号 28~30 为 2 号车,由于汽车的轮廓被摩托车等目标分割开,使得

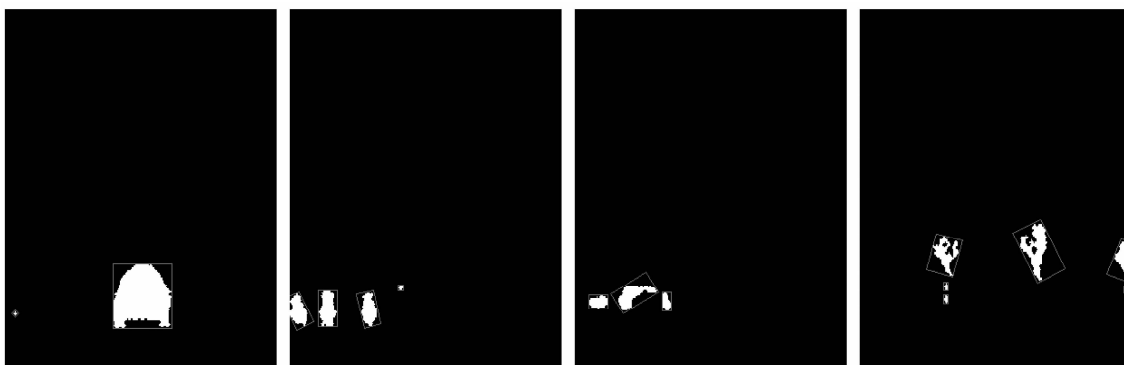


图 7 部分最小外接矩形拟合结果  
Fig. 7 Results of minimum enclosing rectangle

在分类时将其作为三个分离的目标;序号 50 为背景建筑,从中可以看出其特点为尺度较大,矩形拟合度较高。

从上面的数据中可以看出,不同种性质的目标在尺寸、长宽比、矩形拟合度等方面有着相当大的差别。据此,这些参数可以作为判别目标性质的依据,实现对不同目标的分类,可以从众多杂乱的目标中迅速寻找到感兴趣的目标。此外,目标的距离和质心高度也可以作为目标分类的依据。

对于图 2 的距离图像采用本方法处理,共提取出了 61 个独立区域,通过设定分类判决条件,从中检测出了 7 个可能是目标的区域,其中误检目标 2 个,正确率为 71.4%。

利用 MATLAB 语言在主频 2.40GHz、内存 512MB 的 PC 机上,用此方法处理本文所用数据耗时 28.420s。如果换用效率更高的编程语言和性能更好的硬件平台,将大幅减少处理时间,可以满足实时性需求。

#### 4 结论

通过对距离图像的深入分析,提出了对距离图像处理的新思路。通过对距离图像统计直方图峰值的提取实现了对距离图像的目标提取;利用最小外接矩形拟合获取了目标的实际尺寸、矩形拟合度等信息,实现了对目标的分类。

该方法适用于被侦察目标同探测器有明显距离差异的场合,如水平探测或斜视探测;而对于垂直俯视探测,由于被侦察目标基本处在同一距离平面内,

同探测器距离的差异较小,不易取得理想效果。

研究成果可以为激光成像雷达距离图像的人工判读提供帮助,也可以为今后进一步研究激光成像雷达的目标自动识别奠定基础。

#### REFERENCES

- [1] CHEN Xiao-Qing, MA Jun-Guo, ZHAO Hong-Zhong, *et al.* Survey of automatic target recognition technology for LADAR[J]. *Proc. of SPIE*, 2009, **7382**:73820K.
- [2] ZHAO Nan-Xiang, HU Yi-Hua, LEI Wu-Hu, *et al.* Small target imaging method based on the laser echo waveform analysis[J]. *Infrared and Laser Engineering* (赵楠翔, 胡以华, 雷武虎, 等. 激光回波波形分析小目标检测成像方法. *激光与红外工程*), 2009, **38**(4):748—752.
- [3] XU Jing-Zhong, WAN You-Chuan. An adaptive edge detection method for range image of light detection and ranging[J]. *Laser & Infrared* (徐景中, 万幼川. 一种机载激光雷达距离图像的自适应边缘检测方法. *激光与红外*), 2007, **37**(11):1226—1229.
- [4] Armbruster W. Exploiting range imagery techniques and applications[J]. *Proc. of SPIE*, 2009, **7382**:738203.
- [5] SHEN Yan, YANG Zhi-Qing. A hierarchical filtering algorithm for processing distance images[J]. *Journal of Xidian University* (沈严, 杨志卿. 距离图像的分层滤波处理算法. *西安电子科技大学学报(自然科学版)*), 2003, **30**(1):136—140.
- [6] REN Bin, WANG Bing-Quan, LUO Bin. Method of threshold and peak detection based on histogram exponent smoothing[J]. *China Journal of Image and Graphics* (任彬, 汪炳权, 罗斌. 基于直方图指数平滑的阈值和峰点自动检测方法. *中国图象图形学报*), 1997, **2**(4):230—233.
- [7] Rafael C G, Richard E W. *Digital image processing, Second Edition* [M]. Publishing house of electronics industry, 2003.