文章编号:1001-5078(2020)07-0803-05　　·激光应用技术·

一种基于激光三维成像雷达距离像的目标检测方法

黄明晶,蹇　渊,王雪梅,孟伟杰,马蒙蒙
(西南技术物理研究所,四川 成都 610047)

摘　要:为了提高激光三维成像雷达地面目标的检测效率,提出一种基于激光三维成像雷达距离像的目标检测方法。该方法首先采用基于邻域像素内检测距离反常算法对距离像进行噪声抑制预处理,然后采用基于形态学的地面估计和高程分割算法实现了距离像的地物分割,最后根据感兴趣目标的尺寸特征,采用最小外接矩形估计算法实现了感兴趣目标的快速检测。本文提出的方法充分利用了距离像的高程信息和目标已知的先验知识,不受二维图像中光照灰度变化对目标检测效果的影响以及处理三维海量点云数据对计算速率的影响。实验结果证明,本文提出的方法适用于复杂多变的战场环境下对地面目标进行快速检测,且满足了实时性要求。

关键词:激光三维雷达;距离像;形态学算法;最小外接矩形;目标检测
中图分类号:TN958.98　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2020.07.005

A target detection method based on lidar 3D range image

HUANG Ming-jing, JIAN Yuan, WANG Xue-mei, MENG Wei-jie, MA Meng-meng
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610047, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of target detection in LIDAR 3D range Image, it is proposed a target detection method based on lidar 3D range image. This method firstly restrain the noise for range image within abnormal distance detection algorithm in the neighborhood pixels, then the morphological ground estimation and height segmentation algorithm is used to complete the ground object segmentation of range image, finally according to the size characteristics of the interesting target, it gets the interesting target fleetly by Minimum Area Bounding Rectangle estimation algorithm. It makes full use of height information and prior information known to the target, the efficiency of target detection is unacted on variation of light intensity for 2D image, computing speed is unacted on processing 3D massive point cloud data. The results show the method is suitable for rapid ground target detection in the complex and varied battlefield environment.

Keywords: lidar 3D; range image; morphological algorithm; minimum area bounding rectangle; target detection

1　引　言

地面目标检测是空地探测、精确打击领域及自动目标识别技术中的重要研究内容。激光三维成像雷达的波束较窄、方向性好,其获取的三维距离像反映了目标最本质的尺寸信息,能够充分利用先验信息,是地面场景下检测目标的有效手段,也是其突出的优势[1-3]。

随着激光探测技术的不断发展,近年来激光三维成像雷达地面目标检测技术受到大量学者的关注。目前对激光三维成像雷达地面目标检测主要有

作者简介:黄明晶(1986-),女,硕士研究生,现主要从事图像处理与目标检测,激光三维成像目标识别等算法设计与仿真工作。E-mail:hmjlibra@163.com
收稿日期:2019-09-12

两类:一类是直接估算激光三维雷达点云几何属性,根据不同目标点云特征差异来实现对点云目标的检测[4-5],这类方法通常计算量较大且几何属性估算的准确性直接影响了目标提取结果的准确性;一类是将三维点云映射到二维坐标中生成距离像,利用传统二维图像中的目标检测技术来提取目标[6-7],这类方法是根据距离像的伪灰度变化信息,利用边缘检测和图像分割算法提取目标的轮廓,但对表面曲率不连续的目标检测不到边缘点,无法得到有效轮廓信息且后续无法弥补。

本文根据激光三维成像雷达获取的地面目标距离像的特点,提出了一种基于激光三维成像雷达距离像的目标检测方法,实现了对地面坦克目标的准确提取,该方法对坦克目标的检测效果较好,且运算量较小可以满足实时性的要求。

2 距离像预处理

为了抑制激光三维成像雷达距离像出现的距离反常噪声现象,同时又较好地保护目标细节信息[8],本文采用基于邻域像素内检测距离反常来对距离像进行降噪处理。根据检测目标的大小设置一个距离判断阈值 T,统计当前像素与其邻域内的其他像素距离差在 T 内的数量 N,设置数量判断与之 TN,通过这个数量来判断其是否为距离反常像素。具体算法步骤如下:

1)设置 T 和 $TN_5=5$,在 5×5 邻域内对当前像素进行检测,得到在距离判断阈值 T 范围内的数量 N_5。

$$N_5(P_{i,j}) = \mathrm{count}(P^5_{m,n} - P_{i,j}) \leqslant T \tag{1}$$

其中,$P_{i,j}$为当前像素;$P^5_{m,n}$为 5×5 邻域内除 $P_{i,j}$外的像素;count(·)为计数程序。

2)比较当前像素数量,判断是否为距离反常像素。

$$P_{i,j} \in \begin{cases} \text{正常 } N_5(P_{i,j}) \geqslant TN_5 \\ \text{异常 } N_5(P_{i,j}) < TN_5 \end{cases} \tag{2}$$

3)若 $P_{i,j}$是正常像素,则保持原值不变,处理下一个像素;若是距离反常像素,则在 7×7 邻域内对当前像素进行阈值检测,统计在阈值范围内的邻域像素数量,然后转至4)。

$$P_{i,j} = \begin{cases} P_{i,j} & P_{i,j} \in \text{正常} \\ N_7(P_{i,j}) = \mathrm{count}(P^7_{m,n} - P_{i,j}) \leqslant T & P_{i,j} \in \text{异常} \end{cases} \tag{3}$$

4)设置 $TN_7=7$,对 7×7 邻域内像素的检测结果进行判断。

$$P_{i,j} \in \begin{cases} \text{正常 } N_7(P_{i,j}) \geqslant TN_7 \\ \text{异常 } N_7(P_{i,j}) < TN_7 \end{cases} \tag{4}$$

5)若 $P_{i,j}$是正常像素,则保持原值不变;若是距离反常像素,则在 9×9 邻域内对当前像素进行阈值检测,统计在阈值范围内的邻域像素数量,然后转至6)。

$$P_{i,j} = \begin{cases} P_{i,j} & P_{i,j} \in \text{正常} \\ N_9(P_{i,j}) = \mathrm{count}(P^9_{m,n} - P_{i,j}) \leqslant T & P_{i,j} \in \text{异常} \end{cases} \tag{5}$$

6)设置 $TN_9=9$,对 9×9 邻域内像素的检测结果进行判断。

$$P_{i,j} \in \begin{cases} \text{正常 } N_9(P_{i,j}) \geqslant TN_9 \\ \text{异常 } N_9(P_{i,j}) < TN_9 \end{cases} \tag{6}$$

7)若 $P_{i,j}$为正常像素时,保持原值不变,处理下一个像素;当 $P_{i,j}$为距离反常像素时,取其 9×9 邻域内的中值代替当前像素。

$$P_{i,j} = \begin{cases} P_{i,j} & P_{i,j} \in \text{正常} \\ \mathrm{median}(P^9_{m,n}) & P_{i,j} \in \text{可能反常} \end{cases} \tag{7}$$

其中,median(·)为取中值运算。

3 距离像目标检测

3.1 基于形态学的地面估计和高程分割

形态学图像处理是图像处理技术中一项有力的工具,基本的二值形态学运算有以下四种:腐蚀、膨胀、开运算、闭运算。腐蚀和膨胀运算是在结构元素定义的邻域内选择图像像素值和结构元素作用后的最小或最大像素值。开运算和闭运算实际上是腐蚀和膨胀操作非常简单的组合,开运算一般使对象的轮廓变得光滑,断开狭窄的间断和消除细的突出物,开运算最明显的效果是消除大于邻域内点的孤立异常值;闭运算同样使轮廓线更为光滑,但与开运算相反的是,它通常消弥狭窄的间断和长细的鸿沟,消除小的空洞,并填补轮廓线中的断裂,闭运算最明显的效果是消除值小于邻域内的点的孤立异常值[9]。

下面以图1中的坦克目标为例,对基于形态学的DEM估计和高程分割的步骤进行分析,坦克目标的激光三维成像雷达距离像如图1所示。

1)根据坦克目标在距离像上的投影,选取合适

的结构元素窗口大小,对图 1 的距离像 I_1 做地面估计运算得到地面图像 I_2 如图 2 所示。

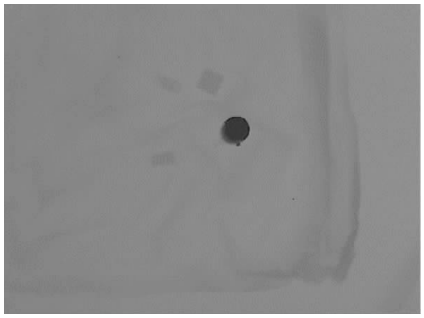

图 1　激光三维成像雷达距离像

Fig. 1 LIDAR 3D range image

图 2　提取的地面图像

Fig. 2 Extracted ground image

2)将原距离像 I_1 和地面图 I_2 进行差值运算并绝对值,得到差值图 I_3 如图 3 所示。

$$I_3(i,j) = |I_1(i,j) - I_2(i,j)| \tag{8}$$

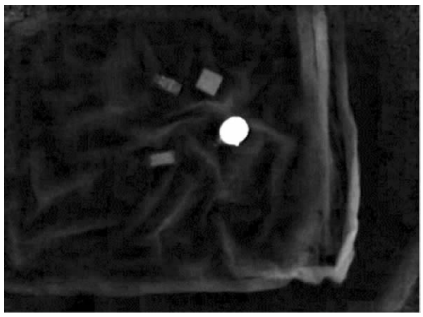

图 3　距离像与地面差值后的差值图

Fig. 3 Difference image by subtracting range image with ground image

3)设置高程阈值 T_1 和 T_2,对差值图 I_3 进行分割得到分割后的高程图 I_4 如图 4 所示,对比图 3 能够容易的发现图 4 中地面上的大量线状部分已被去除。为了进一步获得较为精确的坦克目标,我们在下一节中对图 4 中的坦克目标进行检测处理。

$$I_4(i,j) = \begin{cases} 1 & T_1 < I_3(i,j) < T_2 \\ 0 & I_3(i,j) \leqslant T_1 \text{ 或 } I_3(i,j) \geqslant T_2 \end{cases} \tag{9}$$

图 4　分割后的高程图

Fig. 3 Segmented height image

3.2　基于最小外接矩形估计的目标检测

最小外接矩形估计方法其基本思想是先计算所有数据点的最小多边形凸包,然后根据其最小外接矩形必然有一条边与最小多边形凸包相重合的理论,计算最小多边形每条边情况下的外接矩形面积,取面积最小者对应的矩形即为这些数据点对应的最小外接矩形 MABR[10-11]。图 5 给出了多边形凸包、外接矩形和最小外接矩形的空间分布关系图。

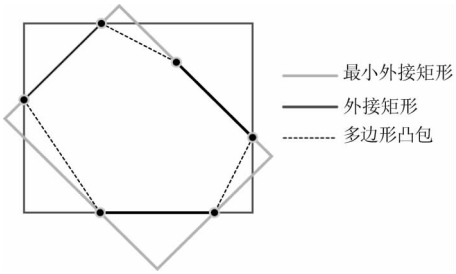

图 5　多边形凸包、外接矩形和最小外接矩形的空间分布关系图

Fig. 5 Spatial distribution diagram of polygon convex hull, Bounding Rectangle, Minimum Area Bounding Rectangle

通过上几节处理后的激光三维成像雷达距离像,还需要通过其轮廓分析对坦克目标进行描述。具体实现步骤如下:

1)经图像分割后对二值图像进行轮廓追踪,先计算出目标轮廓对应的凸包,链接目标的凸包得到一系列的封闭区域。设目标凸包的坐标点集合为 $C = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \cdots, (x_n, y_n)\}$,以 (x_1, y_1) 为起点,按照顺时针方向环绕轮廓一圈得到的坐标点形式表示。计算全部四个多边形的端点,记为 $D_{xmin}, D_{xmax}, D_{ymin}, D_{ymax}$。

2)通过四个点构造 D 的四条切线,如果一条或两条线与一条边重合,那么计算由四条线决定的外接矩形的长度、宽度、面积和姿态等信息,并保存为当前最小值,否则将当前最小值记为无穷大。

3)顺时针旋转线直到其中一条和多边形的一条边重合,计算新矩形的面积,并且和当前最小值比较。如果小于当前最小值则更新,并保存确定最小值的矩形信息。

4)重复步骤 3,直到线旋转过的角度大于 90°,输出外接矩形的最小面积及其长度、宽度和姿态等信息。

5)根据找到的每个区域的最小外接矩形,统计出每个区域的长宽、面积、质心等信息,另根据激光三维成像雷达的探测视角及探测距离和坦克的实际尺寸信息,计算出坦克目标在距离像上投影的高程和长宽信息等,据此以这些参数可以作为判别目标性质的依据,从而可以从众多目标中迅速检测出坦克目标。

对图 4 中分割出的目标进行处理,从图 6 的结果可以看出,可以准确的检测出距离像中满足尺寸要求的坦克目标。

图 6 采用最小外接矩形估计检测的坦克目标

Fig. 6 The detected tank target by Minimum Area Bounding Rectangle estimation

4 方法总结与仿真结果

通过上几节的介绍,我们将本文提出的方法总结为如下:

1)对激光三维成像雷达距离像 I 进行预处理得到去噪后的距离像 I_1;

2)选取合适的结构元素窗口大小,利用形态学的方法估算场景中的地平面获得地面图像 I_2;

3)设置高程阈值 T_1 和 T_2,并根据式(6)构造差值图像矩阵 I_3,计算 I_3 中的每个点的高程值,剔除小于 T_1 和 T_2 大于的点,剩下的点即为坦克目标及干扰目标。

4)计算每个目标的最小外接矩形获得每个目标的长宽、面积、质心等信息集合 C,计算坦克目标在距离像上投影的高程和长宽信息等,以这些参数可以从众多目标中迅速检测出坦克目标。

使用上述方法对激光三维成像雷达距离像(1)~(4)进行处理,处理前后的结果如图 7 所示。(a)列为原始距离像,(b)列为高程图,(c)列为处理后的距离像,矩形框的部分为检测出的坦克目标。

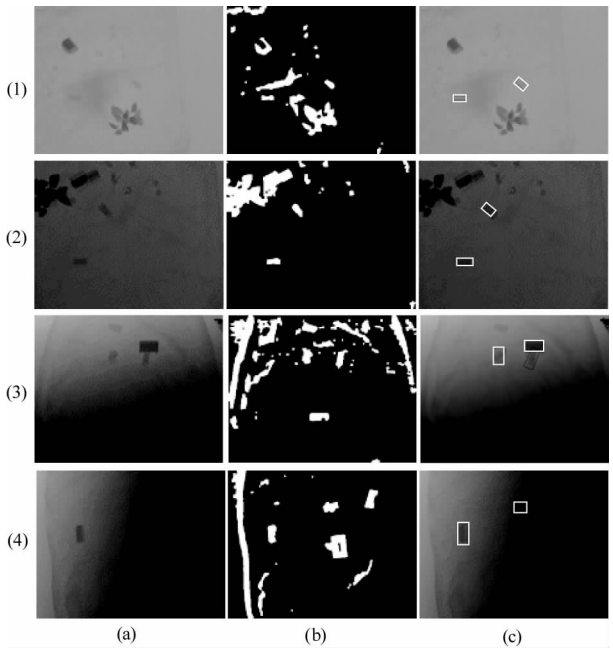

图 7 本文方法仿真结果

Fig. 7 Simulation results of this method

从上述实验结果上可以直观的看出,能够从建筑物、植物、山坡中有效地检测出坦克目标。图 1(c)~2(c)中平地和山坡上的坦克目标都检测到,图 3(c)中可以看出有小部分遮挡时的坦克目标也能被检测到,图 4(c)中被大部分遮挡时的坦克目标无法检测到,矩形框标记的指挥车被误检。

5 结 论

通过对激光三维成像雷达获取的地面目标距离像分析,本文所提出的是一种基于激光三维成像雷达距离像的目标检测方法,不需要处理海量点云数据集,从而能够快速有效地检测出坦克目标,满足实时性需求。该方法对于垂直俯视或斜视探测下有明显距离差异的目标场景,易取得较好的效果,满足了激光三维成像雷达对地面目标检测的要求。但由于本文所采集的距离像数据集中坦克目标的炮筒成像效果较差,无法准确提取坦克炮筒特征,对于与坦克长宽高尺寸差异较小的相似目标(如运兵车、指挥车等)其检测效果可能会存在一定的误差,从而值得进一步研究。

参考文献:

[1] Zhang Jian, Zhang Lei, Zeng Fei, et al. Development status of airbone 3D imaging lidar systems[J]. Chinese Optics, 2011, 4(3): 213 ~ 232. (in Chinese)
张健,张雷,曾飞,等. 机载激光 3D 探测成像系统的发展现状[J]. 中国光学,2011,4(3):213 ~ 232.

[2] Yue Juan. Research on key technologies of laser 3D imaging[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics Chinese Academy of Sciences, 2017. (in Chinese)
岳娟. 激光三维成像关键技术研究[D]. 上海:中国科学院上海技术物理研究所,2017.

[3] Ma Chaojie, Xu Pengcheng, Wu Dan, et al. Application of imaging laser radar in automatic target recognition[J]. Aero Weaponry, 2008, (4): 3 - 6. (in Chinese)
马超杰,许鹏程,吴丹等. 成像激光雷达在自动目标识别中的应用[J]. 航空兵器,2008,(4):3 - 6.

[4] Sampath A, Shan J. Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LiDAR point clouds [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(3): 1554 - 1567.

[5] Kong D M, Xu L J, Li X L, et al. K-plane-based classification of airborne LiDAR data for accurate building roof measurement[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2014, 63(5): 1200 - 1214.

[6] Xu Jingzhong, Wan Youchuan. An adaptive edge detection method for range image of light detection and ranging[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(11): 1226 - 1229. (in Chinese)
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.

[7] Yu Jiaqi, Yang Shuxing, Zhu Boli. Target extraction base on range image from missile-borne imaging LADAR[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2016, 36 (12): 1279 - 1282. (in Chinese)
于加其,杨树兴,朱伯立. 弹载激光成像雷达距离像的目标提取技术[J]. 北京理工大学学报,2016,36(12):1279 - 1282.

[8] Zhao Mingbo. Research on ground obscured target detection for imaging laser radar[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2013. (in Chinese)
赵明波. 激光成像雷达地面遮蔽目标检测方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2013.

[9] Rafael C G, Richard E W. Digital image processing[M]. 2nd. ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.

[10] Huang Tao, Hu Yihua, Zhao Gang, et al. Target extraction and classification base on imaging LADAR range image [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2011, 30 (2): 179 - 183. (in Chinese)
黄涛,胡以华,赵刚,等. 基于激光成像雷达距离像的目标提取与分类技术[J]. 红外与毫米波学报,2011,30(2):179 - 183.

[11] Liu Na, Sun Xiaoliang, Tan Yihua. Polygon fitting algorithm based on minimum bounding rectangle[J]. Computer Science, 2017, 44(6): 294 - 298. (in Chinese)
柳娜,孙晓亮,谭毅华. 基于最小外接矩形的直角多边形拟合算法[J]. 计算机科学,2017,44(6):294 - 298.