

文章编号:1001-9081(2016)04-1132-05

DOI:10.11772/j.issn.1001-9081.2016.04.1132

野外环境下图像中坑区域的提取方法

孟令江^{1,2*}, 王挺¹, 姚辰¹

(1. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 沈阳 110000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

(*通信作者电子邮箱 menglingjiang@sia.cn)

摘要:在野外环境中有很多坑区域,这对野外工作机器人的移动带来了困难,因此引入视觉方法来实现对坑的检测。首先根据工程要求去除掉一部分不满足大小的疑似区域,再利用坑区域边缘梯度去除掉一部分疑似区域,之后计算与椭圆相似度来确定灰度分割阈值,并通过分析坑与椭圆相似度曲线来确定相似度阈值,以从疑似区域中分离出坑区域。经过使用 200 幅不同角度、场景和坑数量的图像进行测试,结果表明该方法能够在复杂野外环境下很好地提取出坑区域,对坑轮廓的规整度不敏感,能够适应复杂的环境,是一种有效的方法。

关键词:坑区域; 阈值分割; 直方图; 梯度; 椭圆相似度

中图分类号:TP751.1 **文献标志码:**A

Image segmentation method of pit area in wild environment

MENG Lingjiang^{1,2*}, WANG Ting¹, YAO Chen¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang Liaoning 110000, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: It is difficult for robot to move in wild environment because of pit areas, so a visual coping method was put forward to detect those pit areas. Firstly, according to project requirements, a part of suspected areas with small size were removed, as well as some the suspected areas with edge gradient. Secondly, the oval similarity was calculated to determine gray level segmentation threshold, and the similarity threshold was confirmed by analyzing the oval similarity curve, which was used to separate pit areas from the suspected pit areas. At last, the simulation results on 200 pictures with different angles, scenes and pit numbers show that the proposed method can be applied to extract pit area in complex environment, and is also not sensitive to outline regularity of pit area, besides, it can adapt to complex environment.

Key words: pit area; threshold segmentation; histogram; gradient; oval similarity

0 引言

野外环境中经常有很多坑区域,这对野外工作的机器设备的移动带来很大的不便。通常用到的红外、激光扫描方法对平整地面和凸起物有较好的检测效果,但对地面凹陷区域尤其是坑的检测效果很不理想,所以引入视觉方法来实现对坑的检测。野外环境通常非常复杂,坑的特征很难提取,考虑到野外自然坑通常与圆形很接近,边缘梯度变化也有一定规律,所以本文利用这一特性进行深入分析来实现坑区域的提取。

图像分割方法主要分为三类^[1]: 阈值分割、区域分割和边缘分割。由于区域分割通常涉及到区域生长算法、边缘分割涉及到边缘提取算法,所以区域分割和边缘分割在运行时间上要长于阈值分割并且算法复杂^[2],因此本文所使用的算法是基于阈值分割的。经典的阈值分割算法有大津法和最大熵阈值分割法等。大津法^[3-5]的基本原理是用最佳阈值将图像的灰度直方图分割成两部分,使两部分的方差取得最大值。熵是信息论中事件出现不确定性的量度,能有效地反映事件包含的信息,熵大的地方,图像灰度相对均匀,熵小的地方,灰

度离散型较大,所以最大熵分割法^[6]利用熵的原理,根据图像的最大化熵把灰度相对均匀的目标分割出来。

然而上述这些方法都是建立在使待分割的两部分灰度差异最大的思路上进行的,并不是针对某一特征物,比如本文的特征物是指近似椭圆形的坑区域,所以对具有这种特征的区域物体的分割效果并不理想。野外环境下的自然坑近似于圆,通常对图像中圆的确定算法有霍夫变换法和几何特征提取法等^[7-8],但这些方法对圆边缘规整性要求较高,野外环境坑的边缘很难达到这样的高规整性。为此,本文提出一种计算椭圆相似度的方法,该方法对圆边缘规整性要求不敏感,并通过计算椭圆相似度的方法来确定图像最后的分割阈值,这便将阈值分割和图像中椭圆形特征物联系了起来,再结合工程要求、坑边缘梯度变化规律和进一步研究椭圆相似性曲线来排除掉非坑区域。

1 图像预处理

由摄像机捕获到的图像是彩色图像,如果直接使用会使计算量成倍增加,所以前期应作一些处理。首先要将彩色图像变为灰度图;其次因为野外环境中细小物很多,会产生很多

收稿日期:2015-08-31;修回日期:2015-11-16。

作者简介:孟令江(1983—),男,内蒙古包头人,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉; 王挺(1978—),男,辽宁沈阳人,副研究员,博士,主要研究方向:机器人控制、特种机器人、模式识别、智能系统; 姚辰(1964—),男,辽宁沈阳人,研究员,博士,主要研究方向:机器人控制、特种机器人。

图像干扰,基于中值滤波对颗粒干扰的良好滤波特性,使用中值滤波来进行过滤;最后对图像进行闭运算,主要是填充闭合区域中空的部分。部分原始图像和预处理后的图像如图1所示。本文所有程序均在Matlab软件上实现,图像分辨率为 280×220 。

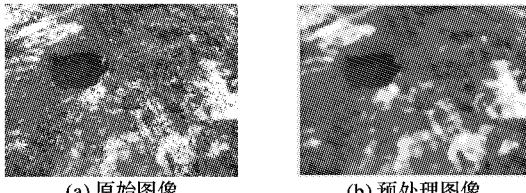


图1 部分原始图像和预处理后图像

2 图像分割

程序以灰度阈值50为起点阈值(在这里50既是分割阈值循环的起始值,也是图像实际阈值低于50时的分割阈值)。以灰度直方图中最高峰所对应的横坐标(这里将其定义为变量n)为终点阈值建立循环,每一次循环就是在一个阈值下的处理过程。作为循环的起始值,图像的分割阈值应该从灰度最低阈值0开始取,但在实际运行过程中发现,图像分割阈值取到低于50的情况非常少,即使有,取50对于图像的分割也完全可以满足要求,而且此值取得太低会增加程序的运行时间。所以综合考虑,在满足程序正常功能的情况下,为了减少程序运行时间,根据实际运行情况经验的总结,此值取为50)。在每一次循环中根据工程需要、边缘梯度变化,计算每个区域椭圆相似度来提取出来疑似坑区域。在循环结束后,会得到一条对应所有阈值的椭圆相似度曲线,在该曲线中找到相似度最大值对应的那个阈值,这就是要找的最终的分割阈值,最后再通过分析相似度曲线去除掉可能的非坑区域。具体流程如图2所示,流程图中的阈值10在确定相似度阈值和实验结果部分会进行解释。

当图片环境比较简单,即图片中主要是以坑为主时,坑的平均灰度级主要会分布于直方图最高峰所对应的横轴坐标值周围;当坑比较浅时,坑中心的灰度级会高于此横坐标值,坑边缘的灰度级会低于此横坐标值;而当坑比较深时,情况正好相反,但坑边缘和坑内的灰度级会在此横坐标值的两边进行分布,所以阈值取值不能取超过此横坐标的值,因为取此值会将坑的信息全部抹除掉或者大部分抹除掉。当图片环境比较复杂,即坑区域只占一小部分,剩下的大部分区域都为背景区域时,坑的灰度级会完全分布在此横坐标值左侧。所以阈值应选在直方图山峰的左侧^[10-12]。图3为一幅图像的直方图,图中山峰位置的横坐标为102,则实际阈值就在50到102范围内选取。

2.1 确定区域大小

令上一步得到图像灰度直方图中最高峰所对应的横坐标为n;从50开始到n建立循环,设变量为i并令其以递增1的方式变化,使用i作为阈值将图像进行分割。此时,会得到图中在此阈值下的很多分割区域。因为本文最后所得结果要应用在双目摄像机上继续处理,所以事先需要按照双目摄像机的参数和应用情况来看计算出筛选区域的大小,过小区域要在所有分割区域中剔除掉。首先利用双目三角形相似原理可得式(1):

$$z = \frac{fb}{x^i - x^r} = \frac{fb}{d} \quad (1)$$

其中:b是两相机的基线长度,单位是mm;f为摄像机焦距,单位是像素;d为像素视差,单位为像素。根据双目摄像机标定结果,这里f取为429,d为80,z为实际测量距离。实际中认为在成像平面上至少需要6个像素才能分辨出坑,于是令d=6,根据式(1)可以得出z=5720,这是相机可以测的最远距离。在实际中,假定允许坑宽度的最小长度是200 mm,于是根据公式 $5720/429 = 200/x$,可得 $x=15$,单位是像素,则x即为目标坑直径的最小像素长度15。如果坑的边缘长宽分别是都是15个像素,还要注意相机并不是在坑的正上方而是在侧面拍摄,所以必然在成像平面上产生了像素长度变化。这里相机的视场角为 28° ,因为坑是在相机视平线以下的,所以取视场

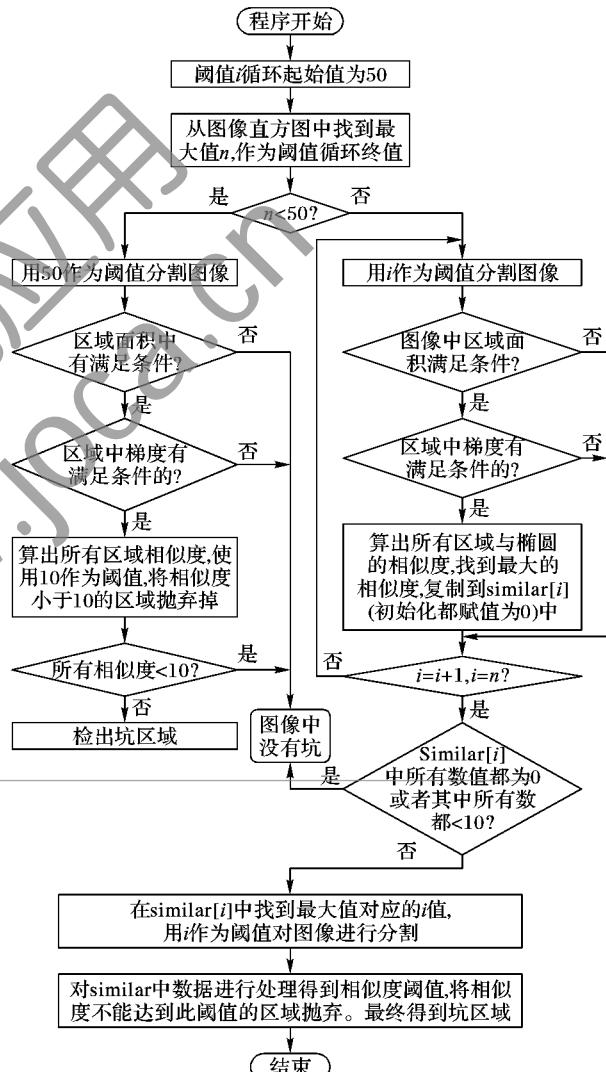


图2 本文处理方法总流程

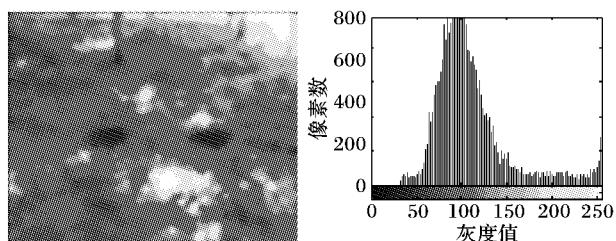


图3 一幅图像及其直方图

角的一半参与运算,根据公式 $\tan 14 = x/15$ 得出 $x \approx 4$, 此值表示坑区域最小高度是 4 个像素。因此最后在区域处理上应该抛弃掉宽度为 15 个像素,高度为 4 个像素以下的区域。此外,坑区域在成像上的高度像素数不可能多于宽度像素数,所以还要去除高度像素数多于宽度像素数的区域。

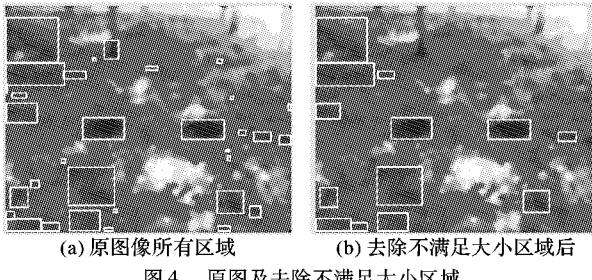


图 4 原图及去除不满足大小区域

2.2 根据梯度选择区域

坑区域灰度的变化一般情况下是从坑边缘到坑内侧由高到低的,但对于某些坑区域而言此特征只在坑边缘处才有,在进入这些坑内部某一个程度时灰度会不断减小,但进入到中心时,灰度反而会升高,如图 5 所示。

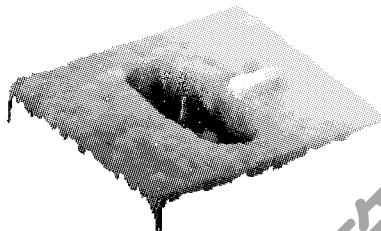


图 5 坑中心灰度值高于坑内其他区域灰度图

对于这种情况,从坑边缘进入坑内部时,相应的灰度梯度的变化是由大到小的,而在到达中心时,梯度会成为负数。所以综合考虑,本文只计算从坑的边缘到内部一定的程度。为简化程序运算复杂度,梯度计算采用矩形区域的方式来计算。把每一个坑疑似区域由内到外分为 5 个长方形区块,每个区块 k 列起始设为 $colStart$,列终值设为 $colEnd$,行起始设为 $rowStart$,行终值设为 $rowEnd$,每个像素的灰度值为 $X(i, j)$,则每个区域(包括内层区域)总像素值 sum_k 为:

$$sum_k = \sum_{i=rowStart}^{rowEnd} \sum_{j=colStart}^{colEnd} X(i, j) \quad (2)$$

接着,令 $k = 5 \rightarrow 2$,使得 $sum_k = sum_k - sum_{k-1}$ 。得到每一个区域的总灰度值,再通过式(3)计算出每个区域(包括内层区域)像素点个数:

$$N_k = ((colEnd - colStart) * (rowEnd - rowStart))_k \quad (3)$$

然后,令 $k = 5 \rightarrow 2$,使得 $N_k = N_k - N_{k-1}$,最后令 $zero_k = sum_k/N_k$,得到每个区域的平均灰度值,此时各个区域平均灰度可以构成一条曲线。从最外层向内递进三层,相应地认为由这三层产生的两个梯度值都为负数的区域是所要的区域,只要有一个为正数则认为是要被去掉的区域。具体过程如图 6 所示:图 6(a)给出的是第一个区域(左图中用方框标出),图 6(b)给出的是在第一个区域后生成的第二个区域(在图 6(a)左图基础上标出的第二个方框),图 6(c)给出的是在前两个区域后生成的第三个区域(在图 6(b)左图基础上标出的第三个方框)。显然图 6(c)不符合要求,要抛弃掉。以此类推,对每个区域进行边缘灰度变化检验。经过此步骤后运行

结果如图 7 所示(其中画叉号的为剔除区域)。

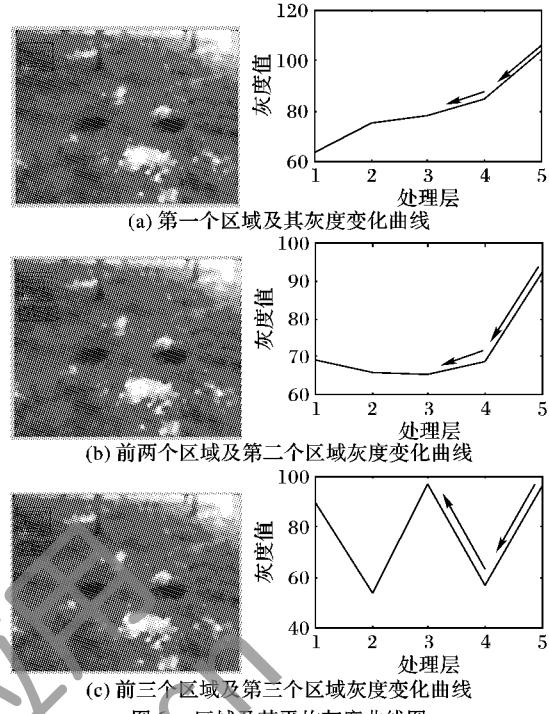


图 6 区域及其平均灰度曲线图

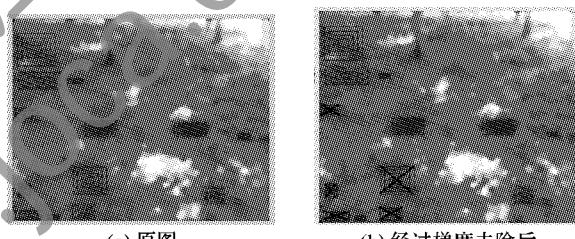


图 7 原图和剔除梯度不符合区域图像

2.3 计算椭圆相似度

因为此步骤要使用由上一步提取出来的疑似坑区域轮廓上的点,所以首先要把这些区域的轮廓提取出来。为了减少计算量,从轮廓中按照等间隔提取出 20 个点 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_{20}, Y_{20})$ 参加运算。之后取各区域的重心坐标 (X_0, Y_0) ,根据式(4)和(5):

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2} \quad (4)$$

$$mean = (\sum_{i=1}^{20} d_i)/20 \quad (5)$$

计算出椭圆各点到质心距离 d_i 和质心距离的平均值 $mean$ 。然后,再通过式(6)~(7)计算出各点到平均距离的值

$$dis_i = abs(d_i - mean) \quad (6)$$

$$meanl = (\sum_{i=1}^{20} dis_i)/20 \quad (7)$$

最后,通过式(8)计算得到区域轮廓与椭圆的相似度:

$$similarity = mean / meanl \quad (8)$$

$similarity$ 值越大,越接近椭圆。对于每个阈值分割下的每个区域都会算出一个相似度,所以每个阈值下都会有很多相似度值。从中取出最大的一个值作为此阈值下的相似度,以此类推,能够得到每个阈值对应的一个相似度,此时把所有阈值相似度汇总便可以得到图像的相似度曲线。图 8 给出了一幅图像在阈值为 72 下的疑似区域、对应的相似度列表和相似度曲线。从表 1 可看出,最大相似度值为 15.1751,将此值作为阈值

为 72 的相似度。从相似度曲线图中可以看出:当横坐标为 20 时相似度取得最大,由于程序原因,这里 x 轴实际是从 50 开始的,所以实际分割阈值是 $50 + 20 = 70$ 。

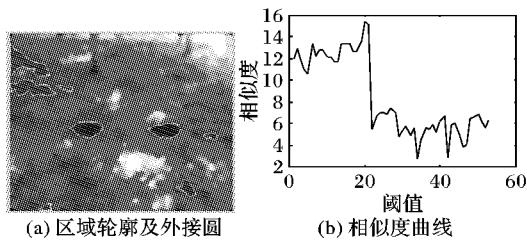


图 8 区域轮廓及外接椭圆及此图相似度曲线

表 1 各区域椭圆相似度

区域	相似度	区域	相似度
1	2.9806	5	15.1751
2	3.3057	6	5.6245
3	3.8767	7	4.4642
4	11.2986	8	6.1328

3 确定相似度阈值

因为在实际运行中会有这样的情况:图中有多个坑区域和非坑区域,它们的相似度都很高,要想办法尽量去除掉非坑区域保留坑区域。通过相似度曲线可以发现,这些高相似度的区域都有着波峰的形式,但坑区域所对应的峰之间相距比较近,坑与非坑所对应的峰之间距离较远,于是可以通过计算平均离散度并将其作为距离阈值,进一步来划分开坑与非坑区域。设 X_i 表示相似度, i 取 0 到各个图像灰度直方图的最大值 n ,首先利用式(9)得到平均相似度:

$$\text{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n X_i \quad (9)$$

之后利用式(10)得到每个相似度到平均相似度的距离,即离散度:

$$d_i = X_i - \text{mean} \quad (10)$$

再用式(11)求出平均离散度 d :

$$d = \sum_{i=0}^n d_i \quad (11)$$

本文规定低于相似度 10 的区域无论如何都不会是坑,这个数值来源于大量图像测试的经验。对于相似度大于 10 的所有区域,按照如下方式来保留集合:如果 $|X_i - X_{i-1}| \leq d$,则认为 X_i 与 X_{i-1} 是同一集合元素;如果 $|X_i - X_{i-1}| > d$ 则认为是不同集合。以此类推得到所有保留集合。最后,在所有保留的集合中找到最小值,将此值作为相似度阈值,如果此值小于 10,则 10 仍然作为相似度阈值来划分坑与非坑区域;如果此值大于 10,则替换 10 作为新的相似度阈值来区分坑与非坑区域。利用此值可以尽可能保留坑区域和去除非坑区域。图 9 给出图例,虚线方框为保留区域集合。

4 实验结果

一幅图片各步骤进行的结果如图 10 所示。

对 100 幅含有坑图像进行实际测试,使用软件 Matlab,图像的分辨率为 280×220 ,使用图像情况如表 2 所示。检测结果:图像检测成功率 91%,完全检测成功率 80%。检测成功率表示图像中坑虽然可以被检测出来,但是存在着如果图像中有多个坑时仍会有部分坑不能被检测出来的情况;完

全检测成功率表示图像中所有坑区域均可以被检测出来。20 幅成功提取出坑区域图像的实景测试结果如图 11 所示,并给出 20 幅图像的具体测试数据如表 3;给出两幅提取失败的结果,如图 12 所示。

另使用 100 幅不含有坑的野外环境图像对算法进行测试,得到虚警率为 14%。

从实验结果可知,图 11 中最后一幅图中会存在另一个坑

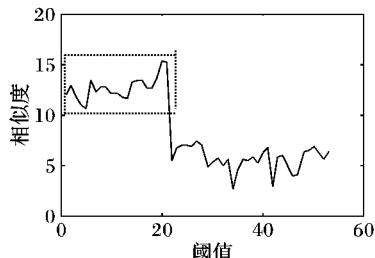


图 9 曲线相似度保留区域集合

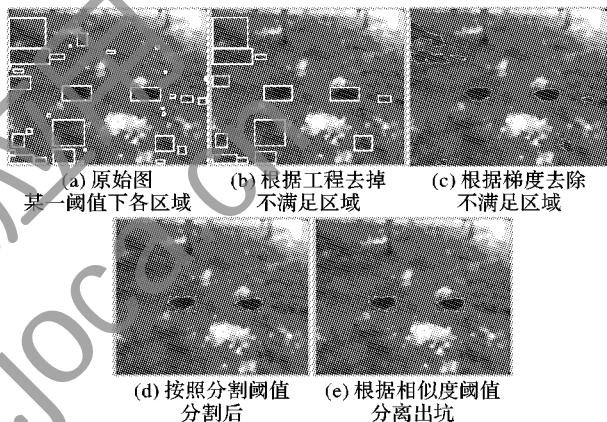


图 10 处理各步骤进行的结果

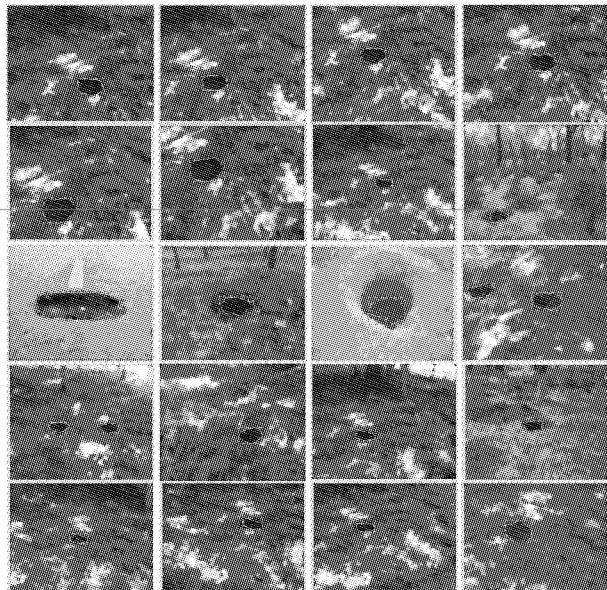


图 11 提取成功的情况

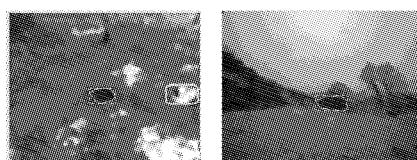


图 12 提取失败的情况

没有检测出来的情况(图中用圆角型框标注),主要是因为阳光射进了坑内,破坏了坑的完整性,所以无法正确检测出来,坑检测丢失的原因也多来源于此。这种情况的单幅图像坑的识别很难完成,因为单幅图像中原始坑的像素完全被破坏掉了,坑特征完全丧失,坑因此也变成了背景,这种情况还需要后序双目视觉才能加以解决。图像的检测率与虚警率是一对矛盾关系,都与相似度阈值的取值有关(本文取值为10),此值来源于对大量图片处理的数据经验,相似度阈值取得高,则虚警率会降低,但是坑的检测率会降低;反之,二者都会提高,具体应如何调整此阈值还要根据具体的要求来确定。

综合考虑本文算法,在去除极端情况下的单个坑情况,在多个坑、拍摄角度较高、拍摄角度较低、沙土地、草地、树木较多的情况下都有很好的检测效果,说明了这种方法的可行性。

表2 图像数目和检测结果

图像情况	数目
全部图像	100
只含有单个坑图像	72
含有多个坑图像	28
完全正确检测出来的图像	80
含有多个坑但只检测出来部分坑的图像	17
非坑区域误检测为坑的图像	5
没有检测出坑并且有误检测出坑的图像	1

表3 20幅图像的具体测试参数

图像序号	分割阈值	平均离散度	相似度阈值
1	54	3.0645	10.00
2	62	1.6689	10.00
3	64	4.4952	11.06
4	55	4.8096	18.63
5	56	4.2330	10.00
6	55	3.8456	10.00
7	67	1.4887	10.00
8	51	0.8718	10.00
9	55	1.8344	10.00
10	53	0.9563	10.00
11	62	4.9872	10.00
12	70	3.3528	10.00
13	80	2.9860	10.00
14	83	5.6549	10.00
15	51	2.2300	10.00
16	123	5.8732	10.00
17	58	1.3965	10.00
18	71	3.3810	10.00
19	60	2.6157	10.00
20	56	1.9344	10.00

5 结语

本文提出一种对野外坑进行检测的方法。其基本思想是考虑野外环境坑的特点,利用一维直方图信息和与椭圆相似度的方法确定出准确的图像分割阈值,之后根据相似度曲线的计算确定出相似度阈值,利用此阈值可以把坑区域从非坑区域中分离出来。通过实际图片测试,此方法对野外环境中坑的检测有很好的效果,证明了它的可行性。

参考文献:

- [1] 刘超,蔡文华,陆玲.图像阈值法分割综述[J].电脑知识与技术,2015,11(1):140-145.(LIU C, CAI W H, LU L. Survey on the method of image threshold segmentation [J]. Computer Knowledge and Technology, 2015, 11(1): 140 - 145.)
- [2] CHAN F H Y, LAM F K, ZHU H. Adaptive thresholding by variational method [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 468 - 473.
- [3] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [4] 王磊,段会川.Otsu方法在多阈值图像分割中的应用[J].计算机工程与设计,2008,29(11):2844-2845,2972.(WANG L, DUAN H C. Application of Otsu method in multi-threshold image segmentation [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29 (11): 2844 - 2845, 2972.)
- [5] 李了了,邓善熙,丁兴号.基于大津法的图像分块二值化算法[J].微计算机信息,2005,21(8-3):76-77.(LI L L, DENG S X, DING X H. Binarization algorithm based on image partition derived from Da-Jin method [J]. Microcomputer Information, 2005, 21(8-3): 76 - 77.)
- [6] 郭烈,王荣本,金立生,等.基于二维最大熵阈值分割的坑识别方法[J].计算机工程与应用,2006,42(21):226-228.(GUO L, WANG R B, JIN L S, et al. Hole detection based on 2D maximum entropy threshold segmentation [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(21): 226 - 228.)
- [7] 熊娟.基于图像处理的月球撞击坑识别技术研究[D].南昌:华东交通大学,2013:20-42.(XIONG J. Research on technology of lunar crater detecting based on image processing [D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2013:20 - 42.)
- [8] 许新征,丁世飞,史忠植,等.图像分割的新理论和新方法[J].电子学报,2010,38(2A):76-82.(XU X Z, DING S F, SHI Z Z, et al. New theories and methods of image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2A): 76 - 82.)
- [9] 杨金龙,张光南,厉树忠,等.基于二维直方图的图像分割算法研究[J].激光与红外,2008,38(4):400-404.(YANG J L, ZHANG G N, LI S Z, et al. Study of image segmentation algorithm based on two-dimensional histogram [J]. Laser and Infrared, 2008, 38(4): 400 - 404.)
- [10] YEN J C, CHANG F J, CHANG S. A new criterion for automatic multilevel thresholding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(3): 370 - 377.
- [11] 吴冰,秦志远.自动确定图像二值化最佳阈值的新方法[J].测绘学院学报,2001,18(4):283-286.(WU B, QIN Z Y. The methods and practice of rectifying the distorting errors on scanned image from large-scale topographic map [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2001, 18(4): 283 - 286.)
- [12] 梁华为.直接从双峰直方图确定二值化阈值[J].模式识别与人工智能,2002,15(2):253-256.(LIANG H W. Direct determination of threshold from bimodal histogram [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2002, 15(2): 253 - 256.)

Background

MENG Lingjiang, born in 1983, M. S. candidate. His research interests include machine vision.

WANG Ting, born in 1978, Ph. D., associate research fellow. His research interests include robot control, special robot, pattern recognition, intelligent system.

YAO Chen, born in 1964, Ph. D., research fellow. His research interests include robot control, special robot.