

文章编号:1001-5078(2007)06-0575-04

一种快速准确识别圆形目标的新算法

李江涛,倪国强,王强,黄光华

(北京理工大学信息科技学院光电工程系,北京 100081)

摘要:在对二值圆形图像深入认识的基础上,研究了自动提取图像中圆形目标的理论,提出了圆的两个重要参数:圆上像素数与半径比值参数,以及理想半径与圆上像素到圆心(实际半径)差值参数。首先对图像进行降噪和边缘提取,然后利用这两个重要参数,在二值边缘图像中非常快速、有效地提取出圆形目标,并输出其半径和圆心坐标参数。实验表明,该方法能够较高精度、较快速度地在大面积图像中识别圆形目标。

关键词:降噪;边缘提取;二值图像;圆上像素数;实际半径

中图分类号:TP391.44

文献标识码:A

A New Algorithm for Fast and Accurate Circular Targets Recognition

LI Jiang-tao, NI Guo-qiang, WANG Qiang, HUANG Guang-hua

(Department of Optical Engineering, School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on profound research in the circles of binary images, two important parameters are presented: the ratio between the number of pixels on circle and its radius, and the difference between the ideal radius and the actual radius. Using these two important parameters, a new algorithm is designed for fast and efficient circular targets detection. After denoising, edge extraction and circles detection, the centre of circles and radii parameters are exported and the circles are plotted in the image which has the same size as original one but contains nothing. Large numbers of experiments show that mass circles can be detected in very large remote sensing images fast and accurately and the algorithm implemented with VC 7.0.

Key words: denoising; edge extraction; binary image; pixels on a circle; true radius

1 引言

在数字图像处理领域中,圆形目标的特征提取以及识别占有非常重要的地位^[1],日常生活中圆形物体无处不在,例如人眼的瞳孔等,军事上许多重要的目标都有圆形特征,比如说油库等。一种好的圆形识别方法能够快速而又准确地探测到所感兴趣区域(ROI)的所有圆形。

自从20世纪80年代以来,众多学者提出了多种检测圆形的的方法,例如圆形霍夫变换(HT)^[2-3]及改进方法,该方法将边缘图像中的像素映射到半

径及圆心构成的三维参数空间中,并对参数空间设定阈值,超过阈值的就可以确定圆形。这类方法虽然可以得到比较理想的效果,由于需要全局搜索,存储量和计算量呈指数增长,难以应用于实际需求之中。为了解决这一问题,Xu等人提出了随机霍夫变

基金项目:国家预研基金项目资助(No. 51483040104BQ0101)。

作者简介:李江涛(1980-),男,在读工学博士,研究方向为遥感图像处理及目标识别。E-mail: tonylee@bit.edu.cn

收稿日期:2006-11-27; **修订日期:**2006-12-15

换(RHT)^[5-8],该算法思想是在边缘图像中随机选取三个点映射到参数空间中的一个点,以此计算圆的参数,并对结果进行累积。RHT 变换的计算量和存储量显著减少,但是算法对边缘图像的质量要求很高,一旦圆形出现变形,随机取出的三点在同一圆周上的概率就很小了,以致不能正确检测出结果。

以上两类算法都不能很好解决复杂度和检测准确率之间的矛盾。本文所提出的方法在速度、准确率上都有大幅提高,而且更适合处理较大面积的复杂遥感图像,即使原图像信噪比很低,背景较为复杂,该算法也能从中准确快速的提取圆形目标。

2 算法的理论基础

理想状态下圆周会经过数字图像中一定的像素,将这些像素合理的连接起来就形成了离散状态下的圆。如图 1 所示,为了更清楚地看清圆的特点,把圆放大 5 倍,因此每个像素(图中的黑色方块)的面积就扩大到 25 倍。经计算其半径从 1 以 0.5 单位增加直到 6,前两个是最初的形式,称为奇数圆和偶数圆,奇数圆的半径为 n ,偶数圆的半径为 $n.5, n$ 为整数。相邻大小的两个圆半径相差 0.5,奇数圆以一个像素中心对称,偶数圆以四个像素中心对称。假设图像的坐标原点位于图像的左下角,奇数圆的圆心坐标点 (X, Y) 的值为整数,偶数圆的圆心坐标点 (X, Y) 的值为整数多 0.5,不会出现其他小数的形式。这里定义 $D = CP/R, CP$ 就是圆上像素数(Circle Pixels); R 代表圆的半径。当 $R=1$ 时, $CP=4$,这时 $D=4$;当 $R=1.5$ 时, $CP=8$,这时 $D=5.333$,依次类推,它们之间的规律如表 1 所示。

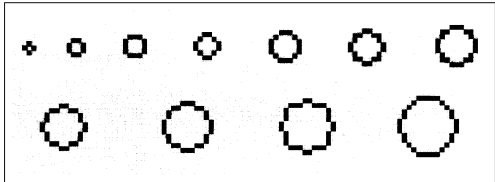


图 1 数字圆半径从 1 以 0.5 增加直到 6 的数字圆放大 5 倍后的图像

图 2 给出了半径 R 和 D 之间的关系,前 38 组数据 D 的平均值为 5.573017,从图中曲线的发展趋势来看,随着半径的增大, D 值将稳定在 5.6 附近,将 D 值固定在 5.6 附近为算法的自动识别不同尺度大小的圆提供了理论基础,使得快速、精确自动识别圆成为可能,不需要随着圆的大小变化重新选取参数。

表 1 半径(R)与圆像素数之间的关系

R	CP	$D = CP/R$	R	CP	$D = CP/R$
1	4	4.000000	5.5	32	5.818182
1.5	8	5.333333	6	32	5.333333
2	12	6.000000	6.5	36	5.538462
2.5	12	4.800000	7	40	5.714286
3	16	5.333333	7.5	44	5.866667
3.5	20	5.714286	8	44	5.500000
4	24	6.000000	8.5	48	5.647059
4.5	24	5.333333	9	52	5.777778
5	28	5.600000	9.5	52	5.473684

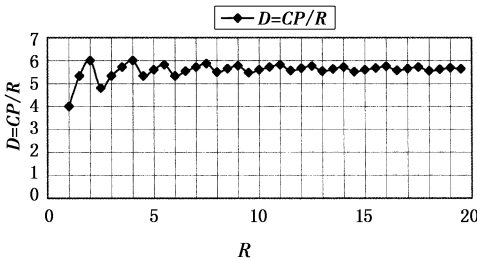


图 2 半径 R 与 $D = CP/R$ 的关系

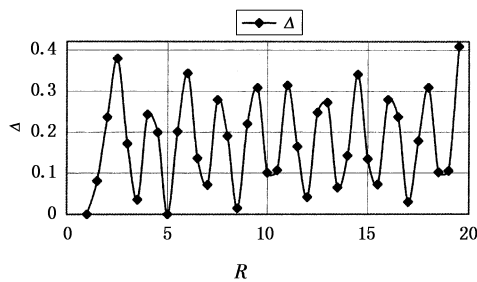
下面介绍算法自动识别多尺度圆形目标另一个非常重要的参数:数字圆上像素点到圆心的距离与理想状态的圆半径差值 Δ 。以上面所列出的圆为例,来研究它们的圆上像素距圆心的最大距离与真实 R 之间的差值规律,如表 2 所示。实验表明,以圆心为坐标原点,随着像素偏离 X 或 Y 轴, Δ 将增大,并在 45° 时将达到最大值。所以选取圆的第一象限离对角线最近的像素作为测试点,其表达式为:

$$\Delta = \text{ABS}(\sqrt{X^2 + Y^2} - R) \tag{1}$$

由图 3 可以看出,前 38 组数据 Δ 的最大值为 0.408117,其平均值为 0.177649,由此可见,随着半径的增大,最大差值将不会超过 0.5,其平均值将稳定在 0.2 左右。

表 2 真实半径与理想半径(R)之间的差值 Δ

R	X	Y	Δ	R	X	Y	Δ
1	1	0	0.000000	5.5	4.5	3.5	0.200877
1.5	1.5	0.5	0.081139	6	4	4	0.343146
2	2	1	0.236068	6.5	4.5	4.5	0.136039
2.5	1.5	1.5	0.378685	7	5	5	0.071068
3	2	2	0.171573	7.5	5.5	5.5	0.278175
3.5	2.5	2.5	0.035534	8	5	6	0.189758
4	3	3	0.242641	8.5	5.5	6.5	0.014693
4.5	3.5	2.5	0.198837	9	7	6	0.219544
5	4	3	0.000000	9.5	6.5	6.5	0.307612

图3 真实半径与理想半径(R)之间的差值 Δ

本节从不断变化的圆中找出了共有的特性规律,定义了 D 和 Δ 这两个重要的数字圆参数。依据这两个参数可以快速自动识别不同尺度上的圆形目标。由于客观成像条件、摄像器件以及边缘提取算法的影响,造成二值图像中的圆形目标有些形状上的畸变,或者边缘的缺失。所以在 Δ, D 的选取上,要适当放宽条件才可探测出目标。经过多种图像反复地实验,当 D 取4.28, Δ 取0.59时取得的识别效果相对较好,虚警率和漏检率较低。但是为了体现自动识别的性质,一旦确定两个参数,将不再更改。

3 算法的原理、流程及实现

算法总体流程如图4所示,图像边缘的获取可以采用两种不同的方法:一是利用Canny、LoG算子提取边缘^[8];二是先进行阈值分割,再用形态学滤波把图像的边缘提取出来。相对于各种算子来说,后一种方法提取边缘的封闭性较好。本文首先采用改进的二维信息熵算法进行阈值分割,它不仅能够有效去除噪声,而且还可以清晰地显示目标轮廓。其次使用数学形态学滤波,例如膨胀、闭运算等操作在图像边缘提取的同时去除分割图像中的孤立噪声点,然后置图像边缘像素为0,其他像素为1。最后利用新算法去除其他形状的边缘并把圆形目标的坐标以及半径探测出来。

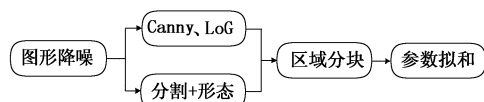


图4 新算法总体流程图

新算法的思想就是直接用已设定好的参数空间 (R, X, Y) 对二值边缘图像进行拟合。首先根据分割图像或者边缘图像中的像素相互间的位置信息,把可能存在圆形的区域确定下来,然后在这些区域内部确定圆形目标。为了使某个 $W \times H$ 大小的区域能容纳一个完整的圆,参数 R 不可能超过区域宽度和高度最小值的一半,同时 R 太小看上去就像个点,

所以设定 $5 \leq R \leq \min(W, H)/2$ 。相应地圆的坐标 (X, Y) 就在选定区域的横纵方向被腐蚀了半径 R 的区域内。根据可能存在圆形的区域选取一组参数 (R, X, Y) ,这组参数限定的边缘图像中的0值像素可以拟合。如果拟合像素到圆心 (X, Y) 的距离与理想半径 R 的差值 δ ,在允许误差范围 Δ 内,就算拟合成功,如果所有拟合像素数和半径 R 的比值大于 D ,即 CP/R ,就表明这组参数确定的圆在待测图像中存在。由于边缘图像的不规则,个别圆形会被重复识别,可以把圆心和半径同时相差很小的参数组合并。然后输出参数并在原图中重绘圆形目标,下面给出算法的流程。

1) 对分割后的图像进行图像分块,把连通的像素并为一组,求出每组连通像素的矩形右上角和左下角参数 $[x_{ul}, y_{ul}]_i, [x_{dr}, y_{dr}]_i$,因为较小区域或者长方形区域的特征决定了它们不可能含有圆形目标,所以对于 $|x_{ul} - x_{dr}|_i \times |y_{ul} - y_{dr}|_i < 5 \times 5, |x_{ul} - x_{dr}|_i / |y_{ul} - y_{dr}|_i > 2$ 以及 $|x_{ul} - x_{dr}|_i / |y_{ul} - y_{dr}|_i > 1/2$ 的矩形参数进行去除,并合并重叠的矩形参数;

2) 分配与矩形参数 $|x_{ul} - y_{ul}|_i, |x_{dr}, y_{dr}|_i$ 相等区域 $W \times H = |x_{ul} - x_{dr}|_i \times |y_{ul} - y_{dr}|_i$,设定参数空间 $(R, X, Y), R - r \in (5, \min(W, H)/2), X - x_{ul} \in (R, W - R), Y - y_{ul} \in (R, H - R)$;

3) 初始化计数器 $N=0$,选定一组参数 (R, X, Y) ,用边缘图像中确定区域内的0值像素对参数进行拟合,如果 $\delta \leq \Delta, N$ 自动加1,当拟合结束后 $N \geq R \times D$,这组参数便确定一个圆,并置符合这一组参数的像素为2,以减少重复计算量,然后进行下一组参数的判定,如果 $N < R \times D$ 则重新选择下一组参数;

4) 回到步骤2)选取下一组矩形参数,直到对所有有矩形参数都完成到步骤3)的算法;

5) 比较所有拟合成功的参数组 (R, X, Y) ,如果它们的圆心距和半径差同时在4个像素范围内,就合并二组参数取平均值。用这些参数组在输出图像中重绘圆形目标,并输出这些参数组。

为了加速算法,在第三步中采取了三个技巧:一是算法在进行前三行(首,尾和中间)拟合结束后如果 N 还为0,则放弃该组参数;二是如果原始图像中的圆形特征似圆形较好并且边缘缺失很少的情况下,可以利用圆的对称性,在拟合进行一半时,如果 $N/R \geq D/2$ 则确定此组参数为真实圆,并置所有符

合这组参数的像素为2,以便不让另外半个圆重复确定这组参数,还可以进一步提速,即当拟合进行1/4圆时, $N/R \geq D/4$ 便确定为真实圆;三是如果原始图像没有出现圆环状的圆形,可以在确定一组参数后把这组参数框定的边缘图像区域内所有像素置2,以便后面参数组进行拟合时不在选择这个区域。

4 实验结果及分析

算法在CPU为1.66GHz、内存为512M的计算机上实现,所使用的软件为VC7.0。从图5~图7可以看出,新算法利用两个重要参数 D 和 Δ ,能在不同尺度上较快速、精确地在较大面积、较复杂背景遥感图像中识别出圆形目标。虽然图像的面积较大,但是三幅图的耗时都不超过3s,并且抗干扰能力较强。图6与图7中一些灰度与背景接近的圆形目标,是因为分割时被分为背景,所以没有探测出来。由于某些边缘复杂的地方像素数比较多,有可能形成虚警,如图6右上角的一个小圆。所以边缘图像的好坏决定着识别虚警率、漏检率的高低。

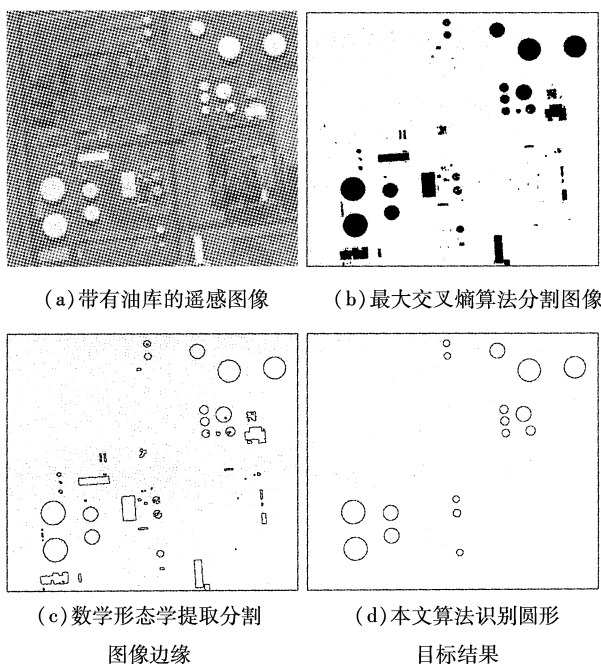


图5 620×550像素带有油库的遥感图像圆形目标
提取算法的实验图像

5 结论

本文提出了一种识别圆形目标的新算法,通过对不同尺度下数字圆共有特征的研究,提出了两个重要的参数 D 和 Δ ,并对多幅带有各种圆形目标的图像进行了检测。实验结果表明,即使当圆形特征有一定的畸变时,该算法也能够较快速、精确地提取

不同尺度的圆形目标,并且这种思想也可以移植应用在其他形状的目标识别上。

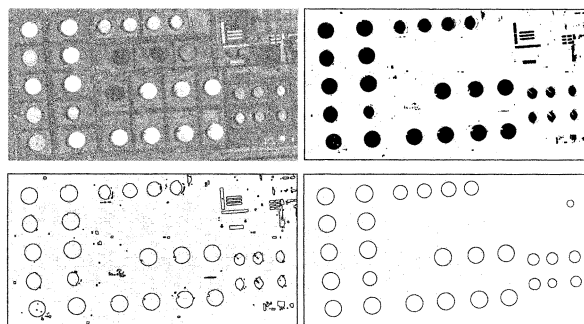


图6 900×480像素带有油库的遥感图像圆形目标
提取算法的实验图像

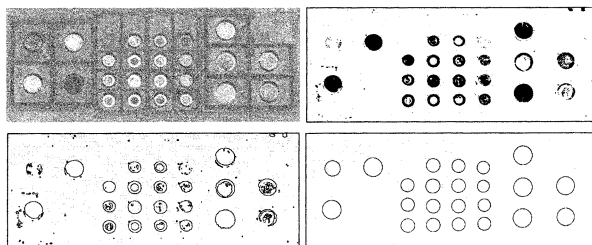


图7 400×1024像素带有油库的遥感图像圆形目标
提取算法的实验图像

参考文献:

- [1] 何斌. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [2] 贾承丽,匡纲要. 基于Hough变换的高分辨SAR图像道路目标检测[J]. 国防科技大学学报,2004,(1):51-55.
- [3] 孙亦南,刘伟军. 一种用于圆检测的改进Hough变换方法[J]. 计算机工程与应用,2003,(20):35-37.
- [4] 林金龙,石青云. 用点Hough变换实现圆检测的方法[J]. 计算机工程,2003,(11):17-19.
- [5] 束志林,戚飞虎. 一种新的随机Hough快速圆检测算法[J]. 计算机工程,2003,(6):87-89.
- [6] Renato M Hadad, Arnalw de A Araujo. Using the Hough transform to detect circular forms in satellite imagery[J]. IEEE Trans On Image Processing,2001:406.
- [7] Chen T C, Chung K L. An efficient randomized algorithm for detecting circles[J]. Computer Vision and Image Understanding,2001,83(2):172-191.
- [8] 张小洪,杨丹. 基于Canny算子的改进型边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用,2003,(29):113-115.
- [9] W C Y Lam, S Y Yuen. Efficient technique for circle detection using hypothesis filtering and Hough transform[J]. IEEE Proc. -Vis. Image Signal Process, 1996, 143(5):292-300.