

类圆粘连物体圆度测量

Roundness Measurement of the Circle – like and Conglutinative Objects

钟远高 黄 昶 倪国瑜 (华东师范大学 信息学院电子科学系 上海 200241)

摘要: 图像的分割和直径的计算是应用机器视觉技术对粘连圆形物体圆度进行非接触式测量的关键步骤,直接影响到测量的结果。本文使用分水岭算法对图像进行分割,计算时充分考虑粘连部分的影响,取得了较好效果。

关键词: 圆度 图像分割 大津法 分水岭 直径计算

1 引言

使用机器视觉技术对粘连类圆物体进行非接触测量有着广泛的用途,如捆扎棒材、卷烟等的计数和物理参数测量。但是在实际测量中,被测物体一般不是单个放置且常常相互接触,这就存在着图像分割的问题。图像分割的效果不仅直接影响到物体测量的成功率,也在一定程度上影响测量的精度。

本文使用大津法二值化图像,使用分水岭算法分割图像,在计算物体圆度时充分考虑处理过程中引入的误差,对实际采集的卷烟图像进行试验,达到了较好的测量效果。

2 大津法二值化图像

图像的二值化是圆度计算的关键步骤。二值化后的图像直接用于分水岭算法分割和圆度的计算,故二值化引入的误差较难弥补。较好的二值化算法对提高系统的精度有很大作用。本文通过实验,发现使用大津法^[1,2,3]求取阈值二值化卷烟图像引入误差较小。

大津法原理:把图像直方图用某一灰度值分割成两组,当被分割的两组间方差最大时,此灰度值即图像二值化处理的阈值。

定义 i 代表灰度值,即灰度直方图的横坐标; $h(i)$ 为某一灰度值的像素点个数,即灰度直方图的纵坐标; K 为求得的阈值; N 代表灰度直方图的总级数; n 代表图像的像素总数。当表达式

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[u_T w(k) - u(k)]^2}{w(k)[1 - w(k)]} \quad (1)$$

取最大值时 k 代表的图像灰度值即二值化的阈值。其中:

$$u(k) = \sum_{i=0}^k ip(i) \quad (2)$$

$$u_T = \sum_{i=0}^{N-1} ip(i) \quad (3)$$

$$w(k) = \sum_{i=0}^k p(i) \quad (4)$$

$$p(i) = \frac{h(i)}{\sum_{i=0}^{N-1} h(i)} \quad (5)$$

大津法二值化效果如下:

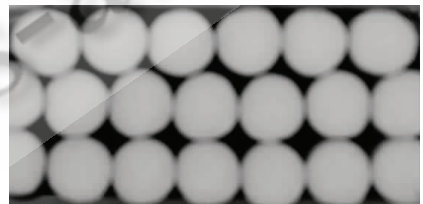


图 1 待处理原图

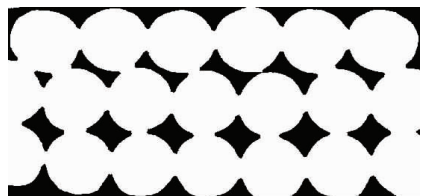


图 2 大津法二值化

对图片比较发现二值化后卷烟边缘与实际卷烟图像边缘误差不超过 3 个像素。

在实际的机器视觉测量系统中,由于目标物体边缘的反射作用,常常会影响边缘的清晰度。可以采用合适的光源以突出边缘部分,消除边缘的反射作用对图像的影响,如低角度散射照明光源。合适的光源可以大大提高测量的精度。

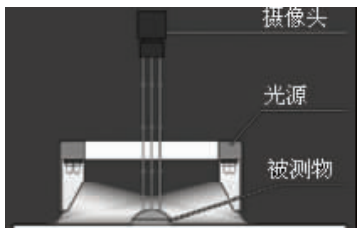


图 3 低角度散射照明光源

3 分水岭方法分割图像

观察二值化后的图像我们可以发现,图像粘连部分二值化后形成了物体的连通区域,需要分割开来。本文使用分水岭算法^[3-5]分割图像,得到了较好的分割效果。

使用分水岭算法分割首先要将图像进行距离变换。距离变换是将一幅二值图像转化为一幅灰度图像,在这幅灰度图像中,每个像素的灰度级是该像素与距其最近的背景间的距离。因为本文处理的图片背景不复杂,对距离变化的算法要求不高。本文使用欧氏距离来进行距离变换。假设 P, Q 是数字图像中两个像素点,它们的坐标或行、列号分别是 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$, 则可以定义欧氏距离^[1,3]为:

$$dc(P, Q) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (6)$$

分水岭算法是学术界承认的较好的基于数学形态学的图像分割算法。它模拟水淹没地形的过程,将图像看作地形图,往低地注水,升高水位逐渐淹没地形。当不同的集水盆地的水汇聚时,筑坝阻挡,即形成了图像分割线。这里就不再赘述分水岭算法的数值实现方法。

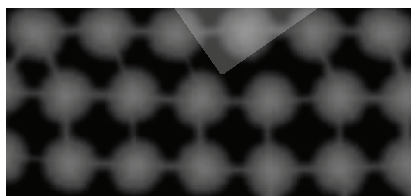


图 4 距离变换效果图

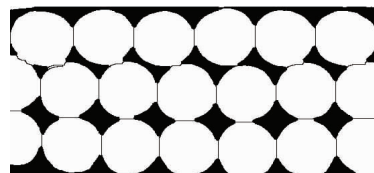


图 5 分水岭分割效果

在本步骤中,程序需要记下图像分割线的位置,以作为计算直径时舍弃干扰区域的标准。

4 计算圆直径

求物体圆度的第一步是求圆形物体的直径。



图 6 局部放大的分割图像

仔细观察上面的局部放大图不难发现,由于物体的粘连,经过二值化和分水岭分割后,粘连部分已经有了很大误差,变成不可信区域。这也就意味着不能采用按任意角度扫描圆骨架得到最长一条弦作为圆的直径的办法求解,这样极可能将直径定位到粘连部分,引入不可消除误差。本文通过求取圆弦的垂直平分线的交点找到圆心的大概位置^[6],估算出半径的大概长度,过滤掉干扰圆形区域及不完整圆形区域,再精确计算圆直径。

从圆骨架上任一点 A 开始沿顺时针方向移动,与 A 相隔 n 个像素取 B 点。将 A 点与 B 点用直线相连接,再取与 B 点相隔 n 个像素之处为 C 点,并将 B 点与 C 点用直线相连接。在与 A 点相距 m 个像素之处设置 D 点,重复上述操作得 E、F 点,并按上述方法连成直线。重复操作到回到起始点附近为止。

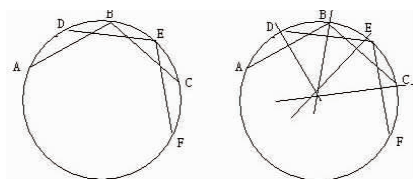


图 7 圆心估测^[4]

由 A, B 点的坐标可以得到 A, B 中点坐标及直线

A, B 斜率, 从而得到 A, B 直线的垂直平分线。同理可得 B, C 直线的垂直平分线。两垂直平分线的交点即为圆心, 记为 $O_1(x_1, y_1)$ 。通过其它相交垂直平分线还可以得到圆心 $O_2(x_2, y_2), O_3(x_3, y_3) \dots O_n(x_n, y_n)$ 。则圆心 O 可以表示为:

$$O\left(\frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n}, \frac{y_1+y_2+y_3+\dots+y_n}{n}\right) \quad (7)$$

由于有非可信区域存在, 该点只作为圆的估计圆心, 圆心点与圆骨架的连线为圆的估计半径。

由于卷烟的直径是比较固定的, 可以通过这个估算出的半径的大概长度过滤掉图像中非卷烟的干扰物体和未完全进入摄像区域的部分卷烟图像。

本文在图像的 0、45、90、135 度方向分别计算圆的直径, 分别命名为 $D_0, D_{45}, D_{90}, D_{135}$ 。这三个方向是摄像头采集图像量化误差最小的方向。也是图像计算直线长度误差最小的方向。其它方向都将存在曲线的拟合问题, 不可避免将引入误差。

以计算 D_{135} 为例:

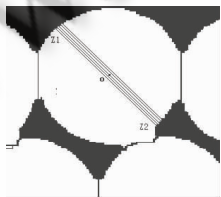


图 8 求取直径

过估算圆心 O 在 135 度方向上作弦交圆边缘于点 Z1, Z2。如果 Z1, Z2 中有任一个点在分水岭算法产生的分割线上, 说明直线接触到不可信区域, 则认为这个方向上的曲线直径不能求解, 令 $D_{135} = -1$ 。

为了弥补估算圆心不准带来的误差, 向左向右平移直线, 得到各三条弦, 同理如果弦与分水岭分割线相遇, 则不参与计算。找出这几条弦中可参与计算的最长弦, 则认为这条弦是该方向上的直径。通过对估算圆心确定的直径附近的几条弦的计算, 在一定程度上消除了圆心估计不准造成的影响。

通过上述流程计算得到的卷烟的直径仍然是以像素为单位的, 也即得到的是摄像头图像坐标系的计量。通过系统的标定可以实现图像坐标系到世界坐标系的转换, 从而得到世界坐标系的计量。摄像机的标定是通过建立图像坐标系到世界坐标系的数学模型, 求解

摄像机的内外参数, 是系统必不可少的过程。由于篇幅限制, 本文不详细讨论标定过程。

5 圆度计算

卷烟圆度国标规定卷烟的圆度测量方法为

1. 记录烟支某位置直径, 以 $D1$ 表示。
2. 转动 90 度记录直径 $D2$ 。
3. 另取一点, 重复 1~2, 得到 $D1', D2'$ 。

$$\text{圆度} = \frac{|D1 - D2| + |D1' - D2'|}{2} \quad (8)$$

本文实际计算圆度的方法针对实际情况做了些调整。

如果 D_0, D_{90} (D_{45}, D_{135}) 中有一个或两个无效不能参与计算, 则

$$\text{圆度} = |D_{45} - D_{135}| (|D_0 - D_{90}|) \quad (9)$$

如果 $D_0, D_{90}, D_{45}, D_{135}$ 全部有效则圆度的计算公式为

$$\text{圆度} = \frac{|D_{45} - D_{135}| + |D_0 - D_{90}|}{2} \quad (10)$$

如果 D_0, D_{90} 和 D_{45}, D_{135} 均有数据不合格, 则放弃对该烟支的计算。

6 结论

本文提出了一种通过非接触式方法测量粘连类圆物体圆度的方法, 充分考虑粘连部分的影响, 避开有可能给系统带来误差的各类因素。实验表明, 本方法对类似卷烟、棒材等各类圆粘连类圆物体具有很好的测量效果。

参考文献

- 1 NI. NI Vision Concepts Manual. National Instruments, 2007.
- 2 李了了, 邓善熙, 丁兴号. 基于大津法的图像分块二值化算法. 微计算机信息, 2005, 21(8-3): 76-77.
- 3 章毓晋. 图像理解与计算机视觉. 北京. 清华大学出版社. 2001.
- 4 Vincent, L., and Soille, P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 13, 6(1991). 583-598.
- 5 Meyer, F. Topographic distance and watershed of a continuous function. Signal Processing 38(1994). 99-112.
- 6 钟彩, 曹桂涛. 基于 Hough 圆变换的尿液图像中红细胞的定位. 中国高新技术企业, 2008, 2: 89-92.