

基于Halcon的阀芯尺寸亚像素级测量

唐 松, 杨其华, 刘刚海

TANG Song, YANG Qihua, LIU Ganghai

中国计量学院 质量与安全工程学院, 杭州 310018

College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

TANG Song, YANG Qihua, LIU Ganghai. Valve core size sub-pixel measurement based on Halcon. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(3): 237-241.

Abstract: It is inefficient and imprecise to measure dimension of valve core by manual measurement. With the superior performance of machine vision software Halcon-platform, using edge detection of Canny operator to get the valve core image subpixel edge, combining with the least square method to fit the edge, to realize the dimensional measurement quickly, effectively and high-precision for valve core. Experimental results show that in certain situations in this way measuring accuracy can reach up to 2 per thousand to meet accuracy requirements, and the measurement process is stable and fast.

Key words: Halcon; sub-pixel; least square; dimensional measurement

摘 要: 针对传统人工在检测阀芯时的低效和低精度问题, 采用性能优越的机器视觉软件Halcon为平台, 利用Canny算子边缘检测和双线性插值方法得到阀芯图像亚像素级边缘, 结合最小二乘算法进行边缘拟合, 实现对阀芯快速、稳定和较高精度的尺寸测量。实验结果表明: 该检测方式可以达到亚像素级的尺寸测量, 测量精度高于2‰, 满足企业对测量精度要求, 且测量过程比较稳定和快速。

关键词: Halcon; 亚像素; 最小二乘; 尺寸测量

文献标志码: A **中图分类号:** TP39 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1505-0098

1 引言

现代工业生产中经常需要对阀芯进行几何尺寸测量, 一般都要求采用的检测方式具有较快的速度、较好的稳定性以及较高的精度。而随着图像处理技术的飞速发展, 非接触式测量应运而生。非接触式测量主要包括激光三角测量法、工业CT测量法和机器视觉测量法等^[1], 其中机器视觉测量法是人工智能与测量技术相结合的智能测量法。非接触式测量几乎不需要人工参与, 所以该测量方式具有客观、可靠、重复性高、非接触无损伤等优点, 同时还可以使检测效率、检测的精度以及测量速度得到一定提升。因此, 非接触式测量具有较高的研究价值^[2-3]。综合考虑, 非接触式测量可以满足对阀芯检测的要求。

与此同时, 由于阀芯的生产环境相对较差, 受污渍、光衍射和噪声等环境因素的干扰, 阀芯图像采集时不可避免会产生一定的噪声^[4], 造成所采集的图像质量不理

想。因此, 能否利用合理有效的算法尽可能消除噪声影响, 是能否实现对阀芯图像边缘精确定位提取和得到较精确尺寸测量结果的关键。本文基于Halcon平台结合最小二乘曲线拟合的亚像素法对图像进行降噪和边缘检测, 最终实现对阀芯快速、稳定和较高精度的尺寸测量。

2 机器视觉测量过程

机器视觉^[5]系统主要由三部分组成: 图像的获取、图像的处理和分析、图像的输出生或显示。图像的获取实际上是将被测物体的可视化图像和内在特征转换成能被计算机处理的一系列数据。然后, 通过图像处理和分析方法^[6], 它包括图像增强、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、识别与理解等内容, 使输出图像质量得到相当程度的改善, 得到便于计算机对图像进行分析、处理和识别的结果图像。最后通过显示设备将处理结果显示出来。

阀芯检查结果如图1所示。

作者简介: 唐松(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事机器视觉方面的研究。

收稿日期: 2015-05-14 **修回日期:** 2015-07-15 **文章编号:** 1002-8331(2017)03-0237-05

CNKI网络优先出版: 2015-09-07, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20150907.1529.008.html>

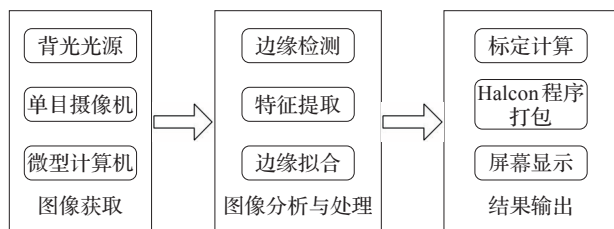


图1 阀芯检查结果图

3 基于Halcon的阀芯尺寸测量

通过实验发现通过背光方式来采集图像可以得到相对最优的理想图像。本测量方案是在使用背光光源的基础上,利用在工业检测方面具有功能相对完善、效能相对优异的Halcon机器视觉软件,加之一定的优化算法来实现对阀芯的高精度测量。同时,图2给出了本文针对阀芯所要测量的标准参数,具体包括阀芯的长度、宽度和底端直径。

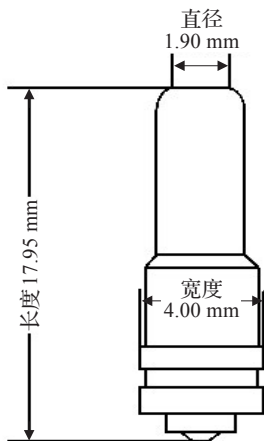


图2 阀芯测量参数示意图

3.1 图像获取

Helcon提供了获取图像的两种方式,一种是直接由read_image算子读取指定的文件存储路径的图像。另一种是由open_framegrabber算子指定的摄像头通过grab_image在线实时抓取图像。摄像机在抓取图像时,一般要求摄像机成像平面必须平行于被测金属板工件平面,否则,所得图像可能会有较大切向畸变或径向畸变^[7],摄像机必须标定,图像必须调整^[8]。读取的阀芯图像如图3所示。

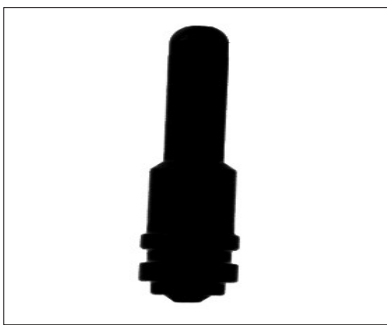


图3 阀芯原图

3.2 图像预处理与分析

3.2.1 阀芯轮廓的亚像素提取与筛选

像素是数码图片储存方式的一般单位,每个像素是数码图片里面积最小的单位。在两个像素之间宏观上可以看作是连在一起的,但是在微观上它们之间还有无限的更小的东西存在,它被称为亚像素。实际上亚像素虽然存在,而硬件上却没有更细微的传感器能把它检测出来,但可通过软件把它近似地计算出来。因此这就为利用软件算法来实现亚像素检测从而提高测量精度提供了理论依据。

利用edges_sub_pix(VCImage,Edges,'canny',1.1,20,40)算子实现对阀芯亚像素轮廓的提取。首先,该算子使用了目前最受认可的边缘检测算法Canny算法^[9-10]。Canny算法具有良好的信噪比,对单一边缘具有唯一响应,特别是其中的高低域值的自适应选取,使得在边缘检测的正确率上得到很大的优化,因此边缘提取的精度也会得到相应提高。Canny算法的一般步骤为:

(1)用高斯滤波器对图像进行平滑消噪,二维高斯函数为:

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

其所对应的梯度矢量为:

$$\nabla G(x,y,\sigma)=\left[\frac{\partial G}{\partial x}\frac{\partial G}{\partial y}\right]^T \quad (2)$$

σ 为高斯滤波器的尺度参数,控制着图像平滑程度。 σ 越小边缘定位精度越高,但是降低了图像的信噪比; σ 越大的情况下,噪声抑制效果越好,但是降低了边缘定位精度。

(2)用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向:

$$A(i,j)=\sqrt{E_x^2+E_y^2};\varphi(i,j)=\arctan\frac{E_y(i,j)}{E_x(i,j)} \quad (3)$$

其中:

$$E_x=\frac{\partial G}{\partial x}*f(x,y);E_y=\frac{\partial G}{\partial y}*f(x,y) \quad (4)$$

$A(i,j)$ 反映了图像上点 (i,j) 处的边缘强度, $\varphi(i,j)$ 为图像上点 (i,j) 处的法向矢量,垂直于边缘的方向。

(3)对梯度幅值进行非极大值抑制。

通过抑制梯度方向上的所有非屋脊峰值的梯度幅值来得到细化边缘。通过判断每一点的梯度方向上 $A(i,j)$ 是否为其领域的最大值来确定该点是否为边缘点,实现抑制梯度方向上的所有非屋脊峰值的梯度幅值来得到细化边缘和消除许多虚假的边缘点。

(4)双阈值算法检测和连接边缘。

用高阈值 T_H 和低阈值 T_L ,分别作用于非极大值抑制后的图像,得到两个边缘图像 $T_H(i,j)$ 和 $T_L(i,j)$ 。 $T_H(i,j)$ 是用高阈值得到的边缘阵列,含有很少的假边缘, $T_L(i,j)$ 是用低阈值得到的边缘阵列,保留了较多细

节信息。根据边缘的连通性,以边缘图像阵列 $T_H(i,j)$ 为基础,在边缘图像阵列 $T_L(i,j)$ 中搜索可能的边缘点进行连接,最终可以得到既消除了较多假边缘又保留了比较重要边缘信息的理想边缘图像,如图4所示,黄色线条为本文得到的像素精度边缘。

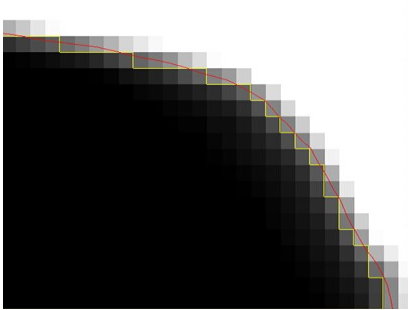


图4 亚像素与像素精度边界对比图

然后,利用 Canny 算子得到的像素级边缘通过插值算法得到亚像素精度边缘(如图4红色线条所示)。亚像素算法精度一般能达到0.1~0.5个像素,相当于精度提高了2到10倍。亚像素精度表示相邻两像素之间细分情况,也就是每个像素将被分为更小的单元从而对这些更小的单元实施插值算法。插值类型主要包括最近插值法、双线性插值法和双立方插值法。综合考虑执行速度和插值精度本文采用双线性插值法。

双线性插值是利用了需要处理的原始图像像素点周围的四个像素点的相关性,通过双线性算法计算得出的。如图5所示,双线性插值法就是对于一个目的坐标,通过向后映射法得到其在原始图像的对应的浮点坐标 (x,y) ,其中 x_1,y_1 均为非负整数,则这个像素的值 $f(x,y)$ 可由原图像中坐标为 (x_1,y_1) , (x_1,y_1+1) , (x_1+1,y_1) , (x_1+1,y_1+1) 所对应的周围四个像素的值决定,即

$$f(x,y)=(x_1,y_1)(y_1+1-y)(x_1+1-x)+(x_1+1,y_1) \cdot (y_1+1-y)(x-x_1)+(x_1,y_1+1)(y-y_1) \cdot (x_1+1-x)+(x_1+1,y_1+1)(y-y_1)(x-x_1)$$

其中 $f(x,y)$ 表示源图像 (x,y) 处的像素值,以此类推。插值算法使得在提取边缘时具有亚像素精度,从而提高了对阀芯尺寸测量的精度。

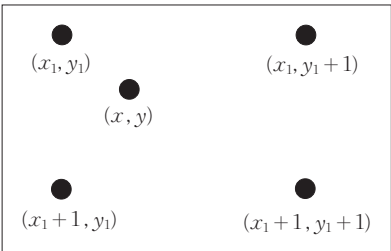


图5 双线性插值原理

同时,由于阀芯的检测环境可能存在污渍和光衍射等环境因素的干扰而产生一定的噪声,所以在提取边缘时会出现一些假边缘。使用 `select_shape_xld(Edges,`

`SelectedXLD, 'area', 'and', 50 000, 70 000)` 算子可以通过检测对象的面积特征,剔除由于噪声干扰产生的假边缘,获取理想的阀芯亚像素级阀芯边缘。这里阈值范围选择50 000~70 000是由于算子 `area_center_xld` 得到阀芯亚像素级边缘所围城的面积大约是60 300的原因。图6,7是先进行亚像素级边缘提取后,再经过筛选处理前后得到的亚像素级阀芯边缘对比图。

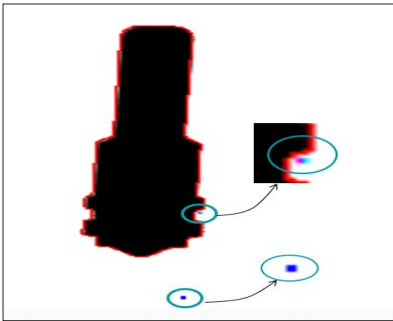


图6 筛选处理前亚像素级阀芯边缘图

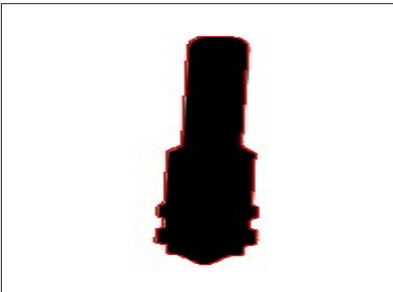


图7 筛选处理后亚像素级阀芯边缘图

3.2.2 生成最小矩形轮廓

最小外接矩形是一个图形的无穷多个外接矩形中面积最小的外接矩形。由于几何图形的最小外接矩形是唯一的,它在一定程度上描述了该图形的某些几何特征,即长、宽以及图像的倾角等,因此,可以用其描述图像轮廓的尺寸等特征。算子 `smallest_rectangle2_xld(SelectedXLD, SRRow, SRColumn, SRPhi, SRLength1, SRLength2)` 可以获取筛选后亚像素级边缘图像的最小外接矩形(如图8所示),并由此可计算出阀芯的长度和宽度(即最大直径值)。

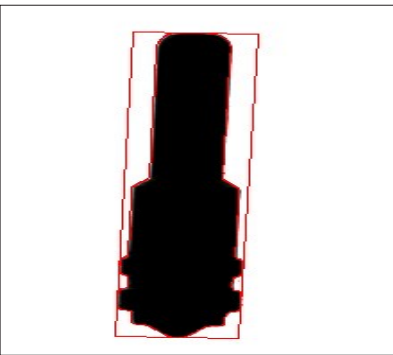


图8 最小外接矩形图

3.2.3 最小二乘拟合亚像素边缘

想要较精确得到阀芯底端直径,通常有两种可以选择的方式。一种方式是选择高像素、高品质的摄像头和镜头等,但这将势必会增加检测的硬件成本;另一种方式是通过算法的优化设计来达到目标精度^[11-12]。所以,这里选择对之前得到的亚像素级边缘再进行亚像素级的最小二乘直线拟合,其结果也是亚像素级的精度。

用最小二乘法进行直线拟合是最基本和最常用的方法。设 x 和 y 之间的函数关系为:

$$y = a + bx \quad (5)$$

用最小二乘法估计参数时,要求观测值的残差最小,可得到正规方程组:

$$\begin{cases} \hat{a}N + \hat{b}\sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N y_i \\ \hat{a}\sum_{i=1}^N x_i + \hat{b}\sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i y_i \end{cases} \quad (6)$$

从而解得正规方程组参数 a 和 b 的最佳估计值 \hat{a}_0 和 \hat{a}_1 。即

$$\hat{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^N y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)\left(\sum_{i=1}^N x_i y_i\right)}{N\left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2} \quad (7)$$

$$\hat{b} = \frac{N\left(\sum_{i=1}^N x_i y_i\right)\left(\sum_{i=1}^N y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)\left(\sum_{i=1}^N y_i\right)}{N\left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2} \quad (8)$$

在进行最小二乘的直线拟合时首先必须得到需要拟合的线段,所以对之前得到的亚像素级边缘进行分段、归类、选择提取等步骤得到待拟合线段(如图9,10所示)。

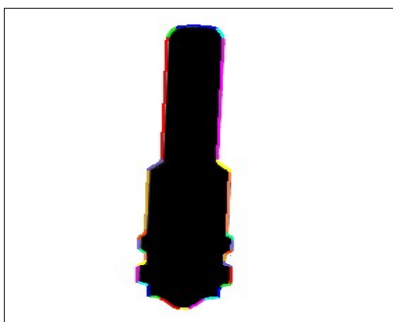


图9 轮廓分割后图

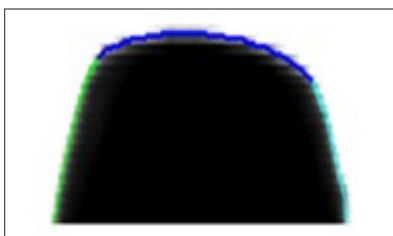


图10 拟合前底部线段图

Halcon中通过segment_contours_xld(SelectedXLD, ContoursSplit, 'lines', 0, 4, 3)对之前得到的 SelectedXLD 轮廓进行分割,接着将分割后的 ContoursSplit 通过算子 sort_contours_xld (ContoursSplit, SortedContours, 'upper_left', 'true', 'row')进行归类。然后由算子 select_obj (SortedContours, SingleSegment, i)筛选得到待拟合线段的亚像素参数 (X_i, Y_i) 集合。最后,由算子 fit_line_contour_xld (SingleSegment, 'regression', -1, 0, 5, 3, RowBegin, ColBegin, RowEnd, ColEnd, Nr, Nc, Dist)进行最小二乘的直线拟合。通过计算得到拟合直线可以较精确得到阀芯底端直径值(如图11,12所示)。



图11 拟合后底部直线图

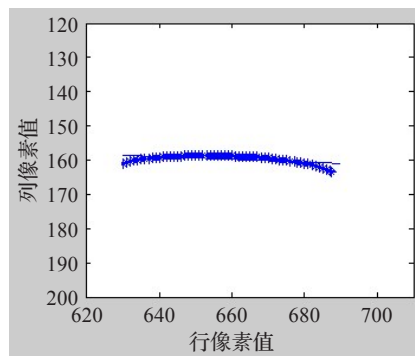


图12 底部线段拟合 Matlab 仿真图

3.3 测量结果输出

经过图像的获取、处理和分析之后,可以得到比较理想的结果图像,图像上的特征目标定位在亚像素级别,相当于提高了测量系统精度。如果算法的测量精度可达0.1个像素,相当于测量系统的精度提高了10倍^[13]。然后使用Halcon的文本编辑与显示算子直接将测量结果显示在如图13所示处理后的图片中。

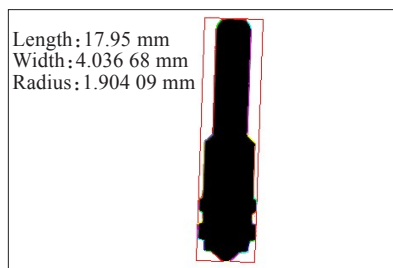


图13 阀芯检查结果图

4 结果分析

经过最小矩形提取和最小二乘拟合所得的阀芯尺寸大小都是以像素为单位的。所以,需要用标准阀芯进行标定。先用螺旋测微器测出合格的标准阀芯的实际尺寸,进而换算出标定系数。利用螺旋测微器测出的合格标准阀芯长度、宽度和底部直径的测量均值如表 1 所示。由于螺旋测微器的精度为 0.01 mm,可以把螺旋测微器的测量结果作为理论参考值。

表 1 螺旋测微器对阀芯的测量结果

mm			
标号	长度	宽度	直径
均值	17.952	4.008	1.903

实际值长度单位(mm)与像素单位(pixel)之间的转换系数:

$$K = \frac{d_{mm}}{d_{pixel}} \tag{9}$$

通过标准阀芯标定测试之后,可以得到这里 K 值取 0.029 4 mm/pixel 是比较准确的。选定 K 值后进行检测,得到 10 组测量数据如表 2 所示。

表 2 本文方法对阀芯的测量结果

序号	长度/mm	宽度/mm	直径/mm
1	17.959 8	4.007 0	1.902 9
2	17.941 1	3.984 8	1.891 5
3	17.967 6	4.006 8	1.902 3
4	17.979 2	4.004 5	1.900 2
5	17.927 5	3.995 7	1.893 2
6	17.968 8	4.006 7	1.903 3
7	17.946 4	3.996 0	1.894 3
8	17.956 2	4.002 7	1.900 9
9	17.923 1	4.004 7	1.901 7
10	17.950 2	3.992 8	1.896 7
均值	17.952 0	4.000 2	1.898 7
方差	0.000 293 3	0.000 050 7	0.000 017 3

由表 2 测量数据可知,测量结果的均值很接近标准值,同时方差很小,表明系统工作稳定。最后,由表 1 和表 2 的测量数据,计算了这两种方法的相对误差,测量精度达到 0.2% 左右。同时,由图 14 的误差曲线可

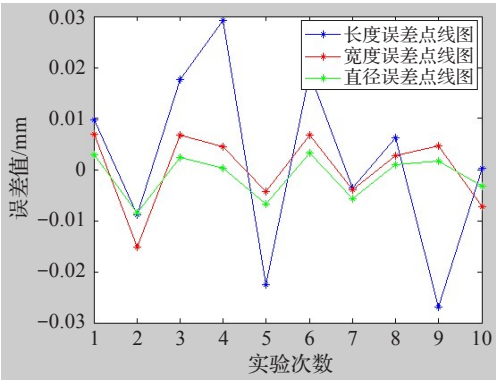


图 14 阀芯测量误差点线图

以看出宽度和直径误差一般可以控制在 0.01 mm 以内,小于每个像素 0.029 4 mm 的长度,达到亚像素级的精度。

5 结束语

综上所述,基于机器视觉软件 Halcon 以及结合最小二乘法,利用图像处理原理来实现对阀芯尺寸的亚像素级测量,可以满足检测过程对快速性、稳定性以及准确性的要求。同时,基于 Halcon 的机器视觉技术,已经在诸如零配件制造、电子、机械等行业有了广泛应用。该方法通过软件算法达到亚像素精度,在一定程度上降低了硬件的使用成本,这将会对基于 Halcon 的机器视觉技术的推广应用起到一定的积极推动作用。

参考文献:

[1] 章炜. 机器视觉技术发展及其工业应用[J]. 红外, 2006, 27 (2): 11-17.

[2] 陈卫军. DS18B20 在粮食无线测温系统中的应用[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1).

[3] 郭磊, 徐友春. 基于单目视觉的实时测距方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2006(1): 74-81.

[4] 古意昌, 徐杜, 蒋永平. 改进 Prewitt 算子圆锥面边缘高精度检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(22): 201-204.

[5] Klette R. Robot vision[M]. Changsha: Hunan Literature and Art Publishing House, 2001.

[6] Dworkni S B, Nye T J. Image processing for machine vision measurement of hot formed parts[J]. Materials Processing Technology, 2006, 174: 1-6.

[7] Steger C, Ulrich M, Wiedemann C. 机器视觉算法与应用[M]. 杨少荣, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[8] 项辉宇, 刘倩倩, 韩宝安, 等. 基于 HALCON 的单目视觉系统冲压件的几何特征检测[J]. 制造业自动化, 2014, 36(6): 48-51.

[9] 张玲艳. 基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法研究[D]. 西安: 西北大学, 2009.

[10] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.

[11] 龚立雄. 基于二维小波亚像素图像处理的螺纹尺寸测量[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(8): 136-140.

[12] Wang Kaiyu, Chiasson J, Bodson M, et al. A nonlinear least-squares approach for identification of the induction motor parameters[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2005, 50(10): 1622-1628.

[13] 马睿, 曾理, 卢艳平. 工业 CT 图像的亚像素级面积测量[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(15): 233-236.