

文章编号:1007-2780(2016)06-0621-05

# 基于 Hough 变换的瞳孔识别方法研究与实现

张宏薇<sup>1</sup>, 王仕洋<sup>1</sup>, 李宪龙<sup>1</sup>, 马海涛<sup>1\*</sup>, 崔继承<sup>2</sup>,  
朱继伟<sup>2</sup>, 李鸣皋<sup>3</sup>, 高原<sup>3</sup>, 韩磊<sup>3</sup>, 周必业<sup>3</sup>

- (1. 吉林大学 通信工程学院, 吉林长春 130012;
2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033;
3. 海军总医院全军航海航空医学中心, 北京 100048)

**摘要:**研究了一种改进的基于 Hough 变换圆检测的瞳孔识别方法。直接利用 Hough 变换圆检测进行瞳孔识别准确率低、运算量大,为此,本文提出了改进的识别方法。在实现 Canny 边缘检测的基础上,利用 Hough 变换进行求解时,限定检测的半径范围,在此范围内,根据参数空间圆的方程,求出对应的圆心坐标,得到最佳拟合圆,最终实现瞳孔识别以及中心点定位。在 vc++6.0 开发平台下,对 150 幅图像进行瞳孔识别检测实验,结果显示,直接利用 Hough 变换检测方法的准确率为 70.7%,平均速度为 1 s;本方法的准确率为 94%,平均速度为 0.45 s,可见相较于直接利用 Hough 变换进行瞳孔识别,本文方法在识别准确率和识别速度方面均有显著提高。结果表明,此方法能够快速而准确地进行瞳孔识别以及中心点定位。

**关键词:**霍夫变换;圆的检测;瞳孔识别;中心点定位

**中图分类号:**TP391    **文献标识码:**A    **doi:**10.3788/YJYXS20163106.0621

## Research and implementation of pupil recognition based on Hough transform

ZHANG Hong-wei<sup>1</sup>; WANG Shi-yang<sup>1</sup>; LI Xian-long<sup>1</sup>; MA Hai-tao<sup>1\*</sup>; CUI Ji-cheng<sup>2</sup>;  
ZHU Ji-wei<sup>2</sup>; LI Ming-gao<sup>3</sup>; GAO Yuan<sup>3</sup>; HAN Lei<sup>3</sup>; ZHOU Bi-ye<sup>3</sup>

- (1. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China;
2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
3. Navy General Hospital of PLA Maritime Aviation Medical Center, Beijing 100048, China)

**Abstract:** As traditional way for pupil recognition based on Hough transform circle detection has lower accuracy and speed, an improved method is proposed in this paper. After edge detection by Canny operator, Hough transform is performed in a limited radius. Within this range, finding the best fitting circle based on the circle equation in parameter space to get the center coordinates and radius, pupil

**收稿日期:**2015-12-25; **修订日期:**2016-01-24.

**基金项目:**国家重大科学仪器设备开发专项项目(No. 2014YQ120351)

Supported by National Key Scientific Instrument and Equipment Development Projects (No. 2014YQ120351)

\* 通信联系人, E-mail: maht@jlu.edu.cn

recognition and center positioning are achieved ultimately. 150 images are used to test the effects of pupil recognition under vc++ 6.0 development platform. The experiments results show that the accuracy is 70.7% with an average speed of 1 s based on Hough transform which is used directly. In comparison the accuracy is 94% and the average speed is 0.45 s with the method proposed in this paper. It indicates that this method has a significant improvement on accuracy and speed. It can recognize the pupil and locate the center faster and has more accuracy.

**Key words:** Hough transform; circle detection; pupil recognition; center positioning

1 引言

瞳孔识别在刑侦、交通安全、人机交互等方面都有广阔的应用前景。目前的瞳孔识别方法主要分为两大类<sup>[1-2]</sup>：一是红外光照下的瞳孔检测，虽然性能较好，但一般系统复杂，造价昂贵；另一种是普通光照下的虹膜检测，硬件较易实现，此时瞳孔与虹膜颜色相近，难以区分，但由于瞳孔与虹膜是同心圆，所以通过定位虹膜中心可以实现瞳孔的定位。对瞳孔中心的研究，大多基于圆检测<sup>[3]</sup>，而 Hough 变换圆检测是目前应用最为广泛的方法之一，该方法对局部缺损不敏感，抗干扰性强<sup>[4]</sup>。

但是一方面由于眼部图像边缘较丰富，受眼睑睫毛等的影响，运用一次 Hough 变换进行瞳孔定位精确度不高；另一方面运用 Hough 变换圆检测，需要对每一个边缘像素点求出所有可能的圆心与半径，计算量非常大，检测速度慢<sup>[5-6]</sup>。

针对上述问题，本文提出了一种人眼瞳孔中心的定位方法。其理论基础是 Hough 变换圆检测，但是，在求解时，设置了半径的检测范围，在此范围内，根据参数空间圆的方程，求出对应的圆心坐标，最终实现瞳孔的中心定位。经过验证，本文提出的方法可以实现快速准确的瞳孔识别以及定位。

2 理论基础

2.1 Canny 算子边缘检测

边缘检测可以剔除图像中被认为不相关的信息，提取边缘，从而大幅度减少数据量。传统的边缘检测算子对于噪声敏感，在处理实际图像中效果不理想<sup>[7]</sup>。Canny 边缘检测算子<sup>[8-9]</sup>在抗噪声干扰和精度定位之间寻求最佳折衷方案，具有良

好的效果。其原理如下<sup>[10]</sup>：

首先应用高斯滤波器去除噪声干扰，平滑图像，高斯函数如下：

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

图像平滑以后，利用一阶微分算子计算各点的梯度，得到幅值和方向，卷积模板如下：

$$H_1=\begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}, H_2=\begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

为了细化边缘，选出梯度幅值达到局部最大值的点，作为边缘的候选点。

将候选点拼接成轮廓，采用双阈值法实现：对于一个候选点，如果其梯度大于高阈值，则作为边缘点；如果小于低阈值，则被抛弃；如果介于高低阈值之间，则只有在其与边缘点连接时，才被接受<sup>[11]</sup>。

2.2 Hough 变换检测圆

Hough 变换圆检测的基本理论是二值图像中的任何点  $\{(x_i,y_i)|i=1,2\cdots,n\}$  都可能是一些候选圆集合的一部分<sup>[11-13]</sup>。已知圆周上的点  $(x_i,y_i)$ ，要求圆心坐标  $(a,b)$  和半径  $r$ ，将图像从  $(x,y)$  平面变换到  $(a,b,r)$  参数空间，得到如下方程：

$$(a-x_i)^2+(b-y_i)^2=r^2 \quad (3)$$

$(x,y)$  平面中的一点变换为参数空间  $(a,b,r)$  上的一个三维锥面，锥面上的点对应着原始图像上所有过点  $(x_i,y_i)$  的圆。如果将  $(x,y)$  平面中所有非 0 像素转化成  $(a,b,r)$  空间中的这些点集并且将其贡献相加，那么累加空间  $(a,b,r)$  上以局部最大值出现的点就对应着原始图像在  $(x,y)$  平面出现的圆，如图 1 所示。由此得到点  $(a_0,b_0,r_0)$ ，就是 Hough 变换最终要找到的点，即对应于图像空间中圆的圆心坐标与半径。

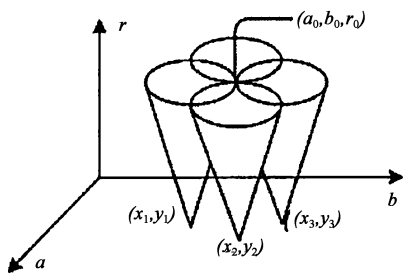


图 1 圆的参数空间  
Fig. 1 Parameter space of circle

3 实现方法

(1)对灰度化图像采用 Canny 算子进行边缘检测,包括:高斯滤波;梯度计算;梯度非极大值抑制;边缘检测与连接;得到最后的边缘图像。步骤如图 2 所示,边缘检测效果如图 3 所示。

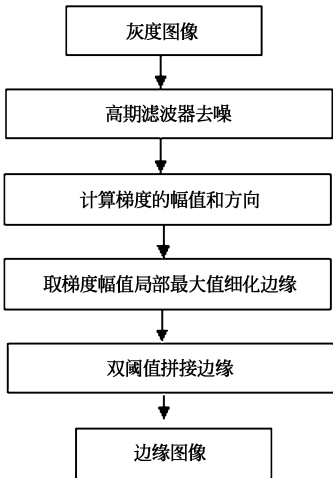


图 2 Canny 边缘检测步骤  
Fig. 2 Canny edge detection steps



图 3 Canny 边缘检测效果  
Fig. 3 Result of canny edge detection

(2)在 Canny 边缘检测的基础上,利用 Hough 变换圆检测进行瞳孔定位,具体步骤如

下:由先验知识,设置半径  $r$  的检测范围为  $35 \sim 45$ ;然后对于每一个边缘像素点  $(x_i, y_i)$ ,利用参数空间方程(3),结合  $r$  的值,得到一组  $(a, b, r)$ ;对于所有边缘像素点的计算结束后,对数组  $A(a, b, r)$  累加,累加数组中的峰值  $(a_0, b_0, r_0)$  即为瞳孔的圆心坐标与半径。

(3)通过 Hough 变换得到边缘图像中的在限定半径范围内的最佳拟合圆的圆心坐标与半径,作为瞳孔中心坐标,以及虹膜半径。

流程图如图 4 所示。

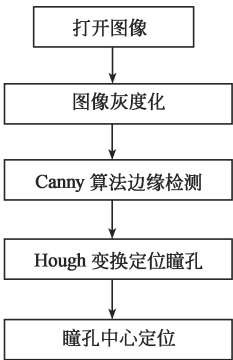


图 4 定位流程图  
Fig. 4 Flow chart of location

4 实验结果及分析

为了验证本文方法的识别效果,对各种眼部图像进行试验,眼部图像为  $320 \times 280$  的 RGB 图像,来自一段视频的某帧。实验环境为一台笔记本电脑,配置为 Intel(R)Core(TM)2 Duo CPU T6530 @ 2.1GHz,2G 内存、WindowsXP 操作系统、vc++6.0 编程环境<sup>[14]</sup>。如图 5 所示,对于不同的眼部状态以及有部分遮挡的情况下,本文方法均能有效识别瞳孔。

此外,在本实验环境的基础上,对比了本文方法与使用一次 Hough 变换而不进行半径限定的方法的识别效果与运行速度。如图 6 所示的两组对比图,当半径范围不限时,Hough 变换将在边缘中寻找最佳拟合圆,如图 6(a),(c)所示,可能识别过小或过大的拟合圆,导致错误的瞳孔定位;而本文方法寻找的拟合圆的半径在限定的范围内,是在虹膜半径范围内寻找最佳拟合圆,从而提高识别精度,如图 6(b),(d)所示;在识别速度方面,对比这两种方法,本文对 100 幅图像进行检

测,不限定半径方法的平均速度为 1 s,本文方法

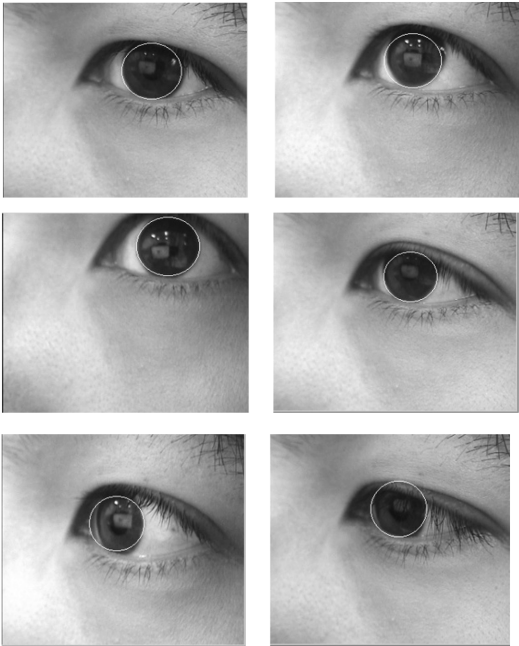
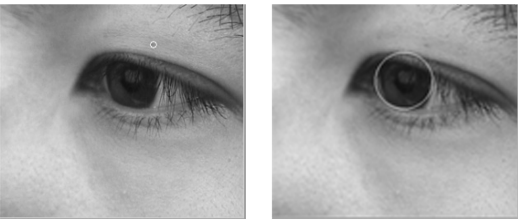
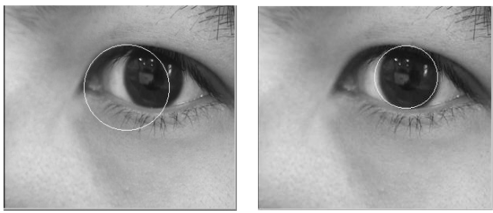


图 5 眼部瞳孔识别效果  
Fig. 5 Result of pupil recognition



(a)不限定半径 (b)限定半径  
(a)Not limited radius (b)Limited radius



(c)不限定半径 (d)限定半径  
(c)Not limited radius (d)Limited radius

图 6 不限定半径方法与本文方法区别  
Fig. 6 Differenc between not limited radius and this method

的平均速度为 0.45 s。可见本文方法在识别速度与准确度方面均有改善。

5 结 论

直接利用 Hough 变换圆检测进行瞳孔识别的准确度低,计算量大,因此本文提出了改进的瞳孔识别方法。在 Canny 边缘检测的基础上,设置检测圆的半径的范围,然后利用 Hough 变换寻找此半径范围内的最佳拟合圆,实现瞳孔识别。在 vc++6.0 平台下,通过对 150 幅图像的检测实验,结果显示,直接利用 Hough 变换圆检测进行瞳孔识别的准确率为 70.7%,平均速度为 1 s;本文方法瞳孔识别的准确率为 94%,平均速度为 0.45 s,在识别准确度和速度方面均有显著提高。结果表明此方法可以实现快速准确的瞳孔识别与中心点定位。

参 考 文 献:

[1] 王先梅,杨萍,王志良. 多姿态眼球中的瞳孔定位算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(8):1427-1432.  
WANG X M, YANG P, WANG Z L. Pupil localization for multi-view eyeballs [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2011, 23(8): 1427-1432. (in Chinese)

[2] 赵青云. 基于视频图像的瞳孔精确定位方法研究[D]. 长春:吉林大学,2012.  
ZHAO Q Y. Research on method of precise localization of the pupil based on video images [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)

[3] 王长远,张景,李京京. 瞳孔中心快速定位方法研究[J]. 计算机工程与应用,2011,47(24):196-198,201.  
WANG C Y, ZHANG J, LI J J. Research on algorithm for pupil-center rapid localization [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(24): 196-198, 201. (in Chinese)

[4] ZHU Y X, CARRAGHER B, MOUCHE F, et al. Automatic particle detection through efficient Hough transforms [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2003, 22(9): 1053-1062.

[5] WILDES R P. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1997, 85(9): 1348-1363.

- [6] 宓翔,邱飞岳. 基于 CCD 的瞳孔自动识别方法的设计与实现[J]. 轻工机械, 2012, 30(1): 88-91, 94.  
MI X, QIU F Y. Design and implementation of pupil automatic recognition based on CCD [J]. *Light Industry Machinery*, 2012, 30(1): 88-91, 94. (in Chinese)
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 463-474.  
GONZALEZ R C, WOODS R E, Eddins S L. *Digital Image Processing* [M]. RUAN Q Q, RUAN Y Z, Trans. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 463-474. (in Chinese)
- [8] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, PAMI-8(6): 679-698.
- [9] 王林波, 王延杰, 邸男, 等. 基于几何特征的圆形标志点亚像素中心定位[J]. 液晶与显示, 2014, 29(6): 1003-1009.  
WANG L B, WANG Y J, DI N, et al. Subpixel location of circle target center based on geometric features [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6): 1003-1009. (in Chinese)
- [10] 吕哲, 王福利, 常玉清. 一种改进的 Canny 边缘检测算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(12): 1681-1684.  
LV Z, WANG F L, CHANG Y Q. An improved canny algorithm for edge detection [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2007, 28(12): 1681-1684. (in Chinese)
- [11] 布拉德斯基, 克勒. 学习 OpenCV[M]. 于仕琪, 刘瑞祯, 译. 北京: 清华大学出版社, 2009: 173, 175-183.  
BRADSKI G, KAEHLER A. *Learning OpenCV* [M]. YU S Q, LIU R Z, Trans. Beijing: Tsinghua University, 2009: 173, 175-183. (in Chinese)
- [12] 朱桂英, 张瑞林. 基于 Hough 变换的圆检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(6): 1462-1464.  
ZHU G Y, ZHANG R L. Circle detection using Hough transform [J]. *Computer Engineering and Design*, 2008, 29(6): 1462-1464. (in Chinese)
- [13] 杨全银. 基于 Hough 变换的图像形状特征检测[D]. 济南: 山东大学, 2009.  
YANG Q Y. Shape features detection based on hough transform in images [D]. Jinan: Shandong University, 2009. (in Chinese)
- [14] 张铮, 王艳平, 薛桂香. 数字图像处理与机器视觉-Visual C++与 Matlab 实现[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 338-340, 350-353.  
ZHANG Z, WANG Y P, XUE G X. *Digital Image Processing and Machine Vision-Visual C++ and Matlab Realization* [M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2010: 338-340, 350-353. (in Chinese)

作者简介: 张宏薇(1990—), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像分析。E-mail: 914176191@qq.com

马海涛(1969—), 男, 吉林长春人, 博士, 副教授, 主要从事分析测试系统的研究。E-mail: maht@jlu.edu.cn