

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201112013

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20120527.1340.003.html>

基于图像处理技术的瞳孔和角膜反射中心提取算法

王锦榕¹, 袁学海¹, 刘增良²

(1. 大连理工大学 控制科学与工程学院, 辽宁 大连 116024; 2. 中国人民解放军国防大学 信息作战与指挥训练教研部, 北京 100091)

摘要: 为了提高瞳孔中心的实时提取精度和抗干扰能力, 利用基于瞳孔-角膜跟踪法原理和图像处理的眼动跟踪技术, 实现瞳孔和角膜反射中心的精确提取. 首先在红外光源条件下, 用摄像机捕获人眼图像, 通过图像自适应二值化阈值确定图像处理区域, 以减小处理时间; 其次, 利用高低2次二值化阈值提取角膜反射中心; 然后求取自适应最佳阈值确定瞳孔位置和大小; 最后用梯度法提取瞳孔轮廓特征点, 并用椭圆拟合瞳孔的方法确定瞳孔中心. 实验结果表明, 该算法在保证瞳孔和角膜反射中心提取的准确性和稳定性的同时, 能满足实时处理要求.

关键词: 瞳孔中心; 角膜反射中心; 图像处理; 瞳孔-角膜跟踪法; 自适应最佳阈值; 椭圆拟合; 提取算法

中图分类号: TP751.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2012)05-0423-06

An extraction method of pupil and corneal reflection centers based on image processing technology

WANG Jinrong¹, YUAN Xuehai¹, LIU Zengliang²

(1. School of Control Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Institute of Information Operation, National Defense University of PLA, Beijing 100091, China)

Abstract: In order to improve the real-time localization accuracy and anti-jamming capability of the pupil center, an eye-tracking method was used based on the pupil-cornea tracking principle and image processing. As a result, accurate measurements of the centers of the pupil and corneal reflection were obtained. First, under the infrared light, an eye image was captured by a camera. In order to reduce the processing time, the image processing area was acquired by applying an adaptive binarization threshold. Second, the center of the corneal reflection was extracted by using a high threshold value and a low threshold value. Then, the optimum adaptive threshold value was calculated to get the location and size of the pupil. Finally, the feature points of the pupil edge were obtained by applying the gradient method, and the center of the pupil was located by a fitting ellipse. The results show that this algorithm can not only guarantee the accuracy and stability of obtaining the center of the pupil and the center of corneal reflection, but also meet the demands of real-time processing.

Keywords: pupil center; corneal reflection center; image processing; pupil-corneal tracking method; optimum adaptive threshold; ellipse fitting; extraction method

人总是通过五官从周围世界获取信息, 并根据这些信息指导自己的行为, 而其中 80%~90% 的信息是由视觉来获得的, 因此, 对如何利用眼睛获取视觉信息进行研究是至关重要的. 眼动测量一直是国内外有关学者关注与研究的热点课题. 近年来, 随着传感技术和微电子技术的飞速发展, 眼动测量技术得到了很大的发展, 测量眼球运动的方法已日趋成

熟, 在工业控制、机器人学和临床医学上有着广泛的应用前景. 目前主要的测量方法有眼电图法^[1]、角膜反射法^[2]、电磁线圈法^[3]、红外光电反射法^[4]、红外 TV 法^[5]、角膜反射法^[6]、瞳孔-角膜跟踪法^[7]、Purkinje 影像追踪法^[7]等. 在以上各种方法中, 瞳孔-角膜跟踪法测量准确、误差小, 且对人无干扰, 是目前较为理想的一种眼动测量方法.

文献[8]中采用星射线方法获取瞳孔边界点, 但在眼睑遮挡部分瞳孔的情况下, 易受到眼睑和睫毛的干扰, 很难获取准确的瞳孔边界点. 基于最小二

收稿日期: 2011-12-08. 网络出版日期: 2012-05-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90818025).

通信作者: 袁学海. E-mail: yuanxuehai@yahoo.com.cn.

乘法和随机原理的椭圆拟合方法^[9-10],通过对48个瞳孔边界特征点进行椭圆拟合,考虑到算法的准确性和实时性,执行的次数一般取100~150之间,该算法的执行时间约为8 ms.为了进一步减小瞳孔椭圆拟合时间,以及在眼睑遮挡部分瞳孔的情况下实现瞳孔中心的准确定位,本文提出了一种基于图像处理技术的瞳孔和角膜反射中心提取算法.

1 角膜反射中心和瞳孔中心的提取

在红外光源下,用红外滤光片滤去可见光,通过

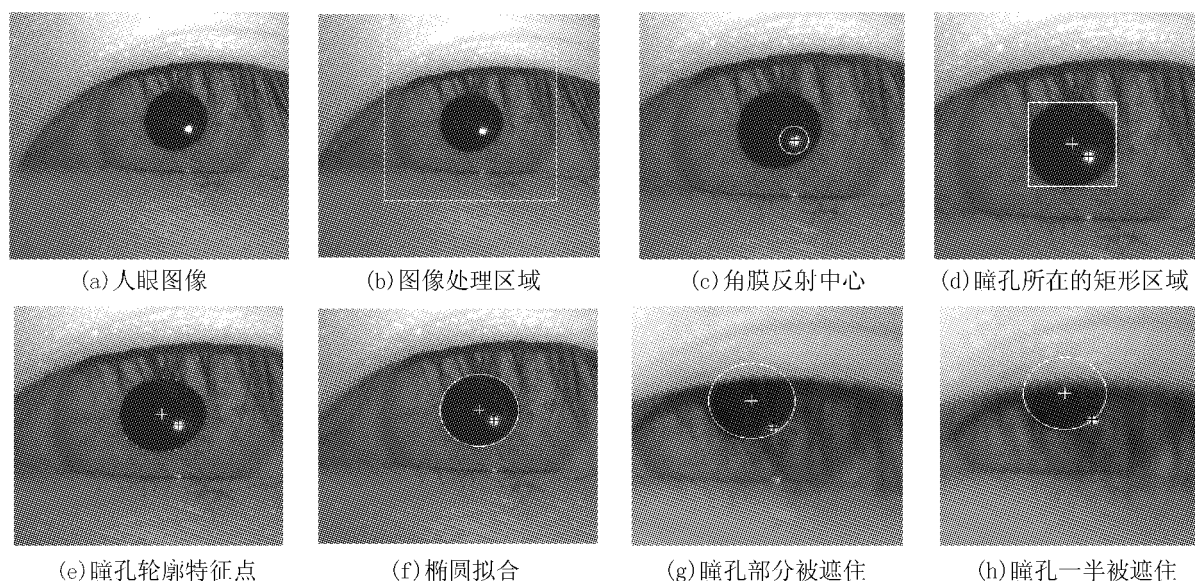


图1 图像处理结果

Fig. 1 The results of image processing

1.1 图像预处理

图像在拍摄和传送过程中会不可避免地受到噪声的干扰,因此先要对图像进行平滑处理以抑制噪声,改善图像质量.常用的平滑处理方法有邻域平均法、中值滤波、高斯滤波等.由于高斯滤波能有效地去除服从正态分布的噪声,且不会被无用的高频信号污染,同时保留了大部分所需要的信号,故采用高斯滤波对人眼图像进行平滑处理.

1.2 获取图像处理区域

在图像处理过程中,主要任务是提取角膜反射中心和瞳孔中心,因此只需要对图像中眼睛所在的区域进行处理即可,从而提高处理速度.由于人眼图像中,瞳孔颜色较暗,即灰度值较低,因此可以采用具有自适应于每帧图像变化的阈值分割法,来获取瞳孔所在的区域.

一般把包含某个目标物体的矩形外框称为该物体所在的矩形区域,它由矩形的左上角坐标和右下角坐标表示.获取图像处理区域的算法如下.

1) 取一个较低的阈值 t , 求出灰度值低于 t 的面

摄像机实时采集人眼图像视频中的人眼图像,见图1(a).图像中有一个很亮的反射光斑,即角膜反射光斑.瞳孔的形状近似为椭圆,颜色较暗,其外围虹膜颜色较亮,瞳孔与虹膜的边界清晰可见.角膜反射中心和瞳孔中心的提取过程可分为6个步骤:图像预处理、获取图像处理区域、提取角膜反射中心、求取自适应最佳阈值确定瞳孔位置和大小、用梯度法获取瞳孔轮廓特征点、使用椭圆拟合瞳孔轮廓确定瞳孔中心.如图1所示.

积 s 和所在的矩形区域 R .

2) 当 s 小于某个设定门限阈值时, t 加1,再求出 s 和 R .

3) 重复执行步骤2),当 t 达到某个设定值,且 s 小于设定门限值时,则认为眼睛闭着,退出循环;反之,则继续循环,直到 s 达到设定门限时求出 R ,并退出.

将 R 各边扩大80个像素,使瞳孔和角膜反射光斑在 R 内,令 R 为图像处理区域,处理结果见图1(b).

1.3 提取角膜反射中心

由图1(a)可知,角膜反射光斑最大、中心最亮,从中心由里往外亮度逐渐变暗,其中还有一些较小的杂质光斑.当取较大的图像二值化阈值时,角膜反射光斑的面积较小,几乎没有杂质点,但提取的角膜反射中心误差较大.随着二值化阈值的减小,角膜反射光斑的面积逐渐变大,同时引入的杂质点也逐渐增加.因此,要使提取的角膜反射中心误差减小,必须使角膜反射光斑面积足够大,且杂质点很少.

由于角膜反射光斑中心最亮,因此可以用高低2次阈值提取角膜反射中心,具体算法如下.

1) 首先取一个较大的图像二值化阈值,求取粗略的角膜反射中心.

2) 以这个角膜反射中心为圆心, r 为半径的圆形区域作为图像处理区域,其中 r 的取值要使得角膜反射光斑在圆形区域内.

3) 在图像处理区域内,取一个较小的二值化阈值,求取角膜反射中心坐标 (x_c, y_c) .

此方法增大了角膜反射光斑面积的同时,消除了杂质光斑的干扰,既提高了角膜反射中心的提取精度,同时又减少了处理时间,处理结果见图1(c).

1.4 求取自适应阈值确定瞳孔位置和大小

由于瞳孔较暗,灰度值比较小,因此可以采用具有自适应于每帧图像变化的阈值来提取瞳孔.当二值化阈值很小时,只有灰度值小于阈值的点可以通过,则瞳孔面积和瞳孔所在的矩形区域很小,是整个瞳孔的一小部分.随着阈值的增加,瞳孔面积和瞳孔所在的矩形区域面积逐渐加大.由于瞳孔分布均匀,灰度值大小差不多,故瞳孔面积增大的速度比矩形区域快,即瞳孔面积与矩形区域面积的比值逐渐增大.当阈值达到一定值时,即扩大到瞳孔的边缘时,瞳孔面积增加速度逐渐变慢,而矩形区域面积则会继续增加,若继续增加阈值,则瞳孔面积与矩形区域面积的比值逐渐减小.该比值可以表示为

$$p = \frac{S_0}{S}.$$

式中: S_0 表示瞳孔面积, S 表示矩形区域面积.随着二值化阈值的逐渐增大, p 是一个先增后减的比率函数,此函数极点所对应的阈值就是提取瞳孔的最佳二值化阈值.通过这个最佳阈值就可以求出瞳孔的位置和大小.

由于人的眼睑张合度的不同,会出现眼睫毛遮住瞳孔的现象,造成瞳孔中心与矩形区域中心位置相差很大.在处理过程中,取一个大于瞳孔实际大小的设定值,当瞳孔所在的矩形区域的长度或宽度大于该设定值时,则认为眼睫毛遮住了瞳孔.由于瞳孔中心与矩形区域中心位置相差很大,因此可以通过瞳孔中心到矩形区域各边的距离来重新设置图像处理区域,从而消除眼睫毛的影响,见图2.

在图像处理区域中,求取自适应最佳阈值的具体步骤如下.

1) 设置初始二值化阈值 $t = 25$, 求出初始比率 p 和矩形区域 R , 其中矩形区域由矩形的左上角坐标 (x_{10}, y_{10}) 和右下角坐标 (x_{20}, y_{20}) 表示.

2) 当 $t < 55$ 时, t 加1, 求出新的比率 p_1 和矩形区域 R_1 , R_1 由矩形的左上角坐标 (x_{11}, y_{11}) 和右下角坐标 (x_{22}, y_{22}) 表示, 否则退出.

3) 当 $p - p_1 > 0.05$ 且 $p > 0.6$, 则此时的 t 为最佳阈值, 退出; 反之, 则继续执行.

4) 求 R_1 的长度 a 和宽度 b , 若满足 $a > 110$ 或 $b > 100$, 则继续执行; 反之, 令 $p = p_1$, $R = R_1$ 返回到步骤2) 执行.

5) 令 $R_0 = R_1$, R_0 由矩形的左上角坐标 (x_1, y_1) 和右下角坐标 (x_2, y_2) 表示. 求出瞳孔中心坐标 (x, y) , 再求瞳孔中心到矩形区域各边的距离, 即 $l_x = x - x_1$, $r_x = x_2 - x$, $t_y = y - y_1$, $b_y = y_2 - y$.

6) 若满足 $a > 110$, 则当 $l_x > r_x$ 时, 令 $x_1 = x - r_x$, $x_2 = x_2 + 10$, $y_1 = y_1 - 10$, $y_2 = y_2 + 10$; 当 $l_x < r_x$ 时, 令 $x_2 = x + l_x$, $x_1 = x_1 - 10$, $y_1 = y_1 - 10$, $y_2 = y_2 + 10$.

7) 若满足 $b > 100$, 则当 $t_y < b_y$ 时, 令 $y_1 = y_1 - 10$, $y_2 = y + t_y$; 当 $t_y > b_y$ 时, 令 $y_1 = y - b_y$, $y_2 = y_2 + 10$.

8) 令 R_0 为图像处理区域, t 减2, 求出 p 和 R , 返回到步骤2) 执行.

通过求出的自适应最佳阈值确定瞳孔位置和大小, 该方法具有很强的鲁棒性, 其处理结果见图1(d).

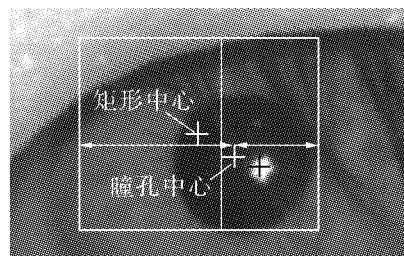


图2 设置处理区域

Fig.2 Set the processing area

1.5 用梯度法提取瞳孔轮廓特征点

在人眼图像中,瞳孔和虹膜具有明显的颜色差异,瞳孔的灰度值较低,虹膜的灰度值较高.因此可以通过灰度的变化率和变化方向来衡量瞳孔与虹膜边界的灰度变化,这里分别用梯度的幅值和方向表示.对于某一方向上一定范围内的连续像素点集合,可以用特定的算子求取任意像素点在该方向上的梯度值,梯度值最大的像素点为边界点^[11].

通过自适应最佳阈值法确定的瞳孔中心坐标为 (x_p, y_p) , 瞳孔在 x 方向和 y 方向上的半径分别为 r_x 和 r_y , 这些值具有很高的精度和稳定性. 令

$$r = \frac{r_x + r_y}{2},$$

因此,瞳孔轮廓特征点一般在以 (x_p, y_p) 为圆心, 半

径为 r 的圆附近. 用梯度法提取瞳孔轮廓特征点的具体步骤如下.

1) 以 (x_p, y_p) 为圆心, 半径为 r_0 的圆环区域作为图像处理区域, 见图 3, 其中 $r-7 \leq r_0 \leq r+7$.

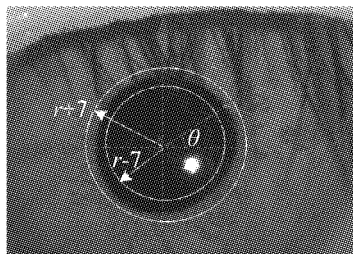


图3 圆环区域

Fig. 3 The ring area

2) 如图 3, 在处理区域内, 每一组角度 θ 和半径 r_i 都可以在圆上确定一个相应的像素点 p_i . 其中 $r_i = r-7+i (i=0, 1, \dots, 14)$, θ 为眼图坐标系中, 以 (x_p, y_p) 为出发点的射线与横轴之间的夹角, $0 \leq \theta < 2\pi$. 这样可以求出像素点 p_i 在图像中的坐标为 (x_i, y_i) , 其中,

$$\begin{cases} x_i = x_p + r_i \cos \theta, \\ y_i = y_p + r_i \sin \theta. \end{cases}$$

3) 将像数点 $p_i (i=1, 2, \dots, 14)$ 与圆心相连, 在连线上取 p_i 的相邻像数点 p_{i-1} , 求取 p_i 在 θ 方向上的梯度值 T_i . 设像数点 p_i 的灰度值为 L_i , 则

$$T_i = L_i - L_{i-1}, i = 1, 2, \dots, 14.$$

令梯度值最大的像数点为 θ 方向上瞳孔与虹膜的边界点.

4) 取一组不同的 θ , 执行步骤 2) 和 3) 就可以求出一组瞳孔轮廓的特征点.

通过此方法求出的特征点是一组准确的边界点, 其处理结果见图 1(e).

1.6 椭圆拟合瞳孔轮廓

提取的瞳孔轮廓特征点是一组离散数据, 可以通过椭圆拟合来确定瞳孔中心. 基于最小二乘法和随机原理拟合椭圆的方法具有很高的精度, 但需要一定的执行时间且鲁棒性较差, 并且在实时系统中, 容易出现干扰数据. 由于用梯度法求取的特征点是一组精确的边界点, 故可以采用基于几何参数拟合椭圆的方法, 椭圆的标准方程为

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} = 1.$$

式中: 椭圆中心坐标为 (x_0, y_0) , 长半轴为 a , 短半轴为 b , 长轴的转角为 θ . 在人眼图像中, 令 $\theta=0$, 具体的椭圆拟合步骤如下.

1) 求取瞳孔轮廓特征点的几何中心 (x_p, y_p) , 以 (x_p, y_p) 为椭圆中心, $a=r_x, b=r_y$ 拟合椭圆.

2) 统计所有特征点与椭圆的距离小于设定值 ε 的特征点数目 n , 当 n 大于设定值时, 则拟合成功, 执行步骤 5); 否则继续执行步骤 3).

3) 以 (x_p, y_p) 为椭圆中心, $n_{\max}=0$, 令 a 的初始值为 $r-7$, 终止值为 $r+7$, 步长为 1, b 的初始值为 $r-7$, 终止值为 $r+7$, 步长为 1, 进行双重循环. 求取每一组 a 和 b 对应的 n 值, 当 $n_{\max} < n$ 时, 令 $n_{\max} = n$, 并保存这一组的 a 和 b .

4) 当 n_{\max} 大于设定值时, 则拟合成功, 保存的 a 和 b 就是最佳的长半轴和短半轴, 执行步骤 5); 反之, 拟合失败, 并退出.

5) 除去与椭圆的距离大于设定值 ε 的特征点, 重新求取特征点的几何中心为瞳孔中心.

对 150 张图像进行瞳孔椭圆拟合, 基于最小二乘法和随机原理拟合椭圆方法和基于几何参数拟合椭圆方法的比较结果如表 1. 从表 1 中可以看出, 该方法具有很高的拟合精度, 且执行时间短, 其处理结果见图 1(f).

表 1 2 种拟合算法的结果比较

Table 1 Comparison of the results of two algorithms

方法	图像总数	拟合成功数量	平均运行时间/ms
最小二乘法	150	128	6.748
几何参数法	150	133	0.323

2 实验结果与分析

瞳孔和角膜反射中心的提取算法在以 VC++6.0 为平台的 P4 2.4GHz 主频, 512MB 内存的 PC 机上实现. 用该算法对人眼图像进行处理, 得到准确的瞳孔中心和角膜反射中心以及最优的瞳孔椭圆拟合, 见图 1(f). 在眼睑遮挡部分瞳孔的情况下, 该算法也能拟合出正确的瞳孔轮廓, 见图 1(g) 和 (h). 此算法的平均运行时间为 15 ms, 完全满足实时系统要求. 因此可以通过此算法对从摄像机实时采集的人眼图像进行处理, 获取瞳孔中心坐标 (x_p, y_p) 和角膜反射中心坐标 (x_c, y_c) . 瞳孔中心相对于角膜反射中心的偏移量称为角膜-瞳孔坐标 (x_{cp}, y_{cp}) , 即

$$\begin{cases} x_{cp} = x_p - x_c, \\ y_{cp} = y_p - y_c. \end{cases}$$

眼睛注视运动和平滑跟踪运动^[7]所对应的角膜-瞳孔位置坐标和实时曲线见图 4. 图 4(a) 和 (b) 为眼睛注视前方某一目标物体所得到的角膜-瞳孔位置坐标和实时曲线; 图 4(c) 和 (d) 为眼睛围绕着液晶显示屏外框做平滑跟踪运动所得到的角膜-瞳孔位置坐标和实时曲线. 实验表明, 在眼睑遮住部分

瞳孔的情况下新算法实现了瞳孔中心的准确提取,且满足实时性要求.由角膜-瞳孔坐标的实时曲线可知,提取的瞳孔中心和角膜反射中心在实时系统中具有较强的抗干扰能力.

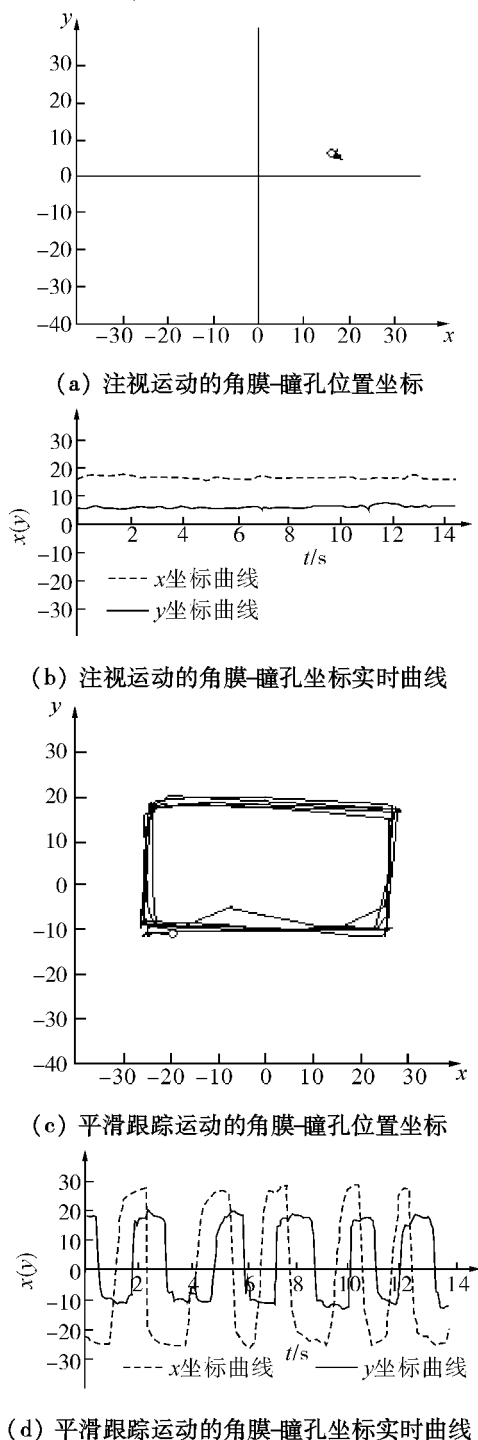


图4 注视运动和平滑跟踪运动

Fig.4 The fixation and smooth pursuit

3 结束语

瞳孔中心是确定视线方向最主要的因素,能否提取稳定、准确的瞳孔中心直接影响视线方向的准确性.本算法采用自适应阈值法确定瞳孔的位置,大

大减少了处理的数据量,然后用梯度法提取瞳孔轮廓特征点,避免了因眼睑、睫毛干扰产生的虚假特征点,最后基于几何参数法的椭圆拟合提取了准确的瞳孔中心,并有效地减少了椭圆拟合时间.后续将通过角膜-瞳孔坐标确定视线方向,进一步研究眼控鼠标.

参考文献:

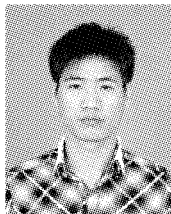
- [1] ROBINSON D A. A method of measuring eye movements using a scleral search coil in a magnetic field [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1963, BME-10: 137-145.
- [2] SHUPERT C, FUCHS A F. Development of conjugate human eye movements [J]. Vision Research, 1988, 28(5): 585-596.
- [3] GAUTHIER G M. Vertical and horizontal eye movement recording in the unrestrained cat [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1975, BME-22(3): 202-207.
- [4] JONES R. Two dimensional eye movement recording using a photoelectric matrix method [J]. Vision Research, 1973, 13(2): 425-431.
- [5] 王朝英,赵乐军,陈怀琛. 红外TV法眼动测量系统及实现 [J]. 西安电子科技大学学报, 1999, 26(3): 709-712. WANG Chaoying, ZHAO Lejun, CHEN Huaichen. A system and the implementation of eye movement measurement based on the infrared TV [J]. Journal of Xidian University, 1999, 26(3): 709-712.
- [6] 闫国利,田宏杰. 眼动记录技术与方法综述 [J]. 应用心理学, 2004, 10(2): 55-58. YAN Guoli, TIAN Hongjie. A review of eye movement recording methods and techniques [J]. Chinese Journal of Applied Psychology, 2004, 10(2): 55-58.
- [7] 赵新灿,左洪福,任勇军. 眼动仪与视线跟踪技术综述 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(12): 118-120. ZHAO Xincan, ZUO Hongfu, REN Yongjun. A review of eye tracker and eye tracking techniques [J]. Computer Engineering and Application, 2006, 42(12): 118-120.
- [8] 王军宁,刘涛,何迪,等. 红外头盔式眼动仪的瞳孔中心定位算法 [J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 38(3): 8-12. WANG Junning, LIU Tao, HE Di, et al. Pupil center localization algorithm used for the IR head-mounted eye tracker [J]. Journal of Xidian University, 2011, 38(3): 8-12.
- [9] 周嘉宾. 眼动跟踪系统算法研究与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010: 241-298. ZHOU Jiabin. Study and implementation on the algorithm of eye tracking system [D]. Xi'an: Xidian University, 2010: 241-298.
- [10] 阎蓓,王斌,李媛. 基于最小二乘法的椭圆拟合改进算

法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(3): 295-298.

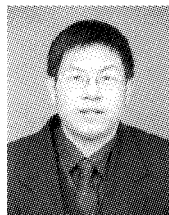
YAN Bei, WANG Bin, LI Yuan. Optmial ellipse fitting method based on least square principle[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(3): 295-298.

[11] 罗军辉, 冯平. MATLAB 7.0 在图像处理中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 252-257.

作者简介:



王锦榕, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为运动控制算法和机器人视觉处理.



袁学海, 男, 1960 年生, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向为智能控制和模糊系统理论. 先后主持辽宁省教育厅科研项目 4 项, 参与国家自然科学基金项目 1 项、数学天元基金项目 1 项. 曾获辽宁省教委科技进步奖二等奖和辽宁省自然科学成果奖二等奖各 1 项, 发表学术论文 120 余篇.



刘增良, 男, 1958 年生, 教授, 博士生导师, 理学博士, 计算机博士后, 国防大学信息作战学科带头人. 主要研究方向为智能系统工程、信息对抗和指挥自动化. 先后主持国家自然科学基金、国家“863”计划及军队“十五”计划等科研项目 20 余项. 曾获国家科技进步奖二等奖 2 项, 发表学术论文 40 余篇, 出版专著 5 部.

控制理论与应用(中文刊)

Journal of Control Theory and Applications (英文刊)

主办单位: 华南理工大学; 中国科学院数学与系统科学研究院

主要报道系统控制科学中具有新观念、新思想的理论研究成果及其在各个领域中, 特别是高科技领域中的应用研究成果和在国民经济有关领域技术开发、技术改造中的应用成果. 内容包括: 系统理论与控制理论, 非线性系统, 复杂性与复杂系统理论, 分布参数系统, 混杂系统与 DESS, 大系统, 随机系统, 稳定性与镇定, 建模、辨识与信号处理, 最优控制与优化, 鲁棒控制与 H_∞ 控制, 自适应控制与学习控制, 变结构控制, 神经网络, 模糊系统与模糊控制, 模式识别, 控制设计方法, 遗传算法与演化计算, 运动控制, 智能机器人, 分布式控制系统, 信息处理系统, 故障诊断, 通讯网络系统, CIMS 与制造系统, 交通系统, 生物与生态系统, 社会经济系统, 工业系统, 系统控制科学中的其他重要问题.

本刊特别欢迎内容全面、有分析、有见解的综述性文章.

本刊特别欢迎有关系统控制设计和应用方面的文章.

本刊优先刊登获各类科学基金项目资助的文章.

中英文版刊载的内容互不重复, 各自独立.

栏目: 论文, 短文, 书刊评介, 国内外学术活动信息等.

读者对象是从事控制理论与应用研究的科技人员、高校师生及其他有关人员.

邮发代号: 46-11(中文刊), 46-319(英文刊)

中文版: 月刊, A4 开本, 120 页, 15.00 元/册

英文版: 季刊, A4 开本, 120 页, 25.00 元/册

地址: 广州市五山 华南理工大学 510640

电子信箱: aukzllly@scut.edu.cn

网址: jcta.alljournals.ac.cn

电话: 020-87111464