

基于最小二乘原理的牛眼虹膜分割方法

盛大玮 何孝富 吕岳

(华东师范大学信息科学技术学院计算机系, 上海 200241)

摘要 近年来,动物虹膜识别有成为一种新的动物标识技术的趋势,对于肉类食品安全控制具有潜在的应用价值。提出了一种基于最小二乘原理的牛眼虹膜分割方法,根据牛眼虹膜的结构特征,利用最小二乘原理分别进行内外椭圆拟合。内椭圆利用牛眼瞳孔的边缘直接拟合;外椭圆通过在牛眼虹膜外边缘点中随机选择若干个边缘点来拟合,避免了外边缘点的噪声影响,然后通过计算外边缘点和拟合外椭圆间的距离来寻找最合适的外椭圆;最后通过几何方法进行牛眼虹膜归一化。实验结果表明,该方法与其他传统算法相比,运算速度快,具有较好的拟合精度。

关键词 生物特征 最小二乘原理 动物个体识别 虹膜识别

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2132-05

A Cattle Iris Segmentation Method Based on Least Square Principle

SHENG Da-wei, HE Xiao-fu, LÜ Yue

(Department of Computer Science and Technology, School of Information Science & Technology,
East China Normal University, Shanghai 200241)

Abstract In recent years, the animal iris recognition tend to become a new animal identification technology, which has potential applications to control the safety of the meat products. This paper presents an approach to cattle iris segmentation. The inner and outer boundaries of cattle iris are fitted respectively as two ellipses which are detected by following the least square principle, according to the feature of cattle iris structure. The inner ellipse is fitted by the edge points on the boundary of pupil. The outer ellipse is fitted by the edge points which are selected randomly on the boundary of iris in order to reduce the influence of the noise on the outer edge. The distance between the outer edge points and the fitted ellipses is calculated to decide the best outer ellipse in the cattle iris image. Normalization is carried out using a geometric method. Experimental results indicate the efficiency of the proposed approach.

Keywords biometrics, least square principle, animal identification, iris recognition

1 引言

虹膜识别作为重要的生物特征识别方法之一,具有唯一性、稳定性、可采集性、非侵犯性等优点,相比其他生物特征识别方法,其包含了许多独特的特征,具有更高的准确性。据统计虹膜识别的错误率

是各种生物特征识别中最低的^[1]。

随着欧洲各国疯牛病等传播性疾病的流行,肉类食品安全问题被各国政府组织日益关注。如何提高动物肉类可追溯性的精确度,减少肉类产品的生产成本,成为一个迫切需要解决的问题。动物虹膜识别作为其中一个新颖的解决途径,具有传统方法所无法比拟的优势。传统的方法主要依靠电子耳标

基金项目:中科院模式识别国家重点实验室开放课题基金(080213);教育部新世纪优秀人才支持计划(050430)

收稿日期:2009-06-19;改回日期:2009-07-20

第一作者简介:盛大玮(1984~),男,华东师范大学计算机系计算机应用技术专业硕士研究生。主要研究方向为模式识别、图像处理。
E-mail:shengdavidsheng@gmail.com

或者通过在动物体上做烙印等,来标注动物个体^[2]。这些方法不仅给动物带来了伤害和痛苦,而且其标记可能会因为磨损而变得难以辨别,并且很容易被人修改^[3],从而降低了识别的可信度。动物虹膜识别利用动物自身的生物特征,有效地克服了这些缺点,从而得到了各界广泛的关注。

虹膜分割是动物虹膜识别中的一个重要步骤,其目的是将虹膜图像中的虹膜区域提取出来,虹膜分割的好坏将直接影响到识别的结果。目前在人眼虹膜分割的研究上,已经取得了许多成果。Daugman 提出了圆形检测算子^[4]来自动检测人眼虹膜的位置。目前,通过主动轮廓线方法(Snake)^[5]来提高虹膜分割的精确性。Wildes 应用边缘检测算法及 Hough 变换来确定人眼虹膜的位置^[6-7]。何家峰等人提出了一种粗定位与精定位相结合的两步定位法^[8],进行虹膜定位。王成儒等人利用虹膜边缘图像的几何特征以及圆相交弦的性质实现了快速虹膜定位^[9]。

但是,动物虹膜的形状与人眼虹膜存在着很大的差异,例如:马的瞳孔形状是一个近似圆角矩形,而牛的瞳孔则接近于一个椭圆^[3],如图 1 所示。关于动物虹膜研究的资料还很少,Suzaki 等人利用马眼虹膜结构特征通过矩形区域抽取了马的虹膜特征来识别马^[10],使得马眼虹膜识别成为可能。

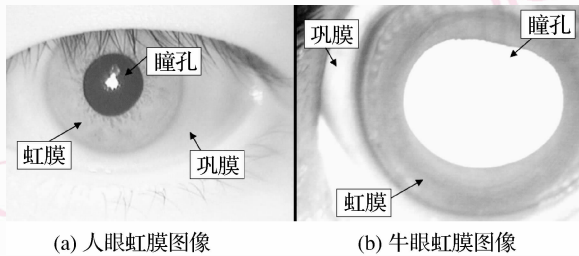


图 1 人眼虹膜与牛眼虹膜的比较

Fig. 1 Comparison of human iris and cattle iris

因为牛眼虹膜的区域近似椭圆环形,且主要纹理分布在椭圆环形的外部^[3],通过拟合椭圆来准确定位虹膜位置成为分割的关键,所以无法像人眼虹膜那样通过拟合圆的方法来拟合。为此提出基于最小二乘原理来拟合内外椭圆,直接通过内边缘点拟合内椭圆参数;在外椭圆拟合部分,则随机选择若干个外边缘点来拟合,以此来避免外边缘点的噪声影响,最后计算外边缘点与已拟合外椭圆间的距离来确定牛眼虹膜图像中最合适的外椭圆参数。牛眼虹膜的归一化过程通过几何方法进行。

2 本文方法

采用最小二乘原理,分析平面任意位置椭圆方程的特点,通过解线性方程的方式来确定椭圆的 5 个参数,从而完成对牛眼虹膜内外椭圆的拟合。

2.1 最小二乘原理拟合椭圆

对于处于笛卡儿坐标系下任意位置一个椭圆来说,都可以用 5 个参数来确定,即 A, B, C, D 和 E 。由上述 5 个参数确定的平面任意位置的椭圆方程可以描述为

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0 \quad (1)$$

最小二乘原理拟合椭圆^[11],就是通过计算边缘点到理想拟合椭圆距离的平方和的最小值来确定理想椭圆拟合的 5 个参数。

由式(1)利用最小二乘原理对该线性方程转变为下式

$$F(A, B, C, D, E) = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + Ax_i y_i + By_i^2 + Cx_i + Dy_i + E)^2 \quad (2)$$

通过极值原理来求式(2)的最小值,即可得到椭圆拟合的线性方程组^[12]。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i & \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i^3 & \sum_{i=1}^N y_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i^3 & \sum_{i=1}^N y_i^2 \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i & \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i & \sum_{i=1}^N y_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{bmatrix}$$

$$= - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^3 y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i^2 \\ \sum_{i=1}^N x_i^3 \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, N 为边缘点的总个数, (x_i, y_i) 为笛卡儿坐标系下边缘点的坐标。通过对线性方程组式(3)求解, 即可得拟合参数 A, B, C, D 和 E 。

2.2 牛眼虹膜内外椭圆的拟合

由于外椭圆拟合时受外边缘点噪声的影响, 因此, 在内外椭圆拟合时, 采用不同策略的方法。内椭圆在边缘检测后, 噪声影响较小, 所以对于内椭圆拟合直接利用最小二乘原理求出 5 个拟合参数。对于外椭圆拟合, 受图像的边缘点噪声影响比较大, 因此首先通过外边缘点中随机选择若干个外边缘点来拟合椭圆, 然后计算所有外边缘点与拟合椭圆的距离来判断是否找到最佳的拟合外椭圆。

设 $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ 代表在牛眼虹膜图像中所有外边缘点集合, m 为外边缘点的总个数; $F = \{f_1, \dots, f_n\}$ 代表在拟合椭圆轨迹上的点集合, n 为拟合椭圆轨迹上点的总个数。从外边缘点 e_i 到拟合椭圆上点 f_j 之间的距离 $D(e_i, f_j)$ 定义为

$$D(e_i, f_j) = \|e_i - f_j\| \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

用 $D(e_i, F)$ 来表示每个外边缘点 e_i ($\forall e_i \in E$) 到拟合椭圆点集 F 之间的最小距离。即外边缘点到拟合椭圆间的距离可以定义为

$$D(e_i, F) = \min_{\forall f_j \in F} D(e_i, f_j) \quad (5)$$

E 到 F 的距离定义为

$$D(E, F) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D(e_i, F) \quad (6)$$

类似地, 从拟合椭圆点 f_j 到外边缘点 e_i 的距离 $D(f_j, e_i)$ 可以表示为

$$D(f_j, e_i) = \|f_j - e_i\| \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (7)$$

每个拟合椭圆点 f_j ($\forall f_j \in F$) 到外边缘点集 E 之间的最小距离可以表示为 $D(f_j, E)$ 。因此, 拟合椭圆到外边缘点的距离 $D(F, E)$ 定义为

$$D(f_j, E) = \min_{\forall e_i \in E} D(f_j, e_i) \quad (8)$$

F 到 E 的距离定义为

$$D(F, E) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D(f_j, E) \quad (9)$$

由于 $m \neq n$, 故 $D(E, F)$ 和 $D(F, E)$ 的值也不一定相等。因此, 外边缘点与拟合椭圆之间的距离 \tilde{D} 可以通过求 $D(E, F)$ 和 $D(F, E)$ 的均值来计算。

$$\tilde{D} = \frac{1}{2} \{D(E, F) + D(F, E)\} \quad (10)$$

通过计算外边缘点与拟合椭圆间的距离 \tilde{D} 来判定所拟合的外椭圆是否为最佳外椭圆。设 ε 为一阈值, 若 $\tilde{D} \leq \varepsilon$, 则认为所拟合的外椭圆为最佳椭圆, 并利用最小二乘法原理计算该椭圆的 5 个参数。

在实验中, ε 设置为 0.7。牛眼虹膜最小二乘原理内外椭圆拟合结果如图 2 所示。

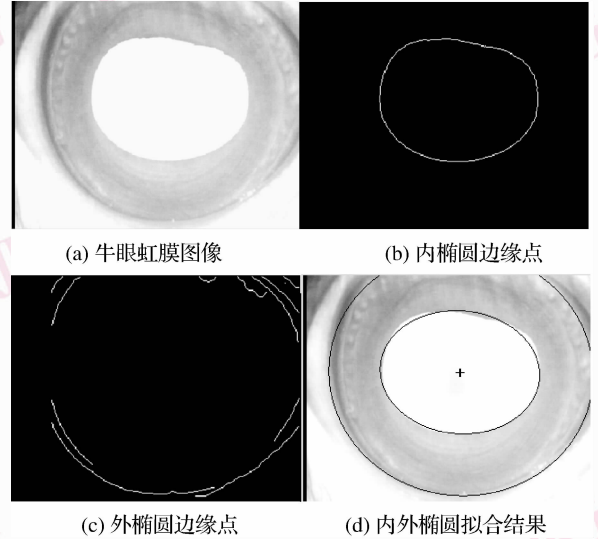


图 2 拟合过程

Fig. 2 Fitting process

2.3 牛眼虹膜归一化

牛眼虹膜归一化的目的是将每幅牛眼虹膜图像调整到相同的尺寸和对应位置, 从而消除平移、缩放和旋转对于虹膜识别的影响。牛眼虹膜的椭圆环形区域将沿逆时针方向归一化到一个大小为 256×32 的矩形区域中, 采用几何方法进行牛眼虹膜采样归一化。

所有等间隔且穿过拟合内椭圆中心的 128 条直线分别将牛眼虹膜区域分为两段, 共即 256 段采样区域。在每个虹膜区域上, 通过双线性插值均匀采样 32 个采样点。图 3(a) 为几何方法分段结果,

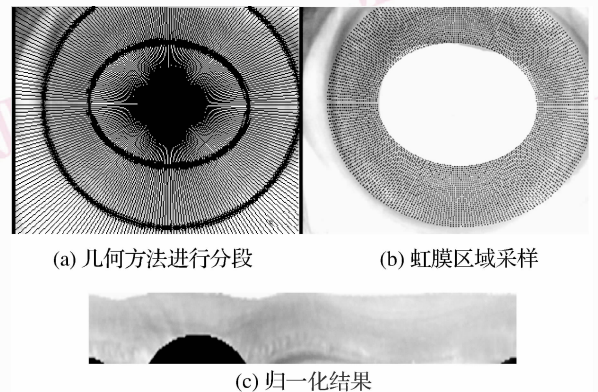


图 3 牛眼虹膜归一化过程

Fig. 3 Normalization for cattle iris

图 3(b)为虹膜区域采样结果。

在归一化采样过程中,牛眼虹膜区域可能被牛的睫毛所遮挡,这些区域用黑色像素点进行填充。图 3(c)为归一化后牛眼虹膜结果。

3 实验结果

3.1 评价方法

利用 Zuo 和 Schmid 的拟合评价方法^[13]对内外椭圆拟合的精度进行估计。在归一化的牛眼虹膜图像中,分别向牛眼瞳孔中心方向和牛眼巩膜方向延长进行采样。在瞳孔中心方向上延长归一化虹膜图像的 10%,在巩膜方向上延长归一化虹膜图像的 20%。图 4(a)、(c)分别为在巩膜和瞳孔方向上扩展归一化的虹膜图像。

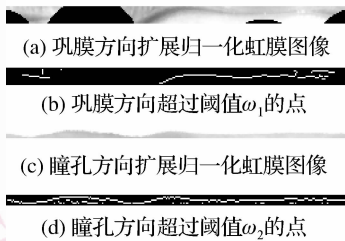


图 4 牛眼虹膜精度估计算法步骤

Fig. 4 The steps for evaluation of precision of iris segmentation

在归一化的牛眼虹膜图像里,对于内椭圆拟合评估,每个水平像素分别在垂直方向上求梯度。如果梯度值大于一个特定的阈值 ω_1 ,则认为在该位置上水平方向存在虹膜边界。通过记录这些虹膜边界点的个数并除以归一化虹膜图像上水平方向的像素总数,以此来判断牛眼虹膜分割精度的好坏。类似地,对于外椭圆拟合的效果也进行类似的估计。牛眼虹膜图像上由于牛眼睫毛等因素造成的虹膜部分遮盖,不能计算在内。图 4(b)、(d)分别为其方向上超过特定阈值的点。

θ_p 和 θ_i 分别代表内椭圆和外椭圆拟合边界在归一化虹膜区域中的百分比。 θ_p 和 θ_i 的值越大,说明拟合的精度越高。在本文实验中,当计算的 θ_p 和 θ_i 的值分别满足条件 $(1 \geq \theta_p > 0.8) \& (1 \geq \theta_i > 0.6)$ 时,则认为该牛眼虹膜拟合是成功的,否则认为失败。

3.2 实验结果

在实验中,所有 30 幅的牛眼虹膜图像大小均为

320 × 240。利用本文方法与传统的虹膜分割方法 (Hough 变换^[6,14]和 Snake 算法^[5,15-16]),在牛眼虹膜分割上,分别对平均计算时间与分割精度进行了比较。所有方法均在 Matlab R2007a 上实现,其运行环境为 Intel 2.0 G,内存 1 G。

给出了 3 种方法对同一牛眼虹膜图像的拟合结果,以此来比较 3 种方法的拟合精度。如图 5 所示。

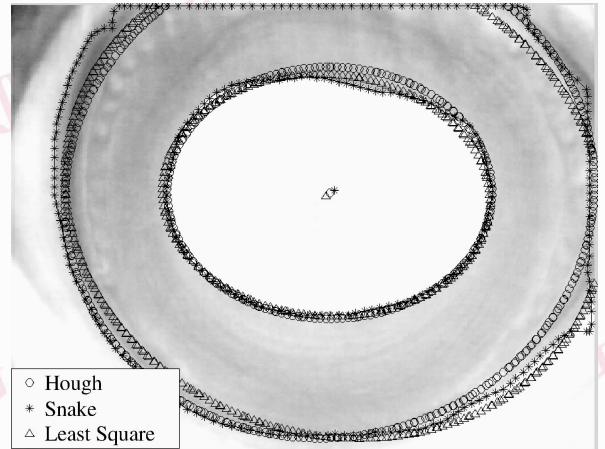


图 5 3 种方法分割效果比较

Fig. 5 Comparison of the results by three methods

同时,通过表 1 可以看出,本文方法在运行时间上要比传统算法速度快很多,比 Hough 变换快了近 32 倍,比 Snake 算法快了 13 倍。在拟合精度方面,分别对内椭圆和外椭圆拟合做了比较,在内椭圆拟合方面,本文方法拟合精度为 96%,高于传统的方法;在外椭圆拟合方面,本文方法拟合精度虽然只有 76.7%,高于 Hough 变换的拟合精度 (73.3%),但是相对于 Snake 算法的拟合精度 86.67%,还是可以接受的。因为传统的 Snake 算法对于图像估计初始的参数比较敏感,而且拟合时间较长。此外,图像的噪声边缘点对 Hough 变换的影响较大,拟合时间随着拟合参数的个数而增长。

表 1 本文方法与传统方法拟合精度的比较

Tab. 1 Comparison of fitting precision between the proposed approach and traditional methods

方法	内椭圆拟合精度 (%)	外椭圆拟合精度 (%)	平均运行时间 (s)
Hough	93.33	73.33	31.8
Snake	93.33	86.67	13.273 9
本文方法	96	76.7	1.073 1

4 结 论

本文提出了一种新的牛眼虹膜分割方法,通过最小二乘原理拟合内外椭圆来分割牛眼虹膜,特别是对外椭圆拟合上,利用计算边缘点与拟合外椭圆的距离来寻找最佳拟合外椭圆,具有一定的抗噪性。相比其他的传统拟合方法,实验结果表明本文方法具有较精确的拟合结果和较快的运行速度。

致 谢 感谢上海交通大学施鹏飞教授和东南大学赵林度教授对牛眼虹膜图像采集提供的帮助。

参考文献 (References)

- Wang Yun-hong, Zhu Yong, Tan Tie-niu. Biometrics personal identification based on iris pattern[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002, **28**(1): 1-10. [王蕴红,朱勇,谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别[J]. *自动化学报*, 2002, **28**(1): 1-10.]
- Zhang Jin-sheng, Zhou He. Comparisons on animal ID technology [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2008, **44**(11): 55-58. [张晶声,周河. 动物标识技术比较研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2008, **44**(11): 55-58.]
- Fang Chao, Zhao Lin-du. Research on meat food traceability system based on iris recognition[J]. *China Safety Science Journal*, 2008, **18**(7): 11-17. [方超,赵林度. 基于虹膜识别的肉类食品可追溯系统研究[J]. *中国安全科学学报*, 2008, **18**(7):11-17.]
- Daugman J. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**(11): 1148-1161.
- Daugman J. New methods in iris recognition[J]. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 2007, **37**(5): 1167-1175.
- Wildes R P, Asmuth J, Green G, *et al.* A machine vision system for iris recognition[J]. *Machine Vision and Applications*, 1996, **9**(1): 1-8.
- Wildes R P. Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. *Proceedings of the IEEE*, 1997, **85**(9): 1348-1363.
- He Jia-feng, Liao Shu-zheng, Ye Hu-nian, *et al.* Iris location[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, **5**(3): 253-255. [何家峰,廖曙铮,叶虎年等. 虹膜定位[J]. *中国图象图形学报*, 2000, **5**(3): 253-255.]
- Wang Cheng-ru, Hu Zheng-ping. Iris location algorithm based on geometric features[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003, **8**(6): 683-685. [王成儒,胡正平. 基于几何特征的虹膜定位算法[J]. *中国图象图形学报*, 2003, **8**(6):683-685.]
- Suzaki M, Yamakita O, Horikawa S, *et al.* A horse identification system using biometrics [J]. *Denshi Joho Tsushin Gakkai Ronbunshi*, 2000, **J83-D-II**(12): 2686-2697.
- Björck A. *Numerical Methods for Least Square Problems* [M]. Philadelphia, Pennsylvania, USA: SIAM, 1996.
- Liu Shu-gui, Li Peng, Na Yong-lin. Evaluation of the form error of ellipse based on least square method[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2002, **23**(4): 245-247. [刘书桂,李蓬,那永林. 基于最小二乘原理的平面任意位置椭圆的评价[J]. *计量学报*, 2002, **23**(4): 245-247.]
- Zuo Jin-yu, Schmid N A. An automatic algorithm for evaluating the precision of iris segmentation [A]. In: *Proceedings of Biometrics: Theory, Applications and Systems, 2nd International Conference* [C], Washington DC, USA, 2008:1-6.
- Zhou Xiang, Kong Xiao-dong, Zeng Gui-hua. Method of ellipse detection based on Hough transform [J]. *Computer Engineering*, 2007, **33**(16): 165-171. [周祥,孔晓东,曾贵华. 一种新的基于Hough变换的椭圆轮廓检测方法[J]. *计算机工程*, 2007, **33**(16): 165-171.]
- Yuan Wei-qi, Ma Jun-fang, Di Wen-bin, *et al.* New method of interior boundary of iris location based on active contour[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, **32**(6): 605-609. [苑玮琦,马军防,狄文彬等. 基于主动轮廓线的虹膜内边界的定位方法[J]. *红外与激光工程*, 2003, **32**(6):605-609.]
- Kass M, Witken A, Terzopoulos D, *et al.* Snakes: Active contour models [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1988, **VI**(4):321-331.