

弱边缘电荷耦合器件羊毛图像二值化算法

周理^{1*}, 毕笃彦¹, 查宇飞², 罗宏凯³, 何林远¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 西安 710038; 2. 空军第二飞行学院 空中武器控制系, 西安 710302;

3. 中国航空工业集团 第六三一研究所, 西安 710068)

(* 通信作者电子邮箱 zhouli_5120801@163.com)

摘要:为解决弱边缘图像二值化产生羊毛几何尺寸失真问题,通过对基于灰度和梯度指数的边缘细化算法研究,结合经典的全局阈值法和局部阈值法,提出了一种电荷耦合器件(CCD)羊毛图像自动二值化算法。该算法将sobel算子和斜坡边缘模型引入现有边缘细化算法中,既增加寻找边缘点环节又改进灰度调整因子,达到提高处理效率和避免人为干预的目的;在分析最大类间方差法和Bernsen法的基础上,结合全局和局部阈值处理各个子图像,从而强化边缘细节,降低失真度。实验结果表明,与传统方法相比,该算法对于弱边缘图像二值化具有良好的性能。

关键词:羊毛细度测量;图像二值化;边缘宽度细化;sobel算子;灰度调整因子;斜坡模型;最大类间方差法;Bernsen法
中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Binarization algorithm for CCD wool images with weak contour

ZHOU Li^{1*}, BI Du-yan¹, ZHA Yu-fei², LUO Hong-kai³, HE Lin-yuan¹

(1. Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710038, China;

2. Department of Aerial Weapon-Dominating, Air Force Second Flying Academy, Xi'an Shaanxi 710032, China;

3. No. 631 Research Institute, Chinese Aviation Industry Corporation, Xi'an Shaanxi 710068, China)

Abstract: In order to solve the distortion of wool geometric dimension, resulting from image binarization with weak contour, an automatic binarization algorithm for Charge-Coupled Device (CCD) wool image was proposed with reference to a ramp-width-reduction approach based on intensity and gradient indices, using a classical global threshold method and a local one. In that algorithm, edge-pixel-seeking step was added and gray-adjusting factor was improved, with sobel operator and ramp edge model introduced, to increase processing efficiency and avoid human intervention. Besides, every sub image was processed by the mixed global and local threshold based on the analysis of Otsu's and Bernsen's methods to intensify edge details and decrease distortion. Compared with the traditional ways, the experimental results show that the new algorithm has good performance in automatic binarization with weak contour.

Key words: wool diameter measurement; image binarization; ramp width reduction; sobel operator; gray-adjusting factor; ramp edge model; Otsu's method; Bernsen's method

0 引言

目前,羊绒及纤维混合物的定量分析在我国主要使用扫描电子显微镜和投影显微镜两种仪器,全是人工操作,尚无自动处理的仪器。图像处理技术的迅猛发展,在客观上为纺织业中材料性能和产品质量的评定和鉴别提供了一种有效的手段,使之有可能摒弃某些单凭经验或带有主观因素的判断方法。采用视觉技术对羊毛细度自动测量的第一步就是二值化处理。与灰度图像相比,二值化图像仅由逻辑0和1组成,可以很好地描述羊毛的轮廓,同时在很大程度上降低后续测量的计算量。在实际成像过程中,电荷耦合器件(Charge-Coupled Device, CCD)相机相对羊毛样本移动并连续拍照,造成图像出现弱边缘,因此必须进行有效的预处理来突出羊毛边缘信息,否则后期二值化处理将导致目标直径变粗,严重影响最终测量结果。通常解决这个问题的思路是找出一种细化目标边缘宽度的算法。迄今为止,在图像边缘细化方面已开

展了大量的研究工作^[1-3]。传统的边缘细化方法主要是提高边缘两边的灰度对比度,例如直方图均衡化^[4],但这些方法对较宽和较模糊的边缘的细化效果有限。此外,该类方法不但会使处理后的图像亮的部分更亮,暗的部分更暗,而且在增强对比度的同时放大了噪声。基于灰度和梯度指数的边缘宽度细化算法^[5]常用于弱边缘引起的图像降质,取得了一定的效果,但处理效率不高和需要人工干预成为限制其应用的瓶颈。

本文从文献[5]的细化算法不足出发,一方面借助sobel算子增加寻找边缘点环节以提高效率,另一方面引入斜坡边缘模型实现自动边缘细化处理。此外,对细化后的图像采用基于全局和局部阈值结合的方法进行二值化处理。

1 图像自动二值化算法

本文提出的适用于羊毛产业和纺织业中羊毛细度检测的图像自动二值化算法主要包括边缘宽度细化及基于全局和局

收稿日期:2011-10-25;修回日期:2011-12-02。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61175029);航空科学基金资助项目(20101996009);国防科技重点实验室基金资助项目(9140C610301080C6106)。

作者简介:周理(1988-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、计算机视觉; 毕笃彦(1962-),男,陕西扶风人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、模式识别; 查宇飞(1979-),男,湖北荆州人,讲师,博士,主要研究方向:图像处理、计算机视觉; 罗宏凯(1985-),男,陕西西安人,研究员,硕士,主要研究方向:计算机硬件设计; 何林远(1983-),男,河南洛阳人,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、模式识别。

部阈值的二值化处理两个部分,其流程如图1所示。

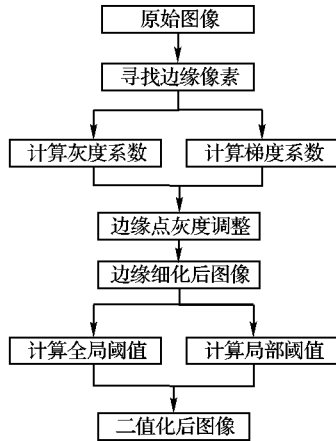


图1 图像自动二值化算法流程

2 细化目标边缘

2.1 像素的灰度指数和梯度指数

文献[5]的细化算法定义了给定像素点的3个灰度指数和3个梯度指数。从 $-\pi$ 到 π 将方向划分为8个区域,每个区域跨度是 $\pi/4$,且以区域角平分线所指方位代表其方向。每个像素的梯度方向归属为某一个区域。不妨设中心像素 $P(i, j)$ 的3个灰度指数和3个梯度指数分别表示为 I_H, I_M, I_L 和 G_H, G_M, G_L 。图2是一幅用于说明灰度指数和梯度指数定义的辅助示意图。黑色的粗线表示一组像素组,箭头所指方位是像素梯度方向对应区域的主方向,共有8种模式。灰度指数定义描述为在以中心像素 $P(i, j)$ 的8邻域里,与梯度所属区域主方向垂直的方位上3组像素的灰度分别求平均值,这3个值就是灰度指数。

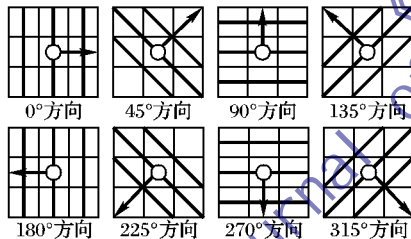


图2 灰度和梯度系数定义辅助说明图

例如, $\pi/4$ 方向的3个灰度指数为:

$$I_{H,\pi/4} = \frac{1}{2} [P(i+1, j) + P(i, j+1)] \quad (1)$$

$$I_{M,\pi/4} = \frac{1}{4} [P(i+1, j-1) + 2P(i, j) + P(i-1, j+1)] \quad (2)$$

$$I_{L,\pi/4} = \frac{1}{2} [P(i-1, j) + P(i, j-1)] \quad (3)$$

梯度指数的定义与灰度指数类似,区别仅仅是在中心像素梯度幅值 $Gra(i, j)$ 的8邻域里,该像素梯度幅是其中一个指数 $G_{M,\pi/4}$,与梯度所属区域主方向垂直的方位有两组梯度幅值,分别对其求均值得到剩下两个指数 $G_{H,\pi/4}$ 和 $G_{L,\pi/4}$ 。例如, $\pi/4$ 方向的3个梯度指数为:

$$G_{H,\pi/4} = [Gra(i+1, j) + Gra(i, j+1)]/2 \quad (4)$$

$$G_{M,\pi/4} = Gra(i, j) \quad (5)$$

$$G_{L,\pi/4} = [Gra(i-1, j) + Gra(i, j-1)]/2 \quad (6)$$

灰度和梯度指数的定义反映了中心像素与邻像素在空间上的灰度和梯度关系,可描述斜坡边缘的起伏与走向。事实

上,上述操作要处理所有像素点,导致算法效率不高。因此,本文在原算法中增加寻找边缘像素环节,寻找原则是基于斜坡边缘像素的3个特性:1) 总体而言,边缘像素点的梯度幅值是大于非边缘点的;2) 边缘点与其周围边缘点的梯度方向近似一致;3) 沿着边缘点梯度的方向,一系列点的梯度幅值是先增加后减少,在坡度中央位置达到最大,两端最小。具体的寻找策略是通过以下3步完成的:

1) 结合特性1,由sobel算子初步确定幅度阈值 T_m ,并且要求边缘像素的 $Gra(i, j)$ 大于阈值 T_m 。

2) 基于特性2,提出边缘像素8邻域里至少有5个与它的梯度方向小于 $\pi/4$ 的准则,该准则还能够剔除因图像随机噪声的干扰而产生高梯度幅值的孤立像素点。

3) 考虑特性3,规定沿着边缘点的梯度方向,边缘点的梯度幅值不小于其相邻的两点梯度幅值均值的80%。

2.2 像素灰度的调整

根据3个梯度指数之间的关系,一个典型的斜坡边缘上的像素可分为3种不同的情况,如图3所示。对每种情况分别调整像素灰度以完成目标边缘细化^[5]。

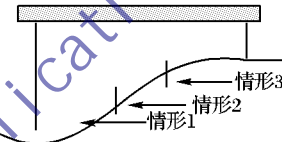


图3 水平线通过图像的灰度级剖面图

情形1 $G_H > G_M \geq G_L$ 。

表明该像素 (i, j) 位于斜坡的下半部分,调整其灰度值 $P(i, j)$ 至 $P'(i, j)$:

$$P'(i, j) = \begin{cases} P(i, j) - Sf_E(I_M - I_L), & \frac{G_H - G_M}{G_M - G_L} \geq 0.5 \\ P(i, j) - 2Sf_E(I_M - I_L) \frac{G_H - G_M}{G_M - G_L}, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中: f_E 是事先设定的灰度调整因子,该因子作用是人为调控减少像素灰度值程度。 S 是方向补偿因子,其表达式如下:

$$S = 1 - 4(1 - \sqrt{2})\theta(i, j)/\pi \quad (8)$$

情形2 $G_L > G_M \geq G_H$ 。

表明该像素 (i, j) 位于斜坡的上半部分,调整其灰度值 $P(i, j)$ 至 $P'(i, j)$:

$$P'(i, j) = \begin{cases} P(i, j) + Sf_E(I_M - I_L), & \frac{G_H - G_M}{G_M - G_L} \geq 0.5 \\ P(i, j) + 2Sf_E(I_M - I_L) \frac{G_H - G_M}{G_M - G_L}, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

情形3 $G_M \geq G_H$ 且 $G_M \geq G_L$ 。

该情形表明该像素接近或位于斜坡中央部分,此时不改变像素的灰度值。这样,边缘中间线的原始位置不会因细化而发生偏移。

研究发现,文献[5]灰度调整存在两个不足之处。一方面,灰度调整因子 f_E 需要人工干预,显然不能满足实际生产要求;另一方面,灰度调整程度不够明显,有待提高。为此,本文引入文献[6]中的斜坡边缘模型^[6],如图4所示,是通过5个参数描述的。第1个参数 θ 是描述边缘像素点梯度的方向。第2个参数 ρ 表示边缘像素到斜坡边缘段中心的距离,见式(11)。第3个参数 λ 是斜坡边缘段的宽度,见式(10)。最后两

个参数 I_s 和 I_x 代表该斜坡边缘两侧的灰度。 I_s 和 I_x 两个参数可以仿照灰度指数的定义计算求得,现仅叙述参数 I_s 的求解步骤:

步骤1 从某一边缘像素开始,计算其8邻域内的灰度指数 I_L ,则 $I_s^0(i, j) = I_L$;

步骤2 该边缘像素梯度 $G_M(i, j)$ 的方向可归为8个主方向中的一个,找到在8邻域里沿着主方向的一个像素点;

步骤3 若该点是边缘像素,转步骤1;

步骤4 最终结果为 $I_s = I_s^n(i, j)$ 。

$$\lambda(i, j) = \frac{I_s(i, j) - I_x(i, j)}{Gra(i, j)} \quad (10)$$

$$\rho(i, j) = \frac{P(i, j) - (I_s(i, j) + I_x(i, j))/2}{Gra(i, j)} \quad (11)$$

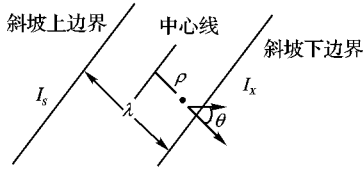


图4 边缘斜坡模型

借助此模型可对原算法作进一步改进,构造更合适的灰度调整因子如下:

$$f_E = \begin{cases} \frac{\lambda}{\rho}, G_H - G_M \geq 0.5 \\ \frac{\rho}{\lambda}, \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

该函数是由斜坡宽度与边缘像素距中心线的长度之比构成的,其机理是在边缘两端时,边缘点距中心越远,灰度调整幅度越小;反之,调整程度增大。改进后的灰度因子不再需要人为干预,而且调整后原斜坡变陡,宽度缩小,这为后面二值化阈值选取提供了有利条件。

3 基于全局和局部阈值结合的二值化方法

细化目标边缘能使目标边缘清晰,但是二值化方法选择不恰当仍会造成目标几何尺寸失真严重。二值化方法一般分为全局阈值和局部阈值两大类^[7-8]。前者指利用全局信息对整幅图像求出最优分割阈值。主要有 P-tile 法、双峰法、最大类间方差法、最小误差法和最大嫡法等常用方法。该类方法的突出优点是时间复杂度较低,易于实现和理解;而缺点在于目标边缘分割效果不理想,达不到后续作业的要求。后者是通过像素的灰度值和周围点的局部灰度特性来确定像素的阈值,主要有 Chou&Kaneko、Bernsen、Niblack 和 Taxt 等经典算法。该类方法对灰度变化敏感,二值化效果较好,而不足之处是处理速度慢。为此,本文将全局法和局部法相结合,扬长避短,提出一种基于全局和局部阈值结合的二值化处理方法。

3.1 最大类间方差法

最大类间方差法^[9-10]是一种自适应的阈值确定方法。它的基本思想是:根据图像的灰度特性,将图像分成背景和前景两部分,背景和前景的方差越大,说明两部分的差别越大,因此类间最大方差的分割意味着错分概率最小。该方法将二值化的问题看作是判别式分析,使用一个特定的准则函数来作为分类的标准。令 $\sigma_w^2, \sigma_b^2, \sigma_t^2$ 分别代表类内方差、类间方差和总的方差,则最佳的阈值可以通过判别函数(13)~(15)最大化来获得。在众多全局法中,该方法能够得到最优阈值而且原理简单,易于实现,故本文予以采用。

$$\lambda = \sigma_b^2 / \sigma_w^2 \quad (13)$$

$$\eta = \sigma_b^2 / \sigma_t^2 \quad (14)$$

$$\kappa = \sigma_t^2 / \sigma_w^2 \quad (15)$$

3.2 Bernsen 法

Bernsen 算法^[11-12]是假设以 P 点为中心的大小为 $r \times r$ 窗口 M ,窗口内部的像素灰度最大值为 g_{\max} ,最小值为 g_{\min} 。利用 $(g_{\max} + g_{\min})/2$ 可以计算出一个阈值 T 。令局部对比度 $d = g_{\max} - g_{\min}$,当 $d < S$ (S 为一事先设定的值)时, M 为一个整体,由阈值 T 来决定整个窗口 M 是属于背景还是前景;当 $d \geq S$ 时,阈值 T 只用来决定 P 点是属于前景还是背景。对图像中的所有像素点进行如上操作,从而完成图像的二值化。本文采用该算法的原因是它具有思路简单的特点,并且不再像其他算法那样局限于局部的统计信息,而是着眼于局部图像的对比度和灰度均值信息。

3.3 改进的二值化处理方法

结合最大类间方差法和 Bernsen 法的特点,本文提出的处理方法具体步骤如下:

步骤1 采用最大类间方差法计算整幅图像的全局阈值 T_1 ;

步骤2 将图像分为一系列 $r \times r$ 的子图像;

步骤3 求出一个窗口内部的像素灰度最大值 g_{\max} 和最小值 g_{\min} ,利用 $(g_{\max} + g_{\min})/2$ 可以计算出该窗口一个局部阈值 T_2 ;

步骤4 若 $T_1 > T_2$,则该窗口采用 T_1 进行全局二值化处理,转步骤6;

步骤5 若 $T_1 \leq T_2$,对该窗口内的每一像素值分别采用 Bernsen 算法处理,判定该点属于前景点还是背景点,完成此窗口的局部二值化处理;

步骤6 若分割的子图像还有未处理的,转步骤3,否则终止算法。

该算法结合最大类间方差法和 Bernsen 法,将子图像作为一级分割对象,像素点则退为二级分割对象。因此,在兼顾算法处理速度的同时也大幅降低目标尺寸失真度,可获得较好的二值化处理效果。

4 实验验证

从实地采集的羊毛图像中任意选一幅在 CPU 2 GHz、内存 1.0 GB 的电脑上,编写 Matlab7.6 代码进行实验。图5是本文边缘细化算法与其他细化算法对比结果。图5(a)显示的是实际采集的弱边缘羊毛图像。图5(b)是采用直方图均衡化方法处理结果,该方法细化后的图像不仅出现亮度不均匀和噪声放大的负面效果,而且目标尺寸明显变大。文献[5]算法和本文边缘细化算法处理后的图像分别如图5(c)和(d)所示,虽然与图5(a)和(b)相比,两者的细化效果均有提高,但后者目标边缘比前者清晰,改善程度更大。另外,前者耗时是 16 ms,后者缩减为 11 ms。

图6是本文最终羊毛图像自动二值化算法与其他二值化算法对比结果。图6(a)和(b)是原图不经过细化算法处理,分别采用最大类间方差法和 Bernsen 法直接二值化效果图,白色方框的目标出现较严重重叠现象,不符合后续处理要求。结合全局和局部阈值的二值化处理图如图6(c)所示,白色方框内的目标不仅重叠效应减弱,而且与前两幅图相比,羊毛几何尺寸失真度也得到抑制。图6(d)是本文羊毛图像自动二值化算法处理效果图,与图6(c)相比,由于该方法在基于全

局和局部结合算法的基础上增加了细化算法处理环节,图中目标重叠效应消失,形变程度进一步降低,且时间开销小,适合于工业纤维细度自动检测系统。

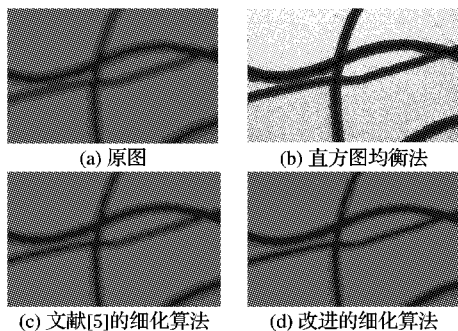


图 5 本文边缘细化算法与其他细化算法对比

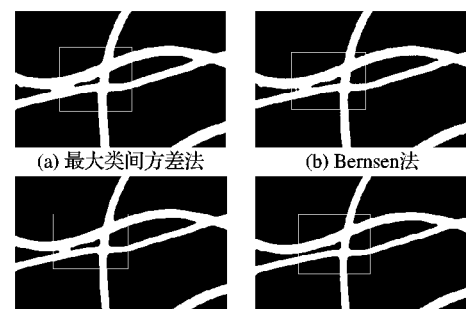


图 6 本文自动二值化算法与其他二值化算法对比

5 结语

针对羊毛 CCD 图像采集条件造成的弱边缘问题,本文提出一种利用边缘细化方法消除弱边缘且结合全局和局部阈值二值化图像的算法。研究了文献[5]提出的细化算法,结合 sobel 算子和斜坡模型对该方法改进。此外,分析了最大类间方差法和 Bernsen 法,将两者结合以提升处理性能。实验结果表明,本文羊毛图像自动二值化算法有效地消除弱边缘效

应,抑制目标失真,为后期的羊毛细度测量工作奠定良好的基础。但是图像二值化后目标边缘不光滑,出现锯齿状毛刺,还有待进一步改善。

参考文献:

- [1] KUNDRA H, ARSHIMA E R, VERMA M. Image enhancement based on fuzzy logic[J]. Computer Science and Network Security, 2009, 10(9): 141 - 145.
- [2] NAMER E, SHWARTZ S, SCHECHNER Y Y. Skyless polar metric calibration and visibility enhancement[J]. Optics Express, 2009, 26(17): 472 - 493.
- [3] KANG S B, KAPOOR A, LISCHINSKI D. Personalization of image enhancement[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). San Francisco: IEEE, 2010: 1799 - 1806.
- [4] SUN C C, RUAN S J, SHIE M C, et al. Dynamic contrast enhancement based on histogram specification[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(4): 1300 - 1305.
- [5] LEU J-G. Edge sharpening through ramp width reduction[J]. Image Vision Computing, 2001, 21(18): 501 - 514.
- [6] LEU J G. Sharpness preserving image enlargement based on a ramp edge mode[J]. Pattern Recognition, 2003, 34(10): 1927 - 1938.
- [7] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007: 461 - 494.
- [8] 章毓晋. 图像工程[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2003: 79 - 99.
- [9] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 15(9): 62 - 66.
- [10] 张召长, 戴耀东, 周正东. 基于 Otsu 多阈值和分水岭算法的乳腺块分割[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 198 - 200.
- [11] 纪天明, 贺跃, 于同, 等. 智能车辆导航系统中的实时道路检测[J]. 计算机应用, 2005, 25(12): 233 - 235.
- [12] BERNSEN J. Dynamic threshold of gray-level image[J]. Pattern Recognition, 1986, 21(12): 1251 - 1255.

(上接第 1132 页)

比文献[6]的方法有所提高,每秒比文献[6]的方法多识别 3 张人脸。识别速度没有大幅提高的原因是 Gabor 滤波算法的运算量过大。但在降维过程中,由于本文提取的特征维数要远小于文献[6]方法,故两次降维所花费的时间要远小于文献[6]所需时间(约 10 min 左右),约为 4 min 左右。

3 结语

本文通过结合半边脸识别方法、Gabor 滤波器、基于互信息判据的 Gabor 特征筛选以及最近邻判别器提出了一种基于 Gabor 滤波器的快速人脸识别算法。并将其应用到不同表情和不同光照条件下的人脸识别中。新算法首先把测试人脸图像和训练集人脸图像分为左右两个部分,计算并比较待识别图像左右半边脸的熵。选取熵值较大的半边脸及对应的训练集中的半边人脸图像进行 Gabor 变换。然后,利用二值分类器判别单个 Gabor 特征的分类能力,选取分类能力较高的特征。再利用互信息判据对 Gabor 特征进行第二次筛选,以减小特征之间的冗余度,进一步降低特征维数。最后利用最近邻判别器来进行人脸识别。实验结果表明,算法对表情和光照的变化有很好的鲁棒性;其识别率优于文献[7]中传统半边脸识别方法;识别速度较文献[6]的方法有所提高,但由于 Gabor 滤波算法的运算量过大的原因,仍不能达到文献[7]半

边脸的识别速度。如何进一步提高 Gabor 滤波算法的速度是下一步研究的目标。

参考文献:

- [1] DAUGMAN J G. Complete discrete 2-D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1988, 36(7): 1169 - 1179.
- [2] LEE T S. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(10): 959 - 971.
- [3] YOUNG I T, van VLIET L J, van GINKEL M. Recursive Gabor Filtering[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(11): 2798 - 2805.
- [4] ASHRAF A B, LUCEY S, CHEN T. Reinterpreting the application of Gabor filters as a manipulation of the margin in linear support vector machines[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(7): 1335 - 1341.
- [5] SHEN LIN-LIN, BAI LI. Mutual boost learning for selecting Gabor features for face recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27: 1758 - 1767.
- [6] 唐旭晟, 欧宗瑛, 苏铁明, 等. 人脸识别中基于互信息的特征优选[J]. 大连理工大学学报, 2008, 48(1): 84 - 89.
- [7] 董事都, 黄同愿, 王华秋, 等. 半边人脸识别方法[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 221 - 225.