

# 一种掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化算法

邵平<sup>1</sup>, 朱俊岭<sup>1</sup>, 黄海滨<sup>2</sup>

(1. 肇庆学院 计算机学院, 广东 肇庆 526061;

2. 玉林师范学院 计算机科学与工程学院, 广西 玉林 537000)

**摘要:** 图像窗口模式匹配前常需进行灰度分布标准化预处理, 但由于某些模式识别场合需要掩去图像窗口的一些无关区域, 常见的灰度分布标准化处理快速算法不适用。应用广义积分图像, 实现了一种任意掩膜的图像窗口灰度分布标准化快速算法。掩膜的形状具有对称性时, 算法的计算速度还可进一步提高。实验表明, 该算法能提高掩膜图像窗口灰度均值、方差的计算速度1倍以上, 可实现多尺度目标检测中对大量掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化处理。

**关键词:** 广义积分图像; 掩膜图像窗口; 灰度分布标准化; 快速算法

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2014)02-0229-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.02.057

## A Rapid Algorithm for Grayscale Distribution Normalization of Image Windows with Mask

SHAO Ping<sup>1</sup>, ZHU Jun-ling<sup>1</sup>, HUANG Hai-bin<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China;

2. College of Computer Science & Engineering, Yulin Normal University, Yulin 537000, China)

**Abstract:** It is often needed to normalize grayscale distribution of image windows before template matching, but sometimes a few regions of these windows should be eliminated by mask, normal rapid algorithms would be not suitable. As extended integral image is applied, an algorithm is presented for grayscale distribution normalization of image windows with mask of any shape. When the shape of mask is symmetric, the computing time can be further reduced. Experimental results indicate that the algorithm is twice or more as fast as the traditional algorithm. It is especially suitable for object detection with multi resolution, when a large number of windows with mask are needed to be processed with grayscale distribution normalization.

**Key words:** extended integral image; windows with mask; grayscale distribution normalization; rapid algorithm

## 0 引言

据统计, 同类事物图像之间的灰度分布较接近时, 其距离也会比较接近<sup>[1]</sup>, 因此对图像窗口模式匹配前常需进行灰度分布标准化处理。一般先对该窗口和模板进行完全相同的灰度分布标准化处理, 从而减少灰度分布的差异, 以免灰度分布的差异影响模式间的距离。而灰度分布标准化处理往往需要先计算原图像每一可能窗口的均值和方差, 计算量很大。应用积分图像和平方积分图像可以有效减少计算窗口均值和方差时的卷积运算量<sup>[2-3]</sup>, 但一般只适于矩形图像窗口。文献[4]正是应用这种方法来提高窗口灰度分布标准

化处理的速度, 取得了良好的实验结果, 但仅是针对没有掩膜的矩形图像窗口而言的。在某些模式识别场合常常需要掩去图像窗口的一些无关区域, 例如, 人脸检测时掩去图像窗口的四角, 检测圆形目标如中国象棋棋子、硬币、圆形交通标志<sup>[5-6]</sup>等时使用圆形掩膜, 实例如图1所示。对于这些窗口有掩膜的应用场合, 目前可参考的文献不多, 需要有新的算法来解决。



(a) 人脸及对应的掩膜 (b) 棋子及对应的掩膜

图1 图像窗口及其掩膜举例

收稿日期: 2013-03-26

修回日期: 2013-06-29

网络出版时间: 2013-11-12

基金项目: 广西教育面上项目(201012MS185); 广东省人才引进基金(2050205); 肇庆学院教授启动基金(611271); 肇庆学院教研项目(JY201105, JGZB201201)

作者简介: 邵平(1970-), 男, 教授, 博士, 研究方向为图像处理与机器视觉。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1636.029.html>

文中提出一种掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化算法,该算法不受图像窗口的掩膜形状约束;对同一形状的掩膜图像窗口,窗口越大,相对传统算法节约的时间越多。特别适合于多尺度目标检测中,需要对大量的掩膜图像窗口进行灰度特征统计及灰度分布标准化的应用场合<sup>[7]</sup>。

## 1 广义积分图像

积分图像(Integral Image)作为图像的一种中间表示,可用于快速计算图像任意窗口的灰度值总和<sup>[8]</sup>或灰度均值<sup>[9-10]</sup>。文献[4]对积分图像的定义进行了推广,提出了平方积分图像(Square Integral Image),并实现了图像任意窗口的灰度方差快速计算。以下将积分图像和平方积分图像统称为广义积分图像,并对它们作简要介绍。

### 1.1 积分图像

积分图像任意一点 $(x, y)$ 的值表示图2所示的原图像斜线区域的灰度值总和,即:

$$\Pi(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} R(x', y') \quad (1)$$

式中, $\Pi(x, y)$ 表示积分图像点 $(x, y)$ 的值; $R(x', y')$ 表示原图像点 $(x', y')$ 的灰度值。 $\Pi(x, y)$ 可用式(2)和式(3)迭代计算得到:

$$S(x, y) = S(x, y - 1) + R(x, y) \quad (2)$$

$$\Pi(x, y) = \Pi(x - 1, y) + S(x, y) \quad (3)$$

其中, $S(x, y)$ 表示一列的值积分,且 $S(x, -1) = 0, \Pi(-1, y) = 0$ 。求积分图像,只需遍历一次原图像,计算开销很小。参照图3,不管窗口 $D$ 的大小如何,其灰度值总和均可以用积分图像相应4个点的值 $d_1, d_2, d_3, d_4$ 快速计算,即窗口 $D$ 的灰度值总和 $= d_4 + d_1 - (d_2 + d_3)$ 。

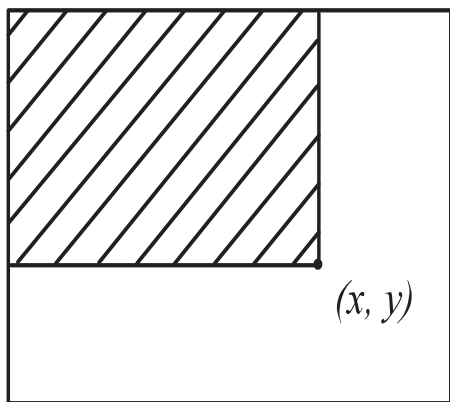


图2 广义积分图像示意

### 1.2 平方积分图像

为快速计算图像窗口的方差,设 $SII(x, y)$ 为平方积分图像点 $(x, y)$ 的值, $R(x', y')$ 仍为原图像点 $(x', y')$ 的灰度值,则:

$$SII(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} (R(x', y') \cdot R(x', y')) \quad (4)$$

式(4)说明,平方积分图像任意一点 $(x, y)$ 的值代表图2所示的原图像斜线区域的灰度值平方总和, $SII(x, y)$ 可用式(5)、(6)迭代计算得到:

$$SS(x, y) = SS(x, y - 1) + R(x, y) \cdot R(x, y) \quad (5)$$

$$SII(x, y) = SII(x - 1, y) + SS(x, y) \quad (6)$$

式中, $SS(x, y)$ 表示一列的灰度值平方的积分,且 $SS(x, -1) = 0, SII(-1, y) = 0$ 。平方积分图像可与积分图像在对原图像的同一次遍历中算出,计算开销很小。如图3所示,不管窗口 $D$ 的大小如何,其灰度值平方的总和均可以用平方积分图像相应4个点的值 $d_1, d_2, d_3, d_4$ 快速计算,即窗口 $D$ 的灰度值平方总和 $= d_4 + d_1 - (d_2 + d_3)$ 。

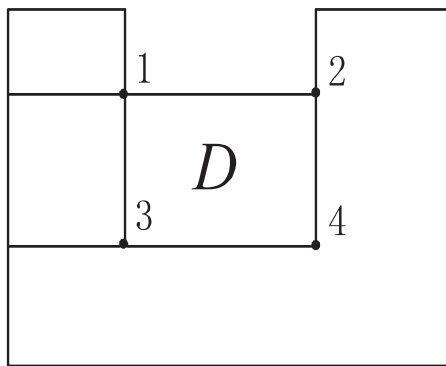


图3 广义积分图像用法示意

## 2 掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化

设定掩膜为黑白二值图像且与图像窗口取同一大小,高为 $H$ 像素,宽为 $W$ 像素,并对图像窗口的像素作定义:

(1) 有效像素:图像窗口每一个与其掩膜灰度值等于255(白色)的像素对应的像素;

(2) 无效像素:图像窗口每一个与其掩膜灰度值等于0(黑色)的像素对应的像素。

由图1可以看出,一般掩膜的无效像素数占总像素数的比例均较小。

假设图像窗口的左上角顶点位于原图像的点 $(x, y)$ ,则窗口任意像素灰度值为 $R(x + i, y + j)$ ,另设掩膜的任意像素灰度值为 $M(i, j)$ ,其中 $0 \leq i \leq W - 1, 0 \leq j \leq H - 1$ 。为后续描述方便,定义以下函数:

$$\delta(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } M(i, j) = 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

### 2.1 掩膜图像窗口的灰度均值快速计算

在有掩膜的情况下,窗口的灰度均值

$$\mu_R = \frac{\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} R(x + i, y + j) \cdot (1 - \delta(i, j))}{H \cdot W} \quad (7)$$

式(7)中,项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} R(x+i, y+j)$ 表示窗口的灰度值总和,若用积分图像来计算,无需对窗口像素遍历就可快速算出;另一方面,项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} R(x+i, y+j) \cdot \delta(i, j)$ 的卷积运算量不大,因为掩膜掩去的无效像素即 $\delta(i, j) = 1$ 的像素数一般占窗口总像素数的比例较小。这样,应用积分图像和式(7)将可以快速计算掩膜图像窗口的灰度均值。

2.2 掩膜图像窗口的灰度方差快速计算

在有掩膜的情况下,设图像窗口的灰度均方差为 $\bar{\sigma}_R$ ,参照文献[4]的方差公式变换原理,可得

$$\bar{\sigma}_R^2 = \frac{\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} (R(x+i, y+j))^2 \cdot (1 - \delta(i, j))}{H \cdot W} - \bar{\mu}_R^2 \tag{8}$$

式中,灰度均值 $\bar{\mu}_R$ 在2.1节中已用积分图像快速计算了,而项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} (R(x+i, y+j))^2$ 表示窗口的灰度值平方总和,可用平方积分图像快速计算,无需对窗口像素遍历;另一方面,项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} (R(x+i, y+j))^2 \cdot \delta(i, j)$ 的卷积运算量不大,因为掩膜掩去的无效像素数一般占窗口总像素数的比例较小。这样,应用平方积分图像和式(8)将可以快速计算掩膜图像窗口的灰度方差。

2.3 掩膜具有对称性时算法的进一步改进

某些应用场合掩膜具有对称性,此时可利用其对称性进一步提高有掩膜图像窗口的均值和方差计算速度。例如,图1(b)中的圆形掩膜上下左右都是对称的,为减少式(7)和式(8)的卷积运算量,此时可利用对称性减小窗口扫描范围。

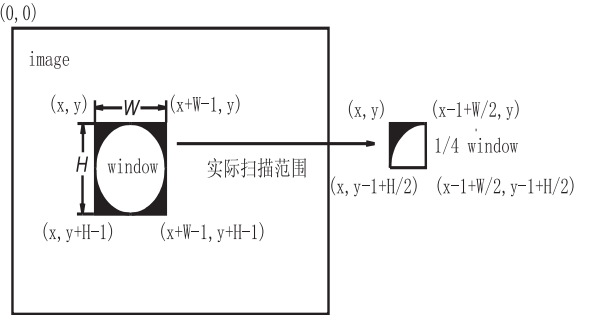


图4 减小窗口扫描范围示意

如图4所示,圆形窗口周边的黑色像素为被掩去的无效像素,令 $y_H = y + H - 1, x_W = x + W - 1$ ,则式(7)的项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} R(x+i, y+j) \cdot \delta(i, j)$ 可表示为 $\sum_{j=0}^{\frac{H}{2}-1} \sum_{i=0}^{\frac{W}{2}-1} R_1 \cdot \delta(i, j)$ 。

其中, $R_1 = R(x+i, y+j) + R(x+i, y_H-j) + R(x_W-i, y, y+j) + R(x_W-i, y_H-j)$ 。

同理,式(8)的项 $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} (R(x+i, y+j))^2 \cdot \delta(i, j)$ 可表示为 $\sum_{j=0}^{\frac{H}{2}-1} \sum_{i=0}^{\frac{W}{2}-1} R_2 \cdot \delta(i, j)$ 。其中, $R_2 = (R(x+i, y+j))^2 + (R(x+i, y_H-j))^2 + (R(x_W-i, y, y+j))^2 + (R(x_W-i, y_H-j))^2$ 。

这样,仅需扫描窗口的左上角1/4区域,进一步提高了计算速度。

2.4 掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化

掩膜图像窗口的灰度分布标准化,是指将窗口中有效像素的灰度均值和方差变换为事先设定的标准值 $\mu_0$ 和 $\sigma_0^2$ ,窗口中的无效像素不需变换。参照灰度分布标准化的近似公式<sup>[11-12]</sup>,可采用式(9)进行变换,即设变换后像素的灰度值为 $\hat{R}(i, j)$ ,则

$$\hat{R}(i, j) = \frac{\sigma_0}{\sigma_R} (R(x+i, y+j) - \bar{\mu}_R) + \mu_0, \tag{9}$$

if  $M(i, j) = 255$

$\hat{R}(i, j)$ 存放于与窗口大小相同的临时图像中,用于后续的模式匹配。对每一可能的掩膜图像窗口,式(9)中的 $\bar{\mu}_R$ 和 $\bar{\sigma}_R$ 均可用2.1~2.3节阐述的方法快速计算。

若令 $a = \frac{\sigma_0}{\sigma_R}, b = \mu_0 - a \cdot \bar{\mu}_R$ ,式(9)还可简化为

$$\hat{R}(i, j) = a \cdot R(x+i, y+j) + b, \text{ if } M(i, j) = 255 \tag{10}$$

由于 $a$ 和 $b$ 可在窗口扫描前预先算出,利用式(10)进行灰度分布标准化变换,可比式(9)的计算速度更快。

下面以检测图5所示中国象棋棋子在棋盘中的位置为例,说明掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化的具体应用。

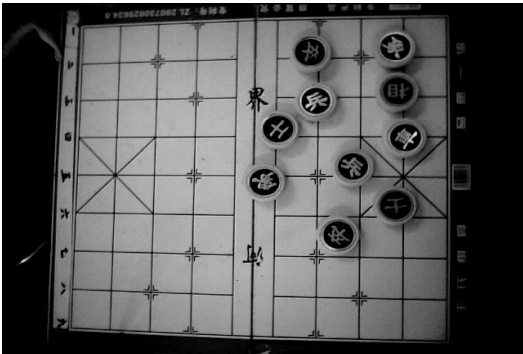


图5 中国象棋棋盘及棋子

设图6所示某个圆形掩膜的大小为 $k * k$ (单位:像

素,以下同),使用此圆形掩膜对图 5 中每一个可能的图像窗口计算均值和方差,剔除均值过大(棋盘白色背景区域)及方差过小(无棋子的平滑区)的窗口,初步筛选出棋子可能的位置;然后仍使用此圆形掩膜对初步筛选得到的图像窗口进行灰度分布标准化处理,使后续的模式匹配更加准确。

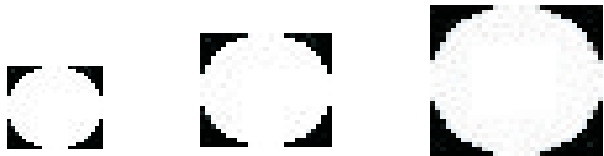


图 6 不同尺寸的圆形掩膜

具体的棋子位置检测算法如下:

(1) 计算原图像的广义积分图像,创建 1 幅大小为  $k * k$  的临时图像  $T$ ,该图像被掩膜掩去的无效像素灰度值为 0;

(2) 根据 2.1 ~ 2.3 节的方法,利用广义积分图像和圆形掩膜,快速计算图像中每一个大小为  $k * k$  窗口的灰度均值 $\bar{\mu}_R$ 、均方差 $\bar{\sigma}_R$ ;

(3) 若 $\bar{\mu}_R$  过大或 $\bar{\sigma}_R$  过小,则认为该图像窗口位置无棋子,并结束对这个窗口的操作,否则根据式(10)计算该图像窗口中各有效像素灰度分布标准化后的灰度值 $R(i,j)$ ,并保存在图像  $T$  的对应像素中。结合掩膜和图像  $T$  即可进行后续的模式匹配,若达到匹配阈值则相应窗口为棋子可能的位置,并记下该窗口左上角在原图像中的坐标;

(4) 若图像中尚有可能是棋子的图像窗口,转(2),否则结束。

实验研究中摄像头位于棋盘正上方,实验摄像头高度允许有一定范围的变化,因此需应用多种尺度的掩膜重复检测,最后将不同尺度掩膜下的检测结果合并,以获得棋子的可能位置。

3 实验结果与分析

下面以 2.4 节叙述的检测中国象棋棋子位置的算法为例进行实验,以验证快速灰度分布标准化算法的有效性。

棋盘图像大小为  $640 * 480$ ,经过灰度拉伸等预处理后采用隔行隔列的方式扫描该图像。为分析掩膜尺寸对计算速度的影响,选取了图 6 所示的  $25 * 25$ 、 $33 * 33$ 、 $49 * 49$  共三种不同尺寸的圆形掩膜进行实验。掩膜窗口的无效像素数占总像素数的比例见表 1,仅约为 21%,即均值和方差计算时需要计算卷积的像素比例约 21%。

实验中使用的 PC 机 CPU 为 Intel-2450M、内存 2 G,编程平台为 delphi7。文中的灰度分布标准化快速

算法不改变直接公式法的计算精度,所以实验结果只包含计算时间对比。

表 1 圆形掩膜图像窗口无效像素数对比

窗口尺寸	无效像素数	总像素数	无效像素比例/%
25 * 25	136	625	21.8
33 * 33	228	1 089	20.9
49 * 49	516	2 401	21.5

3.1 掩膜图像窗口的灰度均值及方差计算时间对比

灰度均值及方差(Grayscale Average and Variance, GAV)的计算实验对比如表 2 所示。算法 GAV1 为直接公式法,使用式(7)和式(8)计算窗口的灰度均值及方差;算法 GAV2 按 2.1 和 2.2 节所述,使用广义积分图像快速计算窗口的灰度均值及方差;算法 GAV3 是在 GAV2 的基础上,按 2.3 节所述,利用了圆形掩膜的对称性进一步减少窗口扫描范围。

表 2 掩膜图像窗口灰度均值和方差计算时间对比

窗口尺寸	均值和方差的总计算时间(ms/10 000 个窗口)		
	GAV1	GAV2	GAV3
25 * 25	489.4	247.6	183.3
33 * 33	656.4	332.0	230.7
49 * 49	1 024.3	488.0	368.5

表 2 的实验结果表明,算法 GAV2 比 GAV1 的计算速度提高了 1 倍以上,算法 GAV3 在 GAV2 的基础上,计算速度又进一步的提高。因此,掩膜不具对称性时,建议使用算法 GAV2,掩膜具有对称性时,建议参照算法 GAV3 的原理减少计算时间。

表 2 同时也反映了算法 GAV2 和 GAV3 的计算速度仍受到图像窗口大小的影响,图像窗口越大,计算速度越慢,原因是在计算式(7)的项  $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} R(x+i,y+j) \cdot \delta(i,j)$  和式(8)的项  $\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} (R(x+i,y+j))^2 \cdot \delta(i,j)$  时,窗口越大,无效像素越多,卷积运算量也就越大。不过随着窗口的增大,与算法 GAV1 相比,算法 GAV2 或 GAV3 增加的绝对计算时间都少得多,因为算法 GAV1 的卷积运算针对窗口的全部有效像素,而算法 GAV2 或 GAV3 的卷积运算仅针对占窗口比例约 21% 的无效像素。

3.2 掩膜图像窗口的灰度分布标准化计算时间对比

灰度分布标准化(Grayscale Distribution Normalization, GDN)实验过程是先计算每个可能是棋子的掩膜图像窗口的灰度均值及方差,然后计算该窗口中有效像素经灰度分布标准化变换后的灰度值,变换后的灰度值存放在与窗口大小相同的临时图像中,用于后续的模式匹配。因仅需分析计算速度,实验时窗口的灰



度均值及方差没有按 2.4 节的算法设定阈值,即每个窗口均作了灰度分布标准化处理。

灰度分布标准化的计算实验对比如表 3 所示。算法 GDN1 为直接公式法,即先使用式(7)和式(8)计算窗口的灰度均值及方差,再使用式(9)进行灰度分布标准化;算法 GDN2 和 GDN3 为灰度分布标准化处理时,均使用式(10)进行灰度变换,不同之处是快速计算窗口的灰度均值及方差时,算法 GDN2 使用了算法 GAV2 而算法 GDN3 使用了算法 GAV3。

窗口尺寸	灰度分布标准化的总计算时间(ms/10 000 个窗口)		
	GDN1	GDN2	GDN3
25 * 25	929.3	656.3	575.7
33 * 33	1 301.8	915.9	803.6
49 * 49	2 113.2	1 480.5	1 298.5

从表 3 可知,算法 GDN2 比 GDN1 的计算时间大大减少,这是因为采用广义积分图像计算掩膜图像窗口的灰度均值及方差,减少了计算开销,同时灰度分布标准化变换时,式(10)相比式(9)计算效率要高些;算法 GDN3 比算法 GDN2 的计算速度又进一步提高,是因为利用了圆形掩膜的对称性减少了窗口扫描范围。因此,掩膜不具对称性时,建议使用算法 GDN2,掩膜具有对称性时,建议参照算法 GDN3 的原理减少计算时间。

表 3 同时也说明 3 种算法的计算速度与窗口的大小均有关。因为在灰度分布标准化变换时,要对窗口的每一个有效像素进行变换处理,所以它们窗口越大,其有效像素越多,变换处理所需的时间越长。

#### 4 结束语

文中应用广义积分图像,实现了一种掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化算法。理论分析表明该算法不受掩膜的形状约束,可快速计算掩膜图像窗口的灰度均值和方差,最终实现窗口的快速灰度分布标准化

处理。由实现结果可以看出掩膜图像窗口的灰度均值和方差计算速度提高了 1 倍以上,说明了算法的有效性。文中还以圆形掩膜为例,说明了掩膜具有对称性时,算法的计算速度能进一步提高。特别适于多尺度目标检测时需要大量的掩膜图像窗口计算灰度均值、方差和进行灰度分布标准化处理的应用场合。

#### 参考文献:

[1] 郑永凯,张 凌,董守斌. 图像灰度分布标准化算法研究[J]. 小型微型计算机系统,2002,23(10):1218-1221.

[2] 江月松,王龙奇. 基于积分图像的红外图像降噪去条带方法[J]. 红外,2012,33(7):25-28.

[3] 尤红建,詹芊芊. 组合 Edgeworth 逼近和交叉熵的 SAR 变化检测[J]. 电子与信息学报,2011,33(1):38-42.

[4] 邵 平,杨路明,黄海滨. 基于积分图像的灰度分布标准化快速算法[J]. 计算机应用研究,2007,24(3):277-279.

[5] Ioannou D,Huada W,Laine A F. Circle recognition through a 2D hough transform and radius histogramming[J]. Image and vision computing,1999,17(1):15-26.

[6] Chung Kuoliang, Huang Yonghuai, Shen Shiming, et al. Efficient sampling strategy and refinement strategy for randomized circle detection[J]. Pattern recognition,2012,45(1):252-263.

[7] 钟 凡,莫铭臻,秦学英,等. 基于 WSSD 的不规则图像块快速匹配[J]. 中国图象图形学报,2010,15(3):495-501.

[8] Viola P, Jones M. Rapidobject detection using a boosted cascade of simple features [C]//Proc of IEEE conference on CVPR' 2001. USA:IEEE Computer Society Press,2001:511-518.

[9] 张敏贵. 基于小波和支持向量机的人脸识别方法研究[D]. 西安:西北工业大学,2003.

[10] 邢藏菊. 人脸自动检测方法研究[D]. 北京:中国科学院,2001.

[11] 梁路宏,艾海舟,何克忠,等. 基于多关联模板匹配的人脸检测[J]. 软件学报,2001,12(1):94-102.

[12] 梁路宏,艾海舟,何克忠,等. 基于仿射模板匹配的多角度单人脸定位[J]. 计算机学报,2000,23(6):640-645.

(上接第 228 页)

[9] 王结臣,沈定涛,陈焱明,等. 一种有效的复杂多边形裁剪算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2010,35(3):369-372.

[10] 苏 诚,韩俊刚. Sutherland-Hodgman 裁剪算法的改进[J]. 西安邮电大学学报,2013(3):80-82.

[11] 邓惠子,韩俊刚,马 超,等. 改进的三维剪裁算法及其硬件设计[J]. 电子科技,2013,26(7):1-4.

[12] 马培华. 直线反走样生成和裁剪的算法改进研究[D]. 南宁:广西大学,2012.

[13] 汪 文,夏礼吉,彭毓峰,等. 基于 VC 的任意不自相交多边形新裁剪算法[J]. 控制工程,2012,19(1):110-113.

[14] 周清平,陈学工. 大规模等值线图任意多边形裁剪算法[J]. 计算机与现代化,2012(4):196-200.

一种掩膜图像窗口的快速灰度分布标准化算法

作者：[邵平](#)，[朱俊岭](#)，[黄海滨](#)，[SHAO Ping](#)，[ZHU Jun-ling](#)，[HUANG Hai-bin](#)

作者单位：[邵平, 朱俊岭, SHAO Ping, ZHU Jun-ling\(肇庆学院 计算机学院, 广东 肇庆, 526061\)](#)，[黄海](#)  
[滨, HUANG Hai-bin\(玉林师范学院 计算机科学与工程学院, 广西 玉林, 537000\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(2)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjtz201402058.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201402058.aspx)