

基于广义掩膜积分图像的快速模板匹配^{*})

邵平^{1,2} 杨路明¹

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410000)¹ (玉林师范学院物理与信息科学系 玉林 537000)²

摘要 目标检测中模板匹配常需用掩膜排除待匹配窗口中的一些不相关区域。模板匹配的相关算法计算过程十分耗时,但由于掩膜的区域往往不规则,适用的快速算法较少。提出广义掩膜积分图像,实现了一种有掩膜的快速模板匹配算法。该算法不仅只需遍历待匹配窗口和模板的像素一次,而且在不改变匹配精度的同时简化了计算过程。人脸检测实验证明,该算法能显著提高有掩膜的模板匹配计算效率,特别适于需对目标和模板进行整体与局部多次匹配的应用场合。

关键词 模板匹配,广义掩膜积分图像,快速算法,人脸检测

Fast Template Matching Based on Extended Integral Image with Mask

SHAO Ping^{1,2} YANG Lu-ming¹

(Department of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410000, China)¹

(Department of Physics and Information Science, Yulin Normal College, Yulin 537000, China)²

Abstract It is often needed for template matching to eliminate some irrelevant areas of the matching window with mask in object detection. The computing process of template matching with correlation algorithm is very time consuming, few of the fast algorithm can be used to solve this problem as the areas of mask is often irregular. The extended integral image with mask is proposed, and a fast template matching algorithm is realized with it. This algorithm only need to ransack all pixels in the matching window one time, and the calculating process is simplified with no change to the matching accuracy. Experiment of face detection proves that this algorithm can remarkably improve the computing efficiency of template matching with mask, and it is very suitable for application when several times full or local matching should be done between the object and the template.

Keywords Template matching, Extended integral image with mask, Fast algorithm, Face detection

1 引言

模板匹配是一种图像中定位物体的重要方法,基于像素灰度值的相关算法由于其数学统计模型以及收敛速度、定位精度、误差估计等均有定量的分析研究结果^[1],且鲁棒性较好,得到了广泛应用。这类算法常将相关系数作为匹配准则。文献^[2]则认为,相关系数表征的是图像窗口与模板图像向量间的夹角,平均偏差则表征了图像窗口与模板图像向量间的欧式距离,因此提出以相关系数和平均偏差的加权和作为混合匹配准则来进行模板匹配。

由于基于像素灰度值的相关算法时间复杂度高,许多学者提出了快速算法^[3-6],但这些算法较少讨论有掩膜的快速模板匹配问题。掩膜常用来排除图像窗口中一些不相关或容易受到干扰的区域,以提高模板匹配的准确性,人脸检测中就常用掩膜进行模板匹配^[2,7],但掩膜的区域往往都不规则,不便实现快速计算。另外,模板匹配之前待检测的图像窗口往往需先作灰度分布标准化处理,以抑制不同灰度变化对模板匹配产生的影响^[2],导致时间复杂度的进一步增加。

本文提出广义掩膜积分图像,以使有掩膜的模板匹配计算量减少。广义掩膜积分图像是指掩膜积分图像、掩膜平方积分图像、掩膜乘积积分图像的总称,获得广义掩膜积分图像

只需在模板匹配前对图像窗口和模板的像素遍历一次,应用广义掩膜积分图像,计算有掩膜的图像窗口中任意矩形区域的灰度均值、方差,或对其进行灰度分布标准化处理,或计算其与模板对应区域之间的相关系数和平均偏差,均无需再遍历该矩形区域的像素。当图像窗口需与模板进行整体与局部的多次匹配(相当于多模板匹配)时,这种基于广义掩膜积分图像的快速模板匹配算法能显著提高计算效率。

值得说明的是,本文的快速算法是通过减少遍历待匹配图像窗口和模板像素的次数,以及简化计算过程,使模板匹配速度得到提高的。因此,还可与其它由粗至精的快速模板匹配算法结合。例如,基于“双眼-人脸”模板对的人脸检测,在粗检阶段可用双眼模板进行全图搜索,在细检阶段再运用本文的快速模板匹配算法进行整体与局部的细致匹配。

本文第2节提出广义掩膜积分图像,第3节阐述基于广义掩膜积分图像的快速模板匹配算法,第4节以多姿态人脸模板匹配^[8]为例说明广义掩膜积分图像的应用,第5节是实验结果,最后进行了总结。

2 广义掩膜积分图像

广义掩膜积分图像(Extended Integral Image with Mask, 简称 EIIM)是掩膜积分图像、掩膜平方积分图像、掩膜乘积

^{*}基金项目:广西教育厅科研项目(编号:200508208);玉林师范学院重点科研项目(2006YJZD03)。邵平 副教授,博士研究生,研究方向为图像处理、模式识别;杨路明 教授,博士生导师,主要研究方向为数据库、图像处理、模式识别。

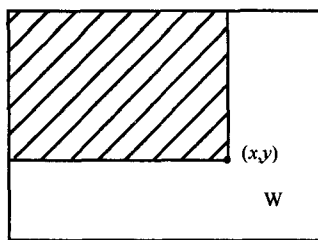
分图像的总称。对有掩膜的模板匹配问题, EIIM 作为图像窗口和模板的一种中间表示, 可用于提高图像窗口与模板的匹配速度。

设图像窗口、模板和掩膜具有相同的尺寸(图像窗口与模板尺寸不同时, 需先将其变换到与模板同样大小), 它们任意一点 (x, y) 的灰度值分别为 $i_w(x, y)$, $i_T(x, y)$ 和 $i_M(x, y)$ 。掩膜为二值图像, 其中 $i_M(x, y) = 255$ 表示该点 (x, y) 与模板匹配相关, 而 $i_M(x, y) = 0$ 则表示该点 (x, y) 与模板匹配不相关, 即被掩膜排除的点。为后续描述方便, 定义以下 $\delta(x, y)$ 函数:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } i_M(x, y) = 255 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

2.1 掩膜积分图像

掩膜积分图像(Integral Image with Mask, 简称 IIM)中任意一点 (x, y) 的值定义为:



(a) Sketch map of EIIM (EIIM 示意)

即 $ii_w(x, y)$ 代表如图 1(a) 所示图像窗口 W 的斜线区域中 $i_w(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 总和。IIM 可在对图像窗口像素的一次遍历中, 用式(2)、(3)迭代计算得到:

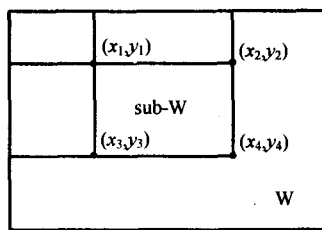
$$s(x, y) = \begin{cases} s(x, y-1) + i_w(x, y), & \text{if } i_M(x, y) = 255 \\ s(x, y-1), & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

$$ii_w(x, y) = ii_w(x, y-1) + s(x, y) \quad (3)$$

其中 $s(x, y)$ 表示 $i_w(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 一列的积分, 且 $s(x, -1) = 0, ii_w(-1, y) = 0$ 。

这样, 图 1(b) 所示图像窗口的任意矩形区域 sub-W 不管大小如何, 其 $i_w(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 的总和都可用 IIM 的 4 个相应点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 快速算出, 即等于:

$$ii_w(x_4, y_4) + ii_w(x_1, y_1) - ii_w(x_2, y_2) - ii_w(x_3, y_3)$$



(b) Sketch map of using EIIM (EIIM 用法示意)

图 1 EIIM 及其用法示意

2.2 掩膜平方积分图像

掩膜平方积分图像(Square Integral Image with Mask, 简称 SIIM)中任意一点 (x, y) 的值定义为:

$$sii_w(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} (i_w(x', y'))^2 \cdot \delta(x', y') \quad (4)$$

即 $sii_w(x, y)$ 代表如图 1(a) 所示图像窗口 W 的斜线区域中 $(i_w(x, y))^2 \cdot \delta(x, y)$ 的总和。SIIM 可在对图像窗口像素的一次遍历中, 用式(5)、(6)迭代计算得到:

$$ss(x, y) = \begin{cases} ss(x, y-1) + i_w(x, y) \cdot i_w(x, y), & \text{if } i_M(x, y) = 255 \\ ss(x, y-1), & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

$$sii_w(x, y) = sii_w(x, y-1) + ss(x, y) \quad (6)$$

其中 $ss(x, y)$ 表示 $(i_w(x, y))^2 \cdot \delta(x, y)$ 一列的积分, 且 $ss(x, -1) = 0, sii_w(-1, y) = 0 = 0$ 。

这样, 图 1(b) 所示图像窗口 W 的任意矩形区域 sub-W 不管大小如何, 其 $(i_w(x, y))^2 \cdot \delta(x, y)$ 的总和都可用 SIIM 的 4 个相应点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 快速算出, 即等于:

$$sii_w(x_4, y_4) + sii_w(x_1, y_1) - sii_w(x_2, y_2) - sii_w(x_3, y_3)$$

2.3 掩膜乘积积分图像

掩膜乘积积分图像(Product Integral Image with Mask, 简称 PIIM)中任意一点 (x, y) 的值定义为:

$$pii_w(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i_w(x', y') \cdot i_T(x', y') \cdot \delta(x', y') \quad (7)$$

即 $pii_w(x, y)$ 代表如图 1(a) 所示图像窗口 W 中的斜线区域 $i_w(x, y) \cdot i_T(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 的总和。PIIM 可在对图像窗口和模板像素的一次遍历中, 用式(8)、(9)迭代计算得到:

$$ps(x, y) = \begin{cases} ps(x, y-1) + i_w(x, y) \cdot i_T(x, y), & \text{if } i_M(x, y) = 255 \\ ps(x, y-1), & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

$$pii_w(x, y) = pii_w(x, y-1) + ps(x, y) \quad (9)$$

其中 $ps(x, y)$ 表示 $i_w(x, y) \cdot i_T(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 一列的积分, 且 $ps(x, -1) = 0, pii_w(-1, y) = 0$ 。

这样, 图 1(b) 所示图像窗口 W 的任意矩形区域 sub-W 不管大小如何, 其 $i_w(x, y) \cdot i_T(x, y) \cdot \delta(x, y)$ 的总和都可用 PIIM 的 4 个相应点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 快速算出, 即等于:

$$pii_w(x_4, y_4) + pii_w(x_1, y_1) - pii_w(x_2, y_2) - pii_w(x_3, y_3)$$

IIM, SIIM 和 PIIM 即合称为 EIIM, 它们可在对图像窗口和模板像素的同一次遍历中获得, 只有少量的加法和乘法运算, 计算开销很小。

3 基于 EIIM 的快速模板匹配

模板匹配时, 先将图像窗口变换成与模板同样大小, 设选取图像窗口的任意矩形区域 sub-W 与模板对应区域进行匹配, 匹配前先作灰度分布标准化处理。若 sub-W 的左上角和右下角顶点坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , sub-W 中与模板匹配相关的像素总数 K 取决于掩膜, 即 $K = \sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} \delta(x, y)$ 。K 可离线求得, 不需占用模板匹配时间。

3.1 灰度均值及方差的快速计算

对图像窗口的矩形区域 sub-W 作灰度分布标准处理前, 需先用公式(10)和(11)获得该区域的灰度均值 $\bar{\mu}$ 和方差 $\bar{\sigma}^2$:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} i_w(x', y') \cdot \delta(x', y')}{K} \quad (10)$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} (i_w(x', y') - \bar{\mu})^2 \cdot \delta(x', y')}{K} \quad (11)$$

式(10)表明,当计算 sub-W 的灰度均值时,需要遍历该区域像素;若利用 IIM 来计算项 $\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} i_w(x',y') \cdot \delta(x',y')$,则可避免对该区域像素的遍历,快速算出其灰度均值。式(11)表明,当计算 sub-W 的灰度方差时,不但要先算出该区域的灰度均值,而且之后还需遍历一次该区域像素。若将式(11)展开后化简为:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} (i_w(x',y'))^2 \cdot \delta(x',y')}{K} - (\bar{\mu})^2 \quad (12)$$

由于在式(12)中, $\bar{\mu}$ 可用 IIM 来计算,而 $\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} (i_w(x',y'))^2 \cdot \delta(x',y')$ 可用 SIIM 来计算,这样无需对像素遍历,即可快速算出该区域的灰度方差。

计算模板中与 sub-W 相应的区域之灰度均值 $\bar{\mu}_T$ 和方差 $\bar{\sigma}_T^2$ 可离线进行,不需占用模板匹配时间。

3.2 灰度分布标准化的快速计算

灰度分布标准化是指将灰度均值和方差变换为事先设定的标准值 μ_0 和 σ_0 。灰度分布标准化作为模板匹配前的预处理步骤^[5-7],就是要求将 sub-W 中每一个与模板匹配相关的像素之灰度值 $i_w(x,y)$ 按式(13)变换为 $\hat{i}_w(x,y)$ 。

$$\hat{i}_w(x,y) = \frac{\sigma_0}{\sigma} (i_w(x,y) - \bar{\mu}) + \mu_0 \quad (13)$$

式(13)是灰度分布标准化的近似公式。由于 $\bar{\mu}$ 和 σ 可利用 IIM 和 SIIM 按 3.1 节的方法快速算出,因此灰度分布标准化可快速实现。

类似地,模板中与 sub-W 相应的区域也需进行灰度分布标准化,即将其像素的灰度值 $i_T(x,y)$ 按式(14)变换为 $\hat{i}_T(x,y)$ 。此处理过程可离线完成,不需占用模板匹配时间。

$$\hat{i}_T(x,y) = \frac{\sigma_0}{\sigma_T} (i_T(x,y) - \bar{\mu}_T) + \mu_0 \quad (14)$$

3.3 混合匹配度的快速计算

相关系数表征的是窗口与模板向量间的夹角,平均偏差则表征了窗口与模板向量间的欧氏距离,因此可用相关系数和平均偏差的加权和作为混合匹配准则^[2],但这样做比单一采用相关系数或平均偏差作匹配准则显然要更加耗时。若利用 EIIM 来计算混合匹配度(即相关系数和平均偏差的加权和),将可大大提高计算效率。

图像窗口的矩形区域 sub-W 及模板的相应区域分别作灰度分布标准化处理后,将具有相同的灰度均值 μ_0 和方差 σ_0 。它们之间的相关系数 r 和平均偏差 d 分别由式(15)和(16)确定。

$$r \approx \frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} ((\hat{i}_T(x',y') - \mu_0) \cdot \hat{i}_T(x',y') - \mu_0) \cdot \delta(x',y'))}{K \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_0} \quad (15)$$

$$d \approx \sqrt{\frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} (\hat{i}_w(x',y') - \hat{i}_T(x',y'))^2 \cdot \delta(x',y')}{K}} \quad (16)$$

为减少相关系数和平均偏差的计算量,将式(15)和式(16)右边分别展开后整理得

$$r \approx \frac{1}{\sigma_0^2} \left(\frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} \hat{i}_w(x',y') \cdot \hat{i}_T(x',y') \cdot \delta(x',y')}{K} - \mu_0^2 \right) \quad (17)$$

$$d \approx \sqrt{2 \cdot (\sigma_0^2 + \mu_0^2) - \frac{2 \cdot \sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} \hat{i}_w(x',y') \cdot \hat{i}_T(x',y') \cdot \delta(x',y')}{K}}$$

利用式(17),得

$$d \approx \sqrt{2 \cdot \sigma_0^2 (1-r)} \quad (18)$$

将式(13)和(14)代入式(17)并展开和化简,相关系数还可表示为

$$r \approx \frac{1}{\sigma_T \sigma} \left(\frac{\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} i_w(x',y') \cdot i_T(x',y') \cdot \delta(x',y')}{K} - \bar{\mu}_T \bar{\mu} \right) \quad (19)$$

式(19)中, $\sum_{y=y_1}^{y_2} \sum_{x=x_1}^{x_2} i_w(x',y') \cdot i_T(x',y') \cdot \delta(x',y')$ 可由 PIIM 快速算出,从而也无需对像素进行遍历。根据式(18)和式(19)计算相关系数和平均偏差,不用求 $\hat{i}_w(x,y) \cdot \hat{i}_T(x,y)$,因此可省略灰度分布标准化时的像素灰度值变换过程。最终的模板匹配度可用混合匹配度 D 来衡量^[2],即

$$D = r + \frac{\alpha}{1+d} \quad (20)$$

其中 α 是权重系数,选取经验值 $\alpha=35$ 。

综上所述,图像窗口的任意矩形区域 sub-W 与模板相应区域进行匹配时,利用 EIIM 快速计算其混合匹配度的过程是:

- (1) 利用 IIM 和式(10)快速计算出区域 sub-W 的灰度均值 $\bar{\mu}$, 并利用 SIIM 和式(12)快速得到其方差 σ^2 (模板相应区域的灰度均值 $\bar{\mu}_T$ 和方差 σ_T^2 在模板匹配前可离线获得);
- (2) 利用 PIIM 和式(19)快速算出相关系数;
- (3) 利用式(18)和式(20)得到混合匹配度 D 。

从以上分析可知,利用 EIIM 实现灰度均值、方差、灰度分布标准化,以至混合匹配度的计算,并未改变原有的匹配精度,但由于对图像窗口和模板像素所需的遍历次数减少,以及计算过程的简化,使模板匹配速度得到了提高。

4 基于 EIIM 的快速模板匹配实例

文献[8]介绍了一种多姿态人脸检测算法,该算法在使用多姿态知识模型进行粗检测之后,通过如图 2 所示的多姿态模板匹配来实现人脸细检,我们以此为例来说明基于 EIIM 的快速模板匹配。

在对所有可能是人脸的图像窗口,使用器官梯度图和多姿态知识模型进行粗检测后,获得正面、顺时针旋转和逆时针旋转共三种姿态的候选人脸窗口位置和大小^[8];然后根据各窗口左眼、右眼和嘴巴区域的重心适当调整窗口位置和大小,作为后续模板匹配的候选人脸。对每一候选人脸,采用图 2



图 2 多姿态人脸模板、镜像和掩膜

所示的多姿态人脸模板、镜像和掩膜,按下述两种方案进行快速模板匹配。

方案 A:

(1)选取正面姿态的候选人脸,并将其变换到与正面模板同样大小,然后结合正面掩膜,计算其广义掩膜积分图像 EIIM。

(2)利用 EIIM,分别计算该候选人脸与正面模板及其镜像的混合匹配度 D_F 和 D'_F (利用 EIIM 计算混合匹配度的步骤参见第 3.3 节),若 $\max(D_F, D'_F)$ 大于阈值,则认为是人脸。

(3)分别选取顺时针旋转姿态和逆时针旋转姿态的候选人脸与其相应模板及镜像,按类似步骤(1)和(2)的方法进行匹配。

(4)将三种姿态的候选人脸中位置和大小相近者合并,作为最终人脸。

方案 B:

仅与方案 A 的步骤(2)不同,即将方案 A 的第(2)步改为:

利用 EIIM,除分别计算该候选人脸与正面模板及其镜像的混合匹配度 D_F 和 D'_F 外,还分别计算其局部区域(双眼、左半脸、右半脸,即窗口的上半部分、左半部分、右半部分)与正面模板及其镜像的相应区域之混合匹配度 D_E 和 D'_E (双眼)、 D_L 和 D'_L (左半脸)、 D_R 和 D'_R (右半脸),然后求加权和:

$$\alpha \cdot \max(D_F, D'_F) + \beta \cdot \max(D_E, D'_E) + \frac{\gamma}{2} \cdot (\max(D_L, D'_L) + \max(D_R, D'_R))$$

其中 α, β, γ 为加权系数,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。若此加权和大于阈值,则认为是人脸。

与以上快速模板匹配算法相应的经典算法是直接原公式计算,即第(1)步不计算 EIIM,第(2)步先用公式(10)、(11)计算灰度均值、方差,再用公式(13)进行灰度分布标准化处理,最后用公式(15)、(16)和(20)算出混合匹配度。

5 实验结果

下面以第 4 节的多姿态人脸检测为例,讨论本文快速算法的计算效率。实验使用 Pentium-700CPU、256M 内存的 PC 机,在 delphi7.0 平台上编程实现,实验图像来自 CMU 人脸检测图库。

采用第 4 节中的方案 A 和方案 B,分别按经典模板匹配算法(Template Matching Algorithm,简称 TMA)和快速模板匹配算法(Fast Template Matching Algorithm,简称 FTMA)进行实验,其结果如表 1 所示。其中匹配时间 1 是模板尺寸为 24×24 像素时的检测结果,匹配时间 2 是模板尺寸为 48×48 像素时的检测结果,匹配时间均为多姿态模板匹配的总检测时间(即包括方案 A 或方案 B 的所有检测步骤花费的总时间)。由于粗检后实际参加模板匹配的候选人脸一般为几十至几千个窗口,因此表 1 中匹配时间以 $s/10^3$ 个窗口为单

位。方案 A 和方案 B 的混合匹配度阈值均取 1.1,方案 B 中加权系数 α, β, γ 分别取 0.4, 0.3, 0.3。

从表 1 可以看出:

(1)采用方案 A 进行匹配时,快速算法 FTMA1 只有经典算法 TMA1 匹配时间的 60%左右,说明基于 EIIM 的算法能有效提高模板匹配的计算效率。

(2)当经典算法采用方案 B 时,匹配时间大增至采用方案 A 时的约 260%,而快速算法采用方案 B 时,匹配时间相对方案 A 却没有明显的增加。这表明在需进行整体与局部多次匹配(相当于多模板匹配)的应用场合,基于 EIIM 的算法能更显著地提高模板匹配的计算效率。

(3)模板尺寸增大后,经典算法的匹配时间显著增加(表 1 中,匹配时间 2 减去匹配时间 1),而基于 EIIM 的快速算法匹配时间相对增加较少。

表 1. 不同算法匹配时间的比较

算 法	匹配 采用		匹配时间 1	匹配时间 2
	方案	EIIM	(s/103 个窗口)	(s/103 个窗口)
TMA1	方案 A	否	1.104	2.152
FTMA1	方案 A	是	0.694	1.400
TMA2	方案 B	否	2.906	5.668
FTMA2	方案 B	是	0.699	1.412

结束语 本文针对有掩膜的模板匹配,直接从模板匹配的相关计算公式出发,以 EIIM 为辅助手段,提出一种基于 EIIM 的快速模板匹配算法,以解决窗口灰度均值和方差、灰度分布标准化处理、相关系数和平均偏差等计算耗时的问题。该算法通过减少遍历待匹配图像窗口和模板像素的次数,以及简化计算过程,使模板匹配速度得到了提高,而并不改变原有的匹配精度。多姿态人脸模板匹配实验结果表明该算法对提高计算效率是有效的。特别是当有掩膜的待匹配窗口需要与模板进行整体与局部的多次匹配时,该算法优势更加显著。

参 考 文 献

- [1] Brown L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-376
- [2] 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
- [3] Anisimov V A, Gotsky N D. Fast hierarchical matching of an arbitrarily oriented template [J]. Pattern Recognition Letters, 1993, 14(2): 95-101
- [4] Vanderbrug G J, Rosenfeld A. Two-stage template matching [J]. IEEE Trans on Computers, 1977, C-26(4): 384-393
- [5] Vinod V V, Murase H. Focused color intersection with efficient searching for object extraction [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(10): 1787-179
- [6] 邵平,杨路明,黄海滨,曾耀荣. 基于积分图像的快速模板匹配[J]. 计算机科学, 2006, 33(12): 225-229
- [7] 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
- [8] 邵平,杨路明,黄海滨,曾耀荣. 基于多姿态知识模型和模板的快速人脸检测[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(2): 346-350