

改进 NCC 算法在铝塑药板包装缺陷检测中的应用

王俊, 葛斌, 陈轶楠, 陆婧, 李超

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要: **目的** 鉴于传统归一化互相关算法 (Normalized cross correlation, NCC) 存在计算量大及无法适应图像旋转的缺陷, 提出一种改进算法, 能快速完成对泡罩区域的提取, 以及对铝塑药板缺损、漏装等缺陷的识别。**方法** 首先对原始图像进行预处理, 然后通过仿射变换使其变换至指定位置, 接着提取其单个泡罩区域作为模板并构建积分图, 最后获取待测图像, 变换至相同位置后进行查表式匹配。**结果** 与传统方法相比, 改进后算法速度得到极大提升, 对为 1920×1200 图片的匹配时间仅为 21 ms, 对实验样品的检测误检率为 0, 漏检率为 3.5%。**结论** 改进后的 NCC 匹配算法在满足精度要求的同时具有较快的速度优势, 能较好地适用于铝塑泡罩包装缺陷检测中对泡罩区域的快速提取, 药粒缺损 10% 以上缺陷及漏装缺陷的识别。

关键词: NCC; 铝塑泡罩药板; 积分图; 模板匹配

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)17-0196-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.027

Application of Improved NCC Matching Algorithm in the Detection of Packaging Defects of Aluminum Plastic Blisters

WANG Jun, GE Bin, CHEN Yi-nan, LU Jing, LI Chao

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an improved algorithm to quickly complete the extraction of blister area, and complete the defect identification of aluminum plastic plate, such as defect, missing, etc. in view of the shortcomings of traditional NCC algorithm, such as large calculation and failure to adapt to image rotation. Firstly, the original image was preprocessed and then transformed to the designated position by affine transformation. Secondly, a single blister area was extracted as a template and an integral map was constructed. Finally, the image to be measured was obtained, and then transformed to the same position for table matching. Compared with the traditional method, the speed of the improved algorithm was greatly improved. The matching time of 1920×1200 images was only 21 ms, the detection error rate of the experimental samples was 0, and the missed detection rate was 3.5%. The improved NCC matching algorithm not only meets the accuracy requirements, but also has the advantage of faster speed, which can be well applied to the rapid extraction of blister areas in the defect detection of aluminum plastic blister packaging, and the identification of defects with more than 10% of drug particle and missing loading defects.

KEY WORDS: NCC; aluminum plastic blister plate; integral diagram; template matching

收稿日期: 2020-01-19

作者简介: 王俊 (1995—), 男, 上海理工大学硕士生, 主攻机器视觉。

通信作者: 葛斌 (1960—), 男, 上海理工大学副教授、硕导, 主要研究方向为医疗器械结构设计。

铝塑泡罩药品包装^[1]是目前国内制药企业最常用的药品包装方式之一,但是在生产过程中仍难免会出现问题导致药板出现缺陷^[2],一旦流入市场,会给消费者和企业都带来损失。若采取人工挑选的方法来保证产品质量,不仅费时费力,且其判断存在主观性,准确度不高。如何提高铝塑泡罩药品缺陷检测的自动化水平是企业能否保证质量,提高生产效率的关键。当前机器视觉技术^[3]应用广泛,基于机器视觉的药品包装缺陷检测通过工业相机获取待测图像,使用计算机进行图像处理来判断药品是否存在缺陷^[4]。使用图像处理的方法可以有效提高检测的准确率和效率,进一步提高生产自动化水平。该套视觉检测系统搭建完成后,从采图处理到得出结果发送剔除指令的过程中不易受外界影响,具有较高的可靠性。

在泡罩药板缺陷^[5]的实时检测过程中,完成泡罩区域的定位或者分割^[6-7]是首要任务,其在实时检测中首要的问题是如何除去背景纹理的干扰和满足较高的速度要求。模板匹配^[8-9]是常用的一种定位检测方法,该方法首先获取目标图像的特征信息生成模板,然后根据搜索图像和模板信息之间的相似性,通过选取一个最高值来确定目标对象的位置。基于灰度的模板匹配算法有平均绝对差算法(MAD)、归一化互相关算法(NCC)、序贯相似性检测算法(SSDA)^[10]、图像灰度编码算法(PFC)等^[11],对于存在大量纹理干扰泡罩轮廓的铝塑泡罩药板实时检测来说,MAD算法和 SSDA 算法较差的抗噪能力以及 PFC 算法对于光照的高要求使得他们均不适用于泡罩药品的实时检测,而具有抗光照纹理影响能力且匹配精度高的归一化互相关算法(NCC)最为合适,但是传统的 NCC 匹配算法具有计算量大且无法适应目标旋转的缺点,无法适用于工业实时检测。在此基础上,文中提出一种改进的 NCC 匹配算法以解决上述问题,并通过工业相机镜头,圆顶光源等搭建系统获取图像,进行实验证明其实用性。

1 NCC 匹配算法

基于灰度归一化互相关的模板匹配算法 Normalized cross correlation (NCC)^[12-13]是一种常用的基于灰度值的匹配方法。NCC 算法的处理结果输出一个介于 0~1 之间的数,越接近 1 表明目标图像的匹配度越高,这样相较于其他得到目标区域作为结果的算法,NCC 输出的结果更容易判断好坏,只需设置一个阈值与得出的数比较即可。其计算公式为:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - \overline{S^{i,j}}] \times [T^{m,n} - \overline{T}]}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - \overline{S^{i,j}}]^2 \cdot \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T^{m,n} - \overline{T}]^2}} \quad (1)$$

式中: R 为输出的匹配值; S 为目标图像; T 为模板图像; $M \times N$ 为模板大小; $m \times n$ 为匹配窗口大小。该方法将匹配窗口置于目标图像上,覆盖的矩形区域中左上角的点称为参考点,其坐标为 (i, j) ,计算覆盖区域目标图像和模板图像的匹配度,后将匹配窗口在目标图像上进行平移,重复上述操作,即通过遍历目标图像^[14],在所有子图中找到匹配度最高的作为匹配的结果,见图 1。

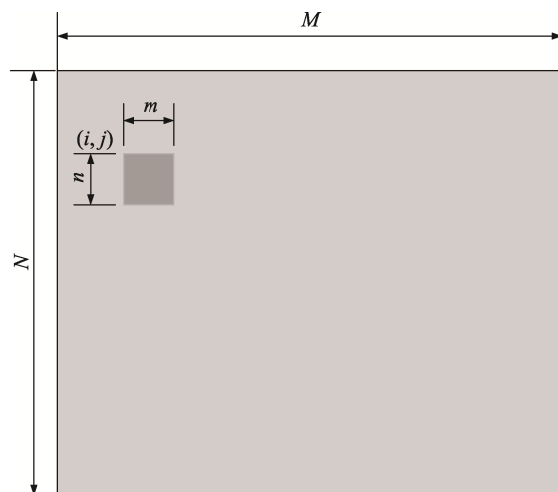


图 1 匹配过程
Fig.1 Matching process

该算法的计算复杂度为 $O(m \times n \times M \times N)$,且窗口越大,所需时间越多,虽然可以通过优化 m, n 的大小和每次平移的步长来适当减少计算次数,但对于实时检测来说,其速度仍难以满足要求。

NCC 匹配算法识别效果见图 2。

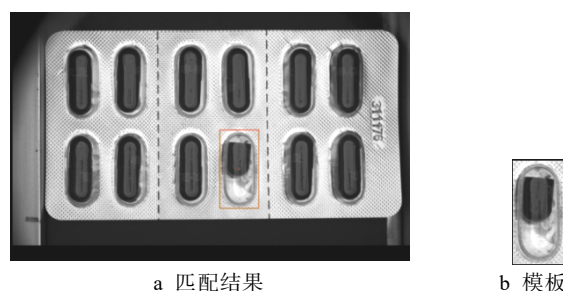


图 2 识别效果
Fig.2 Identification effects

2 NCC 匹配算法的改进

传统 NCC 匹配算法是一种基于灰度的模板匹配方法,具有较好的鲁棒性,光照变化适应性且适用于模糊图像、边缘微变形图像及纹理图像,但其计算复杂度高且不适应旋转图片的问题使其难以应用于工业实时检测。针对传统 NCC 匹配算法的不足,通过对传统 NCC 算法的改进,达到在不改变算法精度的

情况下提高其速度,并使其具备处理旋转图像的能力。该改进算法首先通过求解图像的变换矩阵,通过旋转、平移使图像的位置与模板图像一致,然后引入积分图^[15]计算的方法代替传统方法中的迭代重复计算,大大减少计算的复杂度。

2.1 二维仿射变换

在二维空间中,将一幅图像中的多条直线映射到另外一幅图像,并且不改变其形状位置关系,这种变换称之为仿射变换。仿射变换可以理解为对图像进行平移、旋转、缩放、反转变换中的一种或几种变换,其关键在于对变换矩阵的求解,见式(2)。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \Delta x \\ a_3 & a_4 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: (x, y) 为新图像中对应由原图像中像素点 (x_0, y_0) 经变换后得到的新像素点; $\Delta x, \Delta y$ 为变换过程中的平移量,而 $a_i (i=1,2,3,4)$ 则表示图像的旋转、缩放等变化。只要计算出 $\Delta x, \Delta y, a_i (i=1,2,3,4)$ 等参数,就能够得到对应的变换矩阵,反映 2 幅图像的变换关系。该方法可以将生产过程中由于机械振动或摆放不齐影响的泡罩图像变换至相同位置。文中统一将目标待测图像变换至图像中心,且旋转角度为 0 的位置,保证了模板图像和目标图像的角度一致性,处理效果见图 3。



a 变换前



b 变换后

图 3 仿射变换效果

Fig.4 Affine transformation rendering

2.2 积分图算法

在传统的 NCC 匹配算法中引入积分图算法可以

极大地减少计算的复杂度,满足特征实时检测的要求。积分图算法简单来说就是通过构建一张“积分图”(Summed Area Table),使得原图像内任何区域的像素和均能通过查表以及若干次加减运算得出,大大减少了运算量。想要构建“积分图”,需要对图像中每一个像素点的灰度值进行积分,即每一个像素点 (x, y) 的积分值为以此点作为右下角顶点的矩形内所有灰度值之和 T :

$$T(x, y) = \sum_{x_i \leq x, y_i \leq y} I(x_i, y_i) \quad (3)$$

积分图原理见图 4。

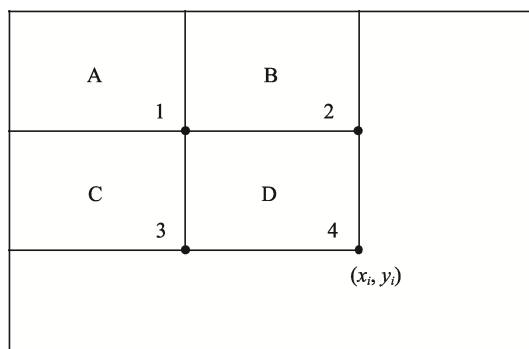


图 4 积分图原理

Fig.4 Principle of integral diagram

从图 4 中可知,图像中任意一点 (x_i, y_i) 处的积分可分为 4 个部分。

- 1) 区域 1 灰度值和 $T_1 = T_A$ 。
- 2) 区域 2 灰度值和 $T_2 = T_A + T_B$ 。
- 3) 区域 3 灰度值和 $T_3 = T_A + T_C$ 。
- 4) 区域 4 灰度值和 $T_4 = T_A + T_B + T_C + T_D$ 。

如果想要得到 D 区域的像素和,只需进行如下计算:

$$\text{Sum}(D) = T_1 + T_4 - T_2 - T_3 \quad (4)$$

该方法的运行速度与窗口的尺寸无关,仅需通过查找 4 次积分图以及 1 次加法、2 次减法运算即可得出目标区域的像素和,计算复杂度为 $O(4)$,极大地减少了每次重复计算浪费的大量时间。

使用积分图算法可以完成对 NCC 匹配算法中模板图像的预计算,构建积分图,在匹配的过程中仅需查找积分图进行简单运算即可得出任意位置滑动窗口的像素积分值,克服了传统 NCC 匹配算法每次匹配都要重新计算的弊端。

3 实验结果与分析

文中程序采用 C# 语言,取 NCC 阈值为 0.67,在 Visual Studio 2015 中进行实验,电脑系统为 Windows 10,处理器为 Intel (R) Core (TM) i7-8750H@2.20 GHz。实验采用相机型号为 TP-VAO20-20GC,其参

数：200 万像素，2/3"CMOS 全局曝光，帧率为 51 Hz，镜头为 6 mmCCTV 工业镜头，实验光源为口径 200 mm 的半球形内壁圆顶光源，光色为白色。获取图像的视觉系统见图 5。



图 5 图像获取系统
Fig.5 Image acquisition system

文中共有 200 板同种铝塑泡罩药板样品，其中缺陷样板数量为 80 板，将 200 板样品改变不同角度，共获取 400 幅分辨率为 1920×1200 的待测图像。对待测图像进行识别的过程主要分为模板的创建和目标图像的识别，见图 6。

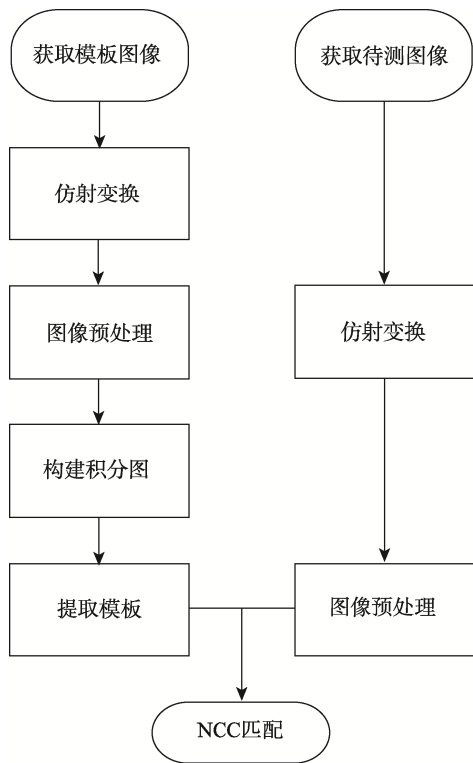


图 6 匹配算法流程
Fig.6 Matching algorithm flow chart

使用文中算法对待测图像进行处理，根据模板选择的不同，不仅可以用于识别待测药品的种类，更能

快速完成对药板缺陷检测中最关键的泡罩区域的定位识别，匹配原图及匹配模板见图 7，其效果见图 8（不符合的匹配结果用圆圈标出）。



图 7 改进 NCC 匹配原图及匹配模板
Fig.7 Original drawing of improved NCC matching and matching template

表 1 改进后算法与传统算法匹配速度对照
Tab.1 Comparison of matching speed between improved algorithm and traditional algorithm

匹配算法	图像尺寸	匹配时间/s
传统 NCC	1920×1200	5.861
改进的 NCC	1920×1200	0.021

由表 1 可知，在铝塑泡罩定位的过程中，文中的匹配算法相较于传统的 NCC 匹配算法，在不改变精度的情况下大幅提高了检测速度，能够满足工业实时检测的需求。

由图 8 可见，该算法除了对于泡罩区域的位置能够实现准确定位，还能对药片的缺损、漏装、裂片等缺陷进行有效的检测。针对不同旋转角度的 400 张待测图片，使用文中算法检测缺损、漏装、粉末、裂痕缺陷，得出误检率与漏检率的计算见式（5—6），实验所用样品中各缺陷类型见表 2，检测结果汇总见表 3。

误检率= $\frac{\text{检出缺陷中正确的样品数}}{\text{总的样品数}}$ (5)

漏检率= $\frac{\text{未检出的缺陷样品数}}{\text{总的样品数}}$ (6)

在改变角度得到的 400 个样本图片中，未检测出的 14 个缺陷样品中，有 4 个为缺损缺陷，6 个为裂片缺陷，4 个为粉末缺陷。分析结果可知，文中算法对于粉末缺陷和较小的裂片缺陷检测时的准确率仍有提升的空间，原因可能是较小的缺损缺陷，较细的裂缝缺陷及部分粉末缺陷引起的灰度值变化不是很大，与模板的差异性小，所设阈值无法将其挑选出来。对于漏装缺陷和缺损程度在 10%以上的缺损缺陷在满足速度要求的同时检测效果较好。若要得到更高的检测准确度，则需要增加模板的像素点，可选择尽可能增大匹配模板或是提高图像的分辨率使一些细小的缺陷包含更多的像素点，使得 R 值产生更明显的变化。

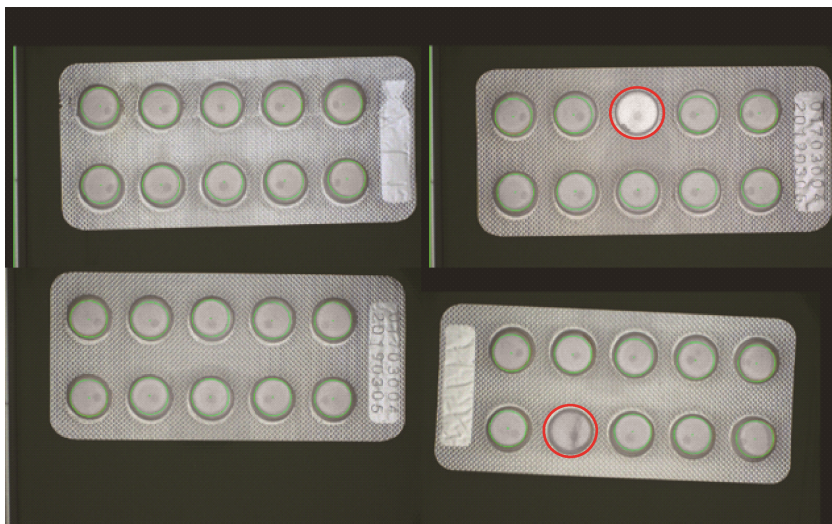


图 8 改进 NNC 匹配效果
Fig.8 Matching effect of improved NNC

表 2 缺陷样品种类及数量
Tab.2 Types and quantity of defective samples

类别	缺损缺陷样品数量	漏装缺陷样品数量	粉末缺陷样品数量	裂片缺陷样品数量	总计
改变角度后样品数量	56	44	34	26	160
实际样品数量	28	22	17	13	80

表 3 检测结果汇总
Tab.3 Summary of detection results

类别	样本数量	缺陷样本数量	误检率	漏检率/%
改变角度后样品数量	400	160	0	3.5
实际样品数量	200	80	0	3.5

4 结语

由实验结果可以看出,文中算法在传统 NCC 匹配的基础上利用仿射变换使之能适应图像的旋转,结合积分图算法先构建积分图,完成图像像素值积分的预计算,大大降低匹配过程中的计算复杂度。改进的 NCC 匹配算法在不改变精度的情况下,匹配速度快的特点使其能够在铝塑泡罩药品包装缺陷检测过程中完成快速提取泡罩区域的任务,同时对于缺损、漏装缺陷能有较好的识别效果。在工业生产中,针对种类不同的药板,该方法需要适当改变阈值。若要进一步减少漏检率,可在匹配完成后进一步针对细小缺陷进行图像分割。由于文中实验所选样本较少,若使用更多样本,识别准确率依实际情况不同可能会发生一定变化。

参考文献:

- [1] 薛利军, 张虎, 李自田. 采用机器视觉的药品包装实时在线检测系统的研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 52—54.
- [2] XUE Li-jun, ZHANG Hu, LI Zi-tian. Study on Pharmaceutical Packaging Real-time Online Detection System Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 52—54.
- [3] JOZE D. Real-time Automated Visual Inspection of Color Tablets in Pharmaceutical Blisters[J]. Real-Time Imaging, 2003, 9(2): 113—124.
- [4] 朱荣华, 葛广英, 张广世, 等. 基于双目视觉的引磁片定位与测量研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(8): 40—43.
- [5] ZHU Rong-hua, GE Guang-ying, ZHANG Guang-shi, et al. Research on Magnetic Sheet Positioning and Measuring Based on Binocular Vision[J]. Computer Measurement & Control, 2019, 27(8): 40—43.
- [6] ZIGA S, MARKO B, FRANJO P. Image Registration for Visual Inspection of Imprinted Pharmaceutical Tablets[C]// Machine Vision and Application, 2011(22): 197—206.
- [7] 郑龙, 袁俊. 基于机器视觉的药品铝塑包装检测及应用[J]. 科技通报, 2018, 34(7): 174—177.

- ZHENG long, YUAN Jun. Detection and Application of Drug Aluminum Plastic Packaging Based on Machine Vision[J]. Science and Technology Bulletin, 2018, 34(7): 174—177.
- [6] HU Rui-zhen, FAN Lu-bin, LIU Li-gang. Cosegmentation of Dshapes via Subspace Clustering[J]. Computer Graphics Forum, 2012, 31(5): 1703—1713.
- [7] 伍玉琴, 徐海元, 成晓军. 基于机器视觉的齿轮缺陷识别研究[J]. 煤矿机械, 2019, 40(4): 170—172.
- WU Yu-qin, XU Hai-yuan, CHENG Xiao-jun. Research on Gear Defect Recognition Based on Machine Vision[J]. Coal Mine Machinery, 2019, 40(4): 170—172.
- [8] 童源. 基于视频监控的目标检测与跟踪算法研究[D]. 南京: 东南大学, 2017: 37—46.
- TONG Yuan. Investigation of Moving Object Detection and Tracking Algorithms for Visual Surveillance[D]. Nanjing: Southeast University, 2017: 37—46.
- [9] 杨昆, 张明新, 刘永俊. 基于优化粒子群的NCC模板匹配算法[J]. 计算机应用与软件, 2015(8): 162—165.
- YANG Kun, ZHANG Ming-xin, LIU Yong-jun. NCC Template Matching Algorithm Based on Optimized PSO[J]. Computer Applications and Software, 2015(8): 162—165.
- [10] 李子印, 许斌, 陈立峰. 基于自适应步长选择的NCC图像匹配算法[J]. 光电工程, 2013, 40(10): 77—84.
- LI Zi-yin, XU Bin, CHEN Li-feng. Normalized Cross Correlation Image Matching Algorithm Based on Adaptive Step Size[J]. Opto-electronic Engineering, 2013, 40(10): 77—84.
- [11] 王恩国, 吴树范. NCC边缘信息快速匹配算法[J]. 电子技术, 2017(12): 25—27.
- WANG En-guo, WU Shu-fan. Fast Matching Algorithm Based on Edge Information[J]. Electronics R&D, 2017(12): 25—27.
- [12] YONG S H, KYOUNG M L, SANG U L. Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-correlation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(4): 807—822.
- [13] 彭博, 罗莎莎, 杨烽, 等. 基于和表的互相关计算方法在超声弹性成像中的性能分析[J]. 光电工程, 2019, 46(6): 36—44.
- PENG Bo, LUO Sha-sha, YANG Feng, et al. Performance Analysis of a Sum-table-based Method for Computing Cross-correlation in GPU-accelerated Ultrasound Strain Elastography[J]. Opto-electronic Engineering, 2019, 46(6): 36—44.
- [14] 郑延斌, 郭凌云, 刘晶晶. 基于混合包围盒的碰撞检测优化算法[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(4): 87—92.
- ZHENG Yan-bin, GUO Ling-yun, LIU Jing-jing. Collision Detection Optimization Algorithm Based on Mixed Bounding Volumes[J]. Computer Engineering & Science, 2013, 35(4): 87—92.
- [15] 邵平, 杨路明. 旋转45°矩形窗口的积分图像算法改进及应用[J]. 计算机应用与软件, 2008(3): 68—69.
- SHAO Ping, YANG Lu-ming. Improvement and Application of Integral Image Algorithm for Rotating 45° Rectangular Window, 2008(3): 68—69.