

# 基于机器视觉的麻将包装识别系统设计

胡文文, 王财盛, 朱 威, 郑雅羽

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

**摘要:** 针对麻将包装在实际产线上出现的麻将牌错位、缺失、牌面翻转等问题, 基于机器视觉检测技术设计了一套以 DM6437 处理器为硬件平台的麻将包装识别处理系统; 该系统的硬件部分由摄像头板、核心板和接口板 3 个模块组成, 配合机械传动系统来进行识别前后麻将包装的传输; 系统的软件部分采用平板 Pad 对麻将包装进行模板录入, 并设计了一套适应于不同机箱内部环境变化的背景剔除方法来完成模板整体分割, 以及通过中值计算实现单目标的分离, 最后还提出了一种简单高效的混合搜索方式来进行基于 SAD 的模板匹配; 测试结果表明, 识别算法对于麻将间有缝隙、麻将整体倾斜、个别或整体麻将翻转、个别麻将位置错乱等问题均能准确识别, 模板匹配算法稳定性和适应性较好, 识别准确率达 95% 以上, 能满足包装流水线上的缺陷检测。

**关键词:** 机器视觉; 麻将包装识别; 模板录入; 模板整体分割; 模板匹配算法

## Mahjong Package Recognition System Design Based on Machine Vision

Hu Wenwen, Wang Caisheng, Zhu Wei, Zheng Yayu

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** To resolve the problem of Mahjong Card misplacement, deficit, and reversal for Mahjong packaging production line, a visual processing system of Mahjong package recognition is designed based on machine vision and DM6437 processor. The hardware system contains the sensor board, DSP board and interface board, and coordinates with mechanical transmission system to transport the Mahjong package before and after the recognition. Meanwhile, the Pad is used to achieve the Mahjong package templates entering in the software system, and a background subtraction method adaptive to the environment changes of different mechanical systems is designed to complete the templates global segmentation. Besides, the separation of single objective is realized by median algorithm. Eventually, a simple and efficient mixed searching method is presented to achieve the template matching based on SAD. Experiment results on the recognition system show that the algorithm has a strong tolerability on the gaps between Mahjong cards, the tilt and reversal of Mahjong packages, and the misplacement of Mahjong cards. Furthermore, the stability and adaptability of the template matching algorithm are quite effective, and the accuracy of the identification achieves more than 95%, which can meet the detection quality on the packaging lines.

**Keywords:** machine vision; Mahjong package recognition; templates entering; templates global segmentation; template matching algorithm

## 0 引言

麻将包装是麻将牌出厂前生产线上的最后一道工序, 目前国内厂商基本上都是以人工检测的方式完成这个环节。但是, 通过人眼观察麻将包装整体排布, 常常会因为个别麻将图案相似而漏检、错检, 同时人工检测劳动强度大, 检测速度慢<sup>[1-2]</sup>, 在一定程度上会拖慢生产线进度。与此同时, 利用机器视觉技术来检测缺陷产品在国内外许多大型工厂已得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。机器视觉技术的快速发展为麻将识别奠定了一定的基础, 使得通过摄像头采集流水线上的实时麻将信息, 实现麻将包装的缺陷检测成为了可能。目前, 国内外有不少研究小组正在进行麻将识别的研究, 使得其研究的价值进一步被认可。

其中, 深圳的创科视觉最新研发了一款多功能简单易用的

机器视觉系统, 其中一项业务就是麻将识别, 通过摄像头采集图像到计算机进行图像处理, 其检测效率较高, 但是设备占用空间大且界面操作繁琐; 台湾的国立勤益科技大学在麻将图案识别上做了深入的研究, 提出了基于傅立叶变换的麻将图像识别方案<sup>[4]</sup>, 对 42 种单颗麻将分别进行了图案识别, 虽然对本文麻将包装的缺陷检测有一定的借鉴价值, 但是其利用 DFT 变换来进行模板特征提取的方法较为复杂, 与本文所要阐述的通过比较 SAD 值来进行麻将匹配计算量更大。

本文从流水线上麻将包装识别的实际需求, 设计了一套针对生产线上麻将包装检测的智能识别系统。不同于创科视觉系统的是, 本系统结合麻将生产线的实地考察, 专门为麻将包装检测开发一套实时检测算法, 且无需借助计算机来进行繁琐的参数设置, 设备小且功能强大, 以尽可能完全自动化的目标来设计, 更加适合于文化素质低的流水线工人操作。系统的工作原理是, 相机通过平板 Pad 对要检测的麻将模板录入学习, 与流水线上待包装麻将进行模板匹配, 来实现麻将包装的缺陷检测。

## 1 麻将识别系统硬件设计

根据麻将识别系统的设计需求, 本文设计的系统框图如图

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2015-12-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61401398)。

作者简介: 胡文文(1991-), 男, 浙江宁波人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统与应用方向的研究。

通讯作者: 郑雅羽(1978-), 男, 浙江温州人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事视频编码和视频分析, 嵌入式系统应用方向的研究。

1 所示。

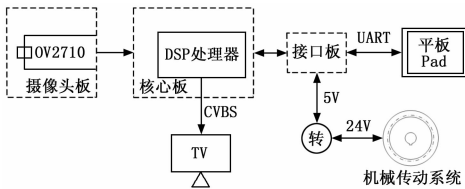


图 1 麻将识别系统框图

本文将硬件系统分成摄像头板、核心板、接口板三部分来设计。其中摄像头板主要负责采集图像信息, 核心板接收摄像头板的图像信息后进行算法处理, 之后通过接口板实现与外界设备交互。另外, 光源系统的设计对于整个系统来说有着至关重要的影响。

### 1.1 摄像头板的设计

摄像头模块采用的是 OV 公司的 CMOS 摄像头 OV2710, 最大图像传输速率能达到 1080p@30fps, 有效阵列尺寸为 1920×1080, 并且采用 rolling shutter 的方式, 通过 sensor 逐行曝光来实现。

此外, 该摄像头对应的镜头选用了 CCTV Lens 百万像素变焦镜头, 其接口类型为 CS 型, 规格为 1/3", 光圈大小为 F1.4, 焦距范围为 2.8~12 mm。

### 1.2 核心板的设计

核心板主要包括 DSP 模块、DDR2 模块、Flash 模块、电源模块、TV 模块。

本系统选用的是 TI 公司开发的专门为视频应用开发的 C64x+ 数字多媒体处理器 DM6437, 其主频可高达 600 MHz<sup>[5]</sup>, 基本可以满足麻将图像处理的需求。

DDR2 模块选用的是两片 Hynix 公司的 H5PS5162F (L) LR, 每片内存容量为 64 MB。Flash 模块选用的是 MXIC 公司的 MX25L12835F, 其存储容量达到 16 MB, 主要用来存储麻将模板。

本系统电源模块涉及到的电压有 5 V、3.3 V、1.8 V、1.2 V、0.5 V。其中直流供电电源为 5 V, 电源电压需要遵循 3.3 V→1.8 V→1.2 V 的上电时序, 3.3 V 和 1.8 V 主要为 DSP 的 I/O 口、DDR2 以及一些外设供电, DSP 的 Core 电压为 1.2 V, DSP 芯片 DAC\_VREF 电压为 0.5 V。

TV 模块视频输出采用的是复合式模拟信号 CVBS, 通过 TI 公司的视频放大器 OPA360AIDCKR 来实现模拟信号的放大<sup>[5]</sup>。

### 1.3 接口板的设计

接口板主要包括串口通信电路、信号输出电路、信号输入电路。

串口通信电路选用的是 USB 转标准串口芯片 PL2303HXD, 信号输出电路则利用三极管 DTC114 和晶体管 IRLM6402 设计了一个由 DSP 控制的 5 V 开关电路, 信号输入电路选用了光耦合器 TLP280-4 对外部 24 V 信号进行采集。

### 1.4 机械传动系统设计

机械传动系统主要由气泵、挡板和传送带等构成, 负责完成麻将包装检测过程的传输, 在整个过程中, 主要分为两个步骤。首先麻将包装随着传送带运动到中心后, 会碰到一个挡板, 之后传送带停止, 机械电气系统输出一个 5 V 的信号示意相机开始判别; 相机进行算法识别后同样留有两个 5 V 的信号示意机械电气系统对该麻将包装进行下一步处理, 如果接收到

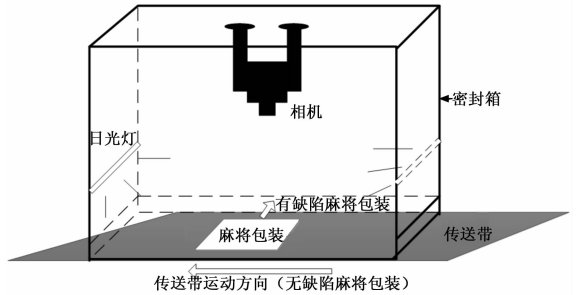


图 2 机械传动系统示意图

“麻将无缺陷”的信号, 则挡板抬起, 传送带继续往前运动, 如果接收到“麻将有缺陷”的信号, 则机械电气系统中的气泵控制挡板将麻将包装往垂直方向推掉。图 2 为该机械传动系统的简单示意图。

## 2 麻将识别系统软件设计

基于 DM6437 硬件平台, 相机软件需要完成各模块的驱动、摄像头的采集和显示、串口数据的检测和处理、模板录入及实时检测算法的实现、Flash 模板存储。整个系统的运行流程如图 3 所示。

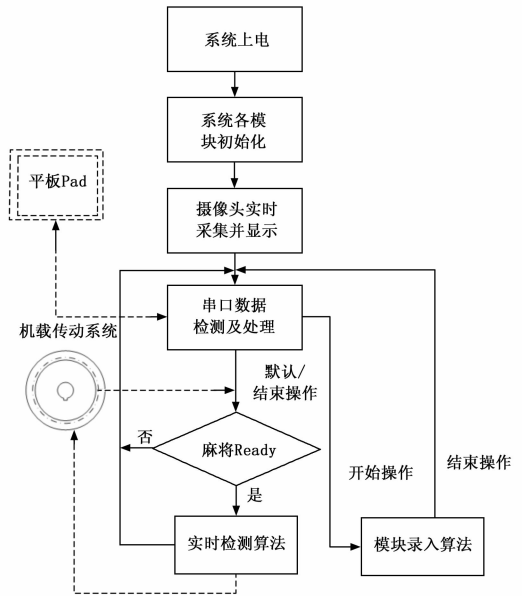


图 3 系统运行流程

### 2.1 串口协议

平板 Pad 和相机之间通过 UART 串口进行通信, 在通信过程中, 两者之间是存在大数据交互的, 为了减小丢包率, 因此采用分包传输数据, 其交互数据协议格式如表 1 所示。

表 1 串口通信协议格式

(a) 数据包 (固定大小 144 bytes)

FFFFFFFF	CMD	0x00000200	数据内容	CRC
4 bytes	4 bytes	4 bytes	128 bytes	4 bytes

(b) 数据内容 (固定大小 128 bytes)

当前包序号	总包数	实际内容 Len	实际内容	补零
4 bytes	4 bytes	4 bytes	Len bytes	(116-Len) bytes

在整个数据通信过程中，有大数据和小数据传输，通常小数据的传输数据内容不会超过一个包的长度，为了统一数据包长度，本系统设计的分包传输协议中，每个数据包固定大小 144 字节，不足的包就自动补零。这里串口波特率设置为 115 200，如果数据连续传送，那么 1 s 能传送 7 200 字节。这对于小数据传输来说，128 字节与 8 字节的传输时间相差并不明显，基本不会影响到传输效率。

### 2.2 Pad 软件

Pad 界面上有两个主界面，一个实时检测的界面，包含查看识别结果、故障图片上传、实时图片上传等功能按键，另一个是模板录入的界面，包含多模板查看、单模板查看、模板录入、模板删除、背景设置等功能按键，另外，在系统设置里设预留有系统升级和参数设置等按键。

### 2.3 Flash 存储

本系统选用的 Flash 芯片存储容量为 16 MB，可分成 512 个 Blocks，每个 Block 大小为 32KB，由 8 个 Sectors 组成，每个 Sector 大小为 4KB。结合项目实际需求，需要将麻将模板的背景图、单模板以及多模板的编号存储下来进行下一步的模板匹配。

通过分析上述模板的大小特性，系统依次为背景模板 (1088×672) 的二值图、单模板 (32×48) 的二值图、多模板 (12×12) 的编号分配了合适大小的 Blocks。其中，针对每种类型的麻将来说，背景模板是唯一的，单模板是以最大五十种麻将来设计的，一副麻将最多可以分为 9 个包装来进行录入。在模板录入过程中，经过算法分割处理的模板将存入对应分配的 Block 中。Flash 存储空间分配如表 2 所示。

表 2 Flash 存储空间分配

存储内容	lock 块	起始 Block	终止 Block
系统启动		1	64
单模板		70	120
背景模板		130	430
多模板		470	480

## 3 识别算法

在麻将识别系统算法中，核心算法主要由两部分组成：模板录入算法和实时检测算法。模板录入是将采集到的图像先后经过灰度化、二值化、多目标切割、单目标分割等多种操作提取最佳麻将模板进行存储，为下一步实时识别提供参考。实时检测算法是将分割出来的麻将与之前存储的模板进行对比，从而判定出最佳匹配度的模板。

### 3.1 模板录入算法

模板录入是整个识别算法的基石，通过整体分割获得理想的模板是本算法研究的主要方向。其模板录入算法流程如图 4 所示。

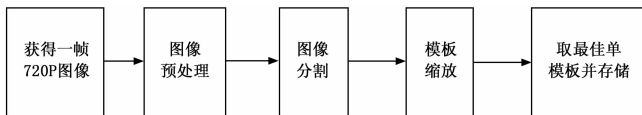


图 4 模板录入流程图

#### 3.1.1 图像预处理

图像预处理是对后续将要分割的图像进行一定的处理，如

图像的灰度化、前景提取及二值化等，以便于减小存储大小，加快算法运行速度。

在麻将识别过程中，每个麻将模板特征各异，并不需要由颜色差异来区分，同时将彩色图像转变成灰度图像后计算量减小。根据 YUV 颜色空间，每个像素点的亮度就能反映出麻将的特征信息，本文中的灰度化处理就是取 YUV 颜色空间的 Y 值来进行图像灰度化<sup>[6]</sup>。

背景剔除的目的是为了适应麻将周围不断变化的环境，通过灰度图减去背景图来得到前景图，使得环境因素对模板分割造成的影响降低。在这里，为了减小存储大小，节约存储空间，通过图像裁剪来获得较低的分辨率，原始的图像分辨率为 1 280×720，截取部分水平宽度为 16 的倍数，垂直高度为 24 的倍数，本文中前景图的分辨率为 1 088×672。

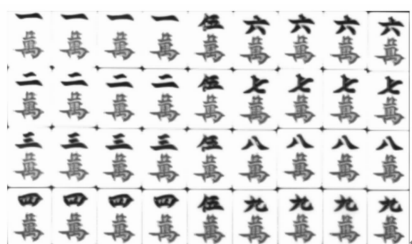
考虑到后续需要对麻将进行目标分割，本文采取的策略是通过模板二值图计算来得到多模板的边界。麻将大多是白底或偏黄底，以及个别麻将将是红字，其灰度化后 Y 值偏大，因此选取了 160 作为阈值。所有的灰度大于或等于阈值 160 的像素被判定为麻将的底色，其灰度值用 255 表示，其他不在此范围内的像素点被排除在底色以外，灰度值为 0，表示环境的背景或麻将图案<sup>[7-8]</sup>。式 (1) 为模板图像二值化的参考式：

$$binary[i] = \begin{cases} 255 & \text{if}(binary_i \geq 160) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

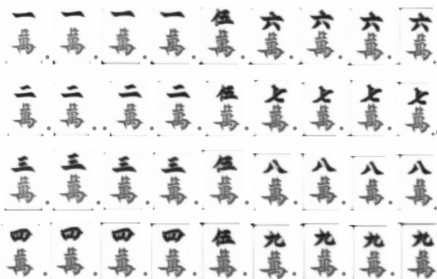
#### 3.1.2 图像分割

单模板的分离是先后通过整体分割、单模板分割来实现的。

由于模板的二值图中目标与背景差异明显、棱角分明<sup>[9]</sup>，本文采用基于行列搜索的白点个数统计，方法简便且计算量小。由图像边缘从四周向中心进行判别，如果某一行或某一列白点个数大于 100 个就判定为目标模板的边界，否则判定为背景。根据判定得到的目标边界对前景图进行切割，得到多麻将模板。图 5 (a) 为模板录入时“万”模板整体切割的结果。



(a) “万”模板整体分割



(b) “万”模板单模板分割结果

图 5 模板分割结果

目标的整体切割过程中可以得到目标整体的宽和高，本文

中针对规格不同的麻将设定了不同的参数以求出单个目标的长和高, 通过单目标的尺寸大小来确定每个单目标的中心, 将单目标从多模板中分离出来。下式 (2)、(3) 是单目标中心的计算参考式:

$$row[i] = \frac{rowback[i-1] + rowback[i]}{2} \quad (2)$$

$$column[i] = \frac{columnback[i-1] + columnback[i]}{2} \quad (3)$$

其中, 每一行的中心都是通过计算本行和上一行行尾的中值计算得到, 每一列的中心都是通过计算本列和上一列列尾的中值计算得到。图 5 (b) 是通过分割图 5 (a) 的多模板得到的单麻将模板。

### 3.1.3 单模板缩放

单模板缩放的目的是将分辨率统一都降低为  $32 \times 48$ , 并确保其图像尽可能不失真。其中, 图像水平和垂直的缩放比例参数 hori、vert 通过下式 (4)、(5) 计算得到:

$$hori = \left(\frac{out_{hori}}{in_{hori}}\right) \times 256 \quad (4)$$

$$vert = \left(\frac{out_{vert}}{in_{vert}}\right) \times 256 \quad (5)$$

其中:  $in_{hori}$ 、 $out_{hori}$  分别为图像输入、输出的水平宽度,  $in_{vert}$ 、 $out_{vert}$  分别为图像输入、输出的垂直高度。在这里, 图像输出的水平宽度  $out_{hori} = 32$  和垂直高度  $out_{vert} = 48$  是固定的, 图像输入的水平宽度  $in_{hori}$  和垂直高度  $in_{vert}$  与麻将整体占原始图像的比例大小有关。

### 3.1.4 取最佳模板并存储

将具有相同 id 号的模板进行 SAD 匹配比较, 存储最佳模板。这里利用大津算法获得自动阈值, 大津算法也称最大类间方差法<sup>[10]</sup>。按图像的灰度特性来分, 图像由背景和目标两部分构成, 背景和目标之间的类间方差越大, 说明构成图像的两部分差别越大, 也意味着类间方差越大, 错分的概率就越小。

对于图像  $I(x, y)$  来说, 属于前景的像素点数占整副图像的比例记为  $\omega_0$ , 其平均灰度记作  $\mu_0$ , 属于目标的像素点数占整副图像的比例记为  $\omega_1$ , 其平均灰度记作  $\mu_1$ , 类间方差记作  $\sigma$ , 使得类间方差最大的阈值记作最佳阈值  $T$ , OTSU 算法的基本原理如下式 (6)、(7) 所示:

$$\omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (6)$$

$$\sigma = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (7)$$

图 6 是先后经过缩放处理, 相同模板比较得到的最佳单模板:



图 6 单麻将模板

## 3.2 实时检测算法

实时检测算法中, 麻将分割方法与模板录入的方法相同,

不同的是实时检测分割出来的麻将需与录入的模板进行 SAD 算法匹配。图 7 为实时检测算法的流程图:

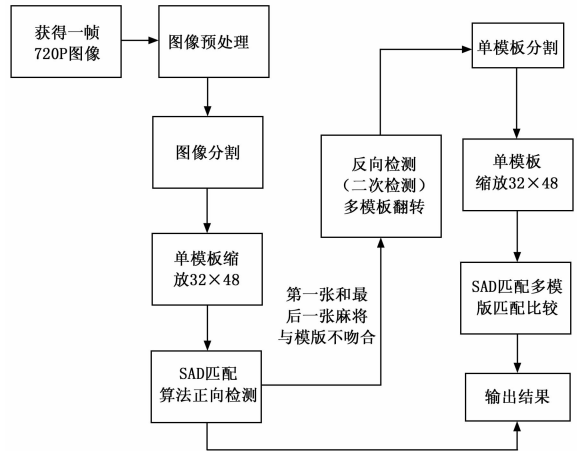


图 7 实时检测流程图

### 3.2.1 搜索方式

考虑到模板图案信息基本都位于麻将中心矩形框内, 很少分布到边缘, 本文采用混合搜索的方式, 先进行中心框内的 35 个点隔行隔列搜索, 其次进行外框的 18 个点隔行隔列搜索, 最后在最佳点附近进行  $3 \times 3$  行列搜索。与常见的二维对数法、三步法、菱形等搜索方式相比, 这种搜索方式更加适合于本系统麻将图案的匹配比较, 经实验测试, 其搜索效率与几种经典的搜索方式相比相差不大。

图 8 描述了本文所采取的混合搜索方式, 灰点表示中心框内被搜索的点, 红点表示外框被搜索的点, 黑点表示中心框和外框搜索后 SAD 最小的点 (局部最优点), 还需要在这个点附近再进行  $3 \times 3$  行列搜索, 得到的 SAD 最小的点即为全局最优点。

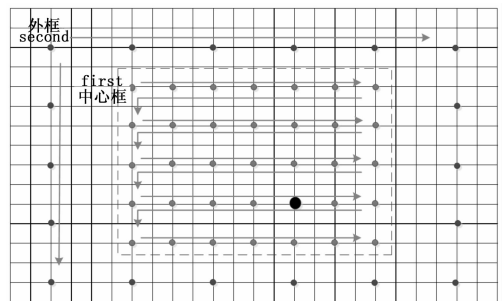


图 8 混合搜索方式

### 3.2.2 SAD 匹配

本文中提出的模板匹配是通过计算模板与图像之间的相似度来实现的<sup>[11]</sup>, 模板由一幅图像  $t(r, c)$  以及相应的感兴趣区域  $T$  指定。为了进行模板匹配, 沿图像中所有点移动模板并在每个位置计算相似度量<sup>[12-13]</sup>。最简单的计算相似度的方法是计算模板与图像之间差值的绝对值的总和 (SAD), 其等式 (8) 为:

$$sad(r, c) = \frac{1}{n} \sum_{(u, v) \in T} |t(u, v) - f(r+u, c+v)| \quad (8)$$

其中:  $n$  是模板感兴趣区域中点的数量, 即  $n = |T|$ ,  $t(u, v)$  为模板中各点的灰度值,  $f(r+u, c+v)$  为模板感兴趣

趣区域移动到图像当前位置时感兴趣区域的灰度值。如果模板和图像相同的话，得到的相似度量 $\mu$ 为 0，如果模板和图像不同的话，那么相似度量 $\mu$ 将大于 0。模板与图像之间区别越大，相似度量 $\mu$ 的值也就越大。

### 4 系统测试

#### 4.1 性能测试

将一套麻将所有多模板依次录入以后，分别观察几个多模板进行算法识别需要的时间，得出进行一次 $4 \times 9$ 模板识别的时间为 0.6 s 左右，也就是说，识别一个单麻将需要的时间在 0.017 s 左右，这说明算法识别效率较高，基本达到了需求。表 3 列出了各模板进行算法识别所需的时间。

从表 3 中可以看出，“万”模板较其他三类模板来说模板识别所需时间更长，是因为“万”麻将下半部分图案相同，只凭借上半部分图案进行匹配出错率较高，因此增加了一项二次检测，以提高其准确度。

表 3 各模板类别识别时间

模板类别 ( $4 \times 9$ )	时间
“万”模板	0.69 s
“条”模板	0.61 s
“筒”模板	0.60 s
“风”模板	0.61 s

#### 4.2 功能测试

在流水线测试过程中，麻将往往会出现摆放杂乱、错位，甚至外界环境干扰会对模板匹配造成一定的影响。本文中，我们对麻将间的缝隙、麻将整体倾斜、个别或整体麻将翻转等问题对算法精度的影响进行了测试。

麻将缝隙测试主要是针对个别麻将排列不整齐，导致麻将之间存在缝隙，而较大的缝隙往往会影响模板的检测。图 9 (a) 中，个别麻将之间存在一定的缝隙，但是仍能成功识别；而图 9 (b) 与 (a) 相比，麻将较为散乱，缝隙较大，麻将整体不整齐，边缘麻将将在分割过程中必然会导致部分特征图案缺失，影响匹配结果。总体来说，识别算法对麻将间的缝隙承受能力较强，对测试结果造成的影响较小。

旋转角度测试主要是针对识别过程中麻将摆放角度不正对测试结果造成的影响。图 9 (c) 中，虽然麻将摆放有一定的倾斜度，却仍然能够分割正确，但是当整体麻将再微微旋转一个小角度，如图 9 (d)，识别结果就大不相同了。也就是说，图 9 (c) 就相当于旋转角度的临界值，超过这个临界值的话就不在算法精度范围之内了。经过多次测试，当模板摆放较正，旋转角度在两度内均可检测正确，超出两度后稳定性较差，出错率较高。

在测试过程中发现，某些单麻将将在反向放置后仍然可以检测正确，此时会发生一定程度的漏判。单个麻将反向测试的目的是确保图案上下不对称的麻将不会因为麻将放置方向的问题而识别错误。因此，东，南，西，北，中，發，一条，三条，七条，六筒，七筒都需要进一步的反向检测。图 9 (e) 测试了六筒、七筒在反向放置的时候算法识别的准确度，结果显示，算法测试稳定性较高，图案不对称的麻将正在反向放置的时候基本能够判断正确，达到了一定的精度。

根据包装流水线上的实际反馈，包装麻将将被检测为不合格

常常是由于个别麻将位置错乱，或者单麻将数不准确造成的。图 9 (f) 测试了筒板相邻麻将错位排布时算法识别的准确度，结果显示，算法基本能够准确判别发生错位的麻将，特别是对图案比较相似的麻将，比如识别结果易受光照影响的四筒和五筒，六筒和七筒，均能进行判别。图 9 (g) 测试了筒板个别麻将将数目不准确时算法识别的准确度，这里是将其中一个二筒替换成白麻将，结果显示，算法对麻将个数以及麻将对应编号判断的准确度较高，基本能达到工业检测的水平。

从图 9 (a) ~ (g) 中可以观察到，二筒图案结构对称，但是颜色上下不对称，在包装流水线上必须将此类麻将检测出来，这就要求对此类麻将将进行一项特殊的色度检测，然而对于不同型号的麻将，对色度的要求不仅仅局限于二筒，图 9 (h) 中三筒和九筒也存在倒转检测出错的机会，且图 9 (h) 中偏黑的绿色和黑色在输入图像中的灰度值差值仅为十几，对色度判别的精度要求较图 (a) ~ (g) 更高。目前在光源较好的情况下，二、三、九筒的颜色判别准确度能达 95% 以上，基本能够满足流水线上的包装检测。但是在光源较差的情况下，二、三、九筒的色度信息差异会被缩小，导致算法精度下降，因此后续仍将对光照不均匀图像进行校正后做进一步处理。

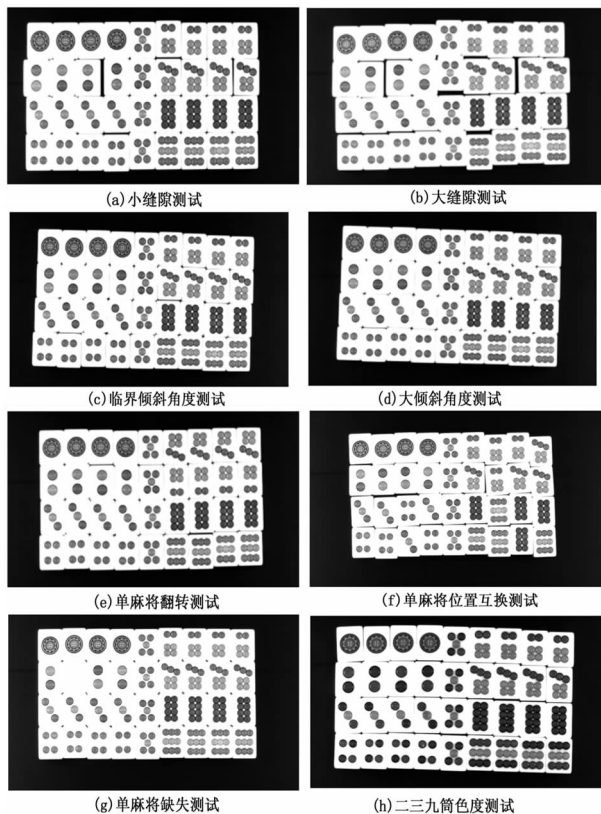


图 9 筒板精度测试

表 4 为实际流水线上实时检测麻将包装发生错判的统计表，对每类模板反复连续地进行了 1 000 次判别测试，序号 1 ~ 4 是以单种类模板 $4 \times 9$ 进行测试的，序号 5 ~ 10 是以多种类拼接 $8 \times 9$ 进行测试的。测试结果显示，就 $4 \times 9$ 包装模板而言，其识别准确度基本能控制在 98% 以上，出错的原因基本上是由于待包装麻将边缘与中心光照不均匀导致边缘麻将上有阴影，或者是包装麻将在流水线上传送过程中震动产生了比较

(下转第 269 页)

损耗, RFC 到 RF2 的关断隔离度。

表 2 微波开关在 RF1 导通时的相关指标

频段	频点	指标	
		导通损耗(RFC to RF1)	关断隔离度(RFC to RF2)
S 波段	F1	1.2dB	37.2dB
	F2	1.3dB	39.1dB
	F3	1.0dB	37.4dB
	F4	4.1dB	41.2dB

注: 定义 RFC 为输入, RF1 和 RF2 为输出, 下同。

表 3 微波开关在 RF2 导通时的相关指标

频段	频点	指标	
		导通损耗(RFC to RF2)	关断隔离度(RFC to RF1)
S 波段	F1	1.3dB	39.3dB
	F2	1.4dB	37.4dB
	F3	1.1dB	36.3dB
	F4	4.2dB	42.4dB

表 3 为 RF2 导通时的相关指标, 即微波开关控制端 A 加 5 V, 控制端 B 加 0 V 时的测试指标, 此时对应 RFC 到 RF2 为导通, RFC 到 RF1 为关断, 因此测试的是 RFC 到 RF2 的导通损耗, RFC 到 RF1 的关断隔离度。

在测试的 4 个频点中, 其中 F1、F2、F3 均在滤波器带宽

(上接第 262 页)

大的缝隙。其中, 比较容易判别错误的单麻将有一二三万、二、三九筒、花色牌以及六九条。

表 4 麻将包装错判统计表

序号	模板类型	累计错判个数	错判率/%
1	“万”模板	13	1.3
2	“筒”模板	21	2.1
3	“条”模板	9	0.9
4	“风”模板	15	1.5
5	“万”“筒”模板	29	2.9
6	“条”“风”模板	21	2.1
7	“万”“条”模板	19	1.9
8	“筒”“风”模板	32	3.2
9	“万”“风”模板	25	2.5
10	“条”“筒”模板	28	2.8

### 5 结束语

本文结合麻将包装产线上的实际需求, 设计了一套基于 DSP 平台的棋牌识别处理系统, 先后介绍了该系统的硬件和软件系统, 提出了基于图像分割的模板录入算法和基于 SAD 匹配的模板识别算法, 并通过大量实验验证了该算法的精确度。系统测试结果表明, 在正常情况下, 模板匹配算法的准确率达 95% 以上, 算法稳定性和适应性较好, 基本能满足生产线上的缺陷检测。但是, 算法对于光源的选择和打光方式仍有一定的局限性, 后续会根据实际包装产线上的反馈, 对光源的处理做一定的优化和改进。

#### 参考文献:

[1] 贺超英, 张 辉. 基于机器视觉的罐盖质量检测系统设计 [J]. 仪

内, F4 则在滤波器带外, 因此会出现频点 F4 的导通损耗大于其余 3 个频点的现象。对于微波开关中的滤波器, 则可以通过调节螺钉, 对其中心频率在一定范围内进行平移, 以满足不同场合的需求。

### 4 结束语

文中对基于 HMC435MS8GE 的 SPDT 微波开关的基本原理、设计方法, 进行了较详细的介绍, 并通过仿真验证了设计的可行性。实验结果表明, 该微波开关导通损耗和关断隔离度均满足实际要求, 且相应通道的滤波器, 其带宽、插损和带外抑制等指标均达到要求。目前该 SPDT 微波开关已经成功应用于某型雷达接收机系统中。

#### 参考文献:

[1] 雷振亚, 等. 微波工程导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.  
 [2] 刘斐珂, 文光俊, 庞 宏, 等. 单片微波开关技术及研究进展 [A]. 中国通信学会第五届学术年会论文集 [C]. 2008. 591 - 600.  
 [3] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.  
 [4] 刘 健. 腔体式带通滤波器的研究与设计 [D]. 西安: 西安科技大学, 2011.  
 表技术与传感器, 2011, 28 (2): 85 - 87.  
 [2] 代 宁, 刘知贵, 李众立, 等. 基于机器视觉的针织物智能拉密仪的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1504 - 1506.  
 [3] 张晓琳, 毛建旭, 龚权华, 等. 软袋组合盖质量视觉检测系统研究 [J]. 计算机工程与应用, 2015, 51 (2): 236 - 240.  
 [4] Chen W, Kuo Do, Tung C. Mahjong image recognition scheme using Fourier transform technique [A]. Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2012 7th IEEE Conference on [C]. IEEE, 2012: 1339 - 1342.  
 [5] 龚泽攀, 陈陇敏, 颜洪胜, 等. 可应用于动物实验的人工视觉系统 [J]. 计算机工程与设计, 2015, 36 (4): 930 - 936.  
 [6] Zhu H, Lei J, Tian X. A pattern recognition system based on computer vision-The method of Chinese chess recognition [A]. 2008 IEEE International Conference on Granular Computing [C]. 2008: 865 - 868.  
 [7] Chen W. Chinese-Chess Image Recognition by using Feature Comparison Techniques [J]. Appl. Math, 2014, 8 (5): 2443 - 2453.  
 [8] Wu G, Tao J. Chinese chess recognition algorithm based on computer vision [A]. Control and Decision Conference (2014 CCDC), The 26th Chinese [C]. IEEE, 2014: 3375 - 3379.  
 [9] Wang H, Shi M. Recognizing chessboard and positioning chessboard in Chinese chess game system [A]. Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2014 Fourth International Conference on [C]. IEEE, 2014: 1182 - 1186.  
 [10] 党向盈, 鲍 蓉, 姜代红. 基于多方向梯度边缘预测器快速边缘检测算法 [J]. 计算机应用, 2013, 33 (3): 674 - 676.  
 [11] Fang J. A Machine vision system for Chinese chess-playing robot [M]. Mechanical Engineering and Technology [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 379 - 385.  
 [12] 梁 柱, 李大海, 王琼华, 等. 彩色像对的邻域边界差值模板匹配算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45 (33): 147 - 148.  
 [13] 孙志华, 常丹华, 张余敬, 等. 基于方向性多模板的快速运动估计算法 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (17): 223 - 225.