

用于烟箱缺条检测的禁忌匹配算法

倪松鹏*, 王晓年, 朱 劲

(同济大学 控制科学与工程系, 上海 201804)

(* 通信作者电子邮箱 nisonpeng@gmail.com)

摘要: 为了防止香烟装箱过程中烟箱缺条现象, 提出了一种新的基于机器视觉的禁忌模式匹配算法。算法可以避免现场图像中存在的随机性反射高光对检测结果的影响, 在根据定义的准则得到禁忌区域后, 依据模式匹配结果判定是否存在缺条。另外, 算法还可以自动校正图像并获取模板图像, 检出结果与烟箱的图案和颜色无关。实际系统的运行结果表明提出的算法具有更低的误检出率, 为其他装箱过程中的缺陷检测提供可借鉴的思路。

关键词: 镜面反射; 禁忌匹配; 缺陷检测; 机器视觉

中图分类号: TP391.413 **文献标志码:** A

Taboo matching method for carton missing detection

NI Song-peng*, WANG Xiao-nian, ZHU Jin

(Department of Control Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To avoid the problem of the carton missing in the process of cigarette production, this paper introduced a new method of pattern matching based on machine. Using the method could avoid the effects of the random reflecting light on images. After getting the taboo area of the image, the result of the pattern matching was used to determine whether some cartons miss or not. In addition, the taboo matching method could also adjust the image and get the template image automatically without considering the pattern or color of the carton. The taboo matching would reduce the error detection rate in a real system and provide a way of solving problems of the similar kind.

Key words: specular reflection; taboo matching; fault detection; machine vision

0 引言

在产品最后的装箱环节中, 由于机械或者操作等原因可能造成少装或者错装, 这样的产品进入市场后, 对企业的负面影响极大。目前所使用的烟箱缺条检测方式主要有涡流检测方式、称重检测方式和射线检测方式和电容检测方式。涡流检测是建立在电磁感应原理基础之上的一种无损检测方法, 它适用于导电材料^[1]。涡流检测方式是利用导体自身各种因素(如电导率、磁导率、形状、尺寸和缺陷等)的变化会导致感应电流的变化, 从而判知导体性质、状态的检测方法。称重检测是被检测物品在运送过程中, 通过称重机制检测对象的重量, 再借助分析机制将称重结果的误差与数据库中预先储存的该对象所需物品的重量等规格资料进行分析对比, 分析出该误差值可能是因何种物料的配装错误所造成的检测方法^[2]。射线检测方式则是通过各种射线来穿透物体的一种无损检测方法, 应用简便, 检测准确率高, 但是对人体造成一定的放射性危害^[3]。电容检测是利用平行板电容的电容值与其极板间介质之间的关系, 通过比较电容传感器的检测值与标准值来判断烟箱中是否出现缺条^[4]的检测方式。而相比之下, 机器视觉技术通过光学装置和非接触传感器自动地接收和处理一个真实物体的图像, 以获得所需信息^[5], 以其适用性强且可实现无接触、无损检测等优点, 应用在装箱缺陷检测这个问题上可以发挥更好的作用。

在装箱检测中, 假设待检测面的图案和颜色相同。基于上述原因, 本文提出了一种新的禁忌模式匹配算法来实现装

箱过程中缺陷的检测。该算法首先获取烟箱图片中纹理最丰富的子图作为匹配的模板, 在考虑高光的影响下, 利用模板对图片的各个子图进行差异匹配, 当差异超过设定阈值时检测到有问题的烟箱照片。应用该算法, 系统可根据图像中设定箱体检测面的位置校正图像, 在输入当前箱体中 M (行) 和 N (列) 数值后, 软件自动分割出每个物品, 无需手动分割图像。另外, 在切换产品线时, 只要包装箱的尺寸和每箱所装物品的件数不变, 也可以完成检测功能, 无需手动指定产品的具体特征。

本文的核心是基于图像禁忌模式匹配的检测算法, 靠模式的一致性判别是否存在包装缺陷。

1 匹配算法

实际中, 大多数商品外部都包有一层塑料纸, 该塑料纸具有镜面反射特性, 因此如果直接利用摄像机拍到的图像进行模式匹配, 则可能出现误检测。如何消除塑料纸的反光对模式匹配的影响是本系统的主要工作。本文提出了一种新的匹配算法——禁忌匹配算法(taboo matching)方法来解决这类具有不确定性的问题。

1.1 光学上的反射随机性

镜面反射是物体表面的一种反射特性, 本文采用 Phong 模型分析反射随机性, 其原因是 Phong 模型更形式化了非导体材料的镜面反射分量和漫反射分量与视角位置的关系, 这对于场景参数固定的视频监控环境尤为适合^[6]。根据 Phong 模型进行镜面反射的亮度分析。图 1 为镜面反射强度的三维

收稿日期: 2011-06-27; 修回日期: 2011-08-08。

作者简介: 倪松鹏(1987-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向: 机器视觉; 王晓年(1975-), 男, 陕西渭南人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 智能机器人、计算机视觉; 朱劲(1958-), 男, 湖南长沙人, 副教授, 主要研究方向: 智能控制理论、机器人控制、工业自动化过程。

示意图,其中: v 为单位视向量; r 为单位反射向量,称其为主反射分量; n 为单位法向量; l 为单位入射向量。记向量 r, v 的点积为 ω , 则 v 方向得到的单位镜面反射亮度为 $(\cos(\omega))^{ExpN}$, 其中 $ExpN$ 为镜面反射系数。

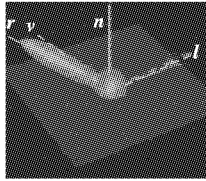


图 1 Phong 模型

由于装箱设备不能保证所有物品的被拍摄面在同一平面,因此即使当光源和摄像机的位置固定时,有的物品所覆盖塑料纸的主反射分量可能进入摄像机,引起局部过度曝光出现高光情形,如图 2 所示。另外由于物品表面覆盖的塑料纸不可能和物体表面完全接触,可能出现起包、起皱等现象,进一步使物体表面的反射光的位置难以确定,比较图 2、3 发现,当光源和相机位置固定时,A 点和 B 点塑料纸的形状决定了相机观察到的亮度不同。

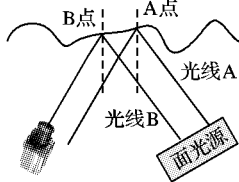


图 2 物体表面的镜面反射

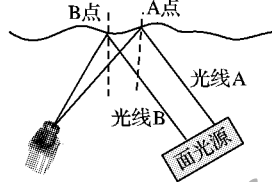


图 3 物体表面变化引起的镜面反射

1.2 禁忌匹配算法

基于上述的原因,算法所要解决的问题就是如何处理反射高光对匹配的影响。本文提出了禁忌匹配方法,首先分割图片为若干子区域,获取匹配模板,最后根据高光处灰度值饱和特性进行高光检测,在模式匹配中不考虑高光区域的影响,目的在于提高检测的准确性。

1.2.1 预处理

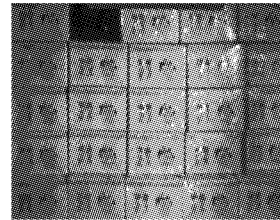
现场采集的图片往往会存在一些问题,比如会有一些噪声影响图片的质量,或者由于摄像机拍摄的问题,图片中物体会产生一定的形变。

针对图片噪声的影响可以对图片先进行滤波处理,增强对比度以提升图片质量,以及在相机硬件上加滤光片或更换更好镜头来解决。而后者形变的问题可以通过仿射变换来解决,仿射变换是一种仿射链或平行投影链。经过仿射变换不改变的性质称为仿射不变性^[7],在实际系统中利用 Homograph 变换来矫正^[8]。

1.2.2 模板自动获取

为了能够检测有缺陷的装箱,首先要获取检测的模板。对采集到的图形进行 Homograph 变换得到矫正后的图像。由于校正后的图像是规则矩形,而且箱体的行数 M 和列数 N 是根据实际情况确定的,所以就可以得到 $M \times N$ 个子块,如图 4(a) 所示,其中存在 5×5 个子图。由于照明的原因,这些子块的亮度情况是不相同的,如果仅仅对整幅图片做处理的话,各个子区域的细节会被破坏。所以本文针对每一个子区域做对比度增强后,利用 Otsu 方法找出的最佳阈值^[9]。在实际情况下,还要考虑一些问题,在烟箱缺失的子区域往往会形成一块暗区,如图 4(a) 中的第 1 排第 2 个子区域,对这种区域做对比度增强有可能产生噪声的纹理,所以针对这种情况,

本文先计算各自区域的平均灰度,滤去暗区的子区域。烟箱之间的缝隙会形成暗区,而且实际情况中箱子堆叠可能略有偏差,所以要滤掉各子块的边缘。经过去噪、增强对比度和阈值二值化后得到了图 4(b) 结果。选择图 4(b) 中图案面积最大的子图作为模板,如图 4(b) 中所框出的。



(a) 原始图像



(b) 二值化后的图片

图 4 烟箱图像

1.2.3 缺条的检出

如果直接利用模板来匹配各个子图去检测出有问题的区域的话,由于箱子上的塑料包装纸的反光影响,匹配的结果往往得不到很好的效果。图 5 白色部分是检测图片的高光部分。由于存在反光,所以待检测的图片的高光部分会对检测产生噪声影响。从图中可以发现待检测图片的右上部分存在反射现象(反光部分),将检测图片划分成 25 张子图,如图 6 所示,显然图中标号为 4、9、14 的子图受到高光反射的情况严重。当用得到的模板去匹配的时候,原本没有缺失的图片在高光的影响下有可能被误检测成有缺失的情况。所以针对这种存在反射高光的检测图片本文设计的检测方法如下。



图 5 高光部分(禁忌部分)

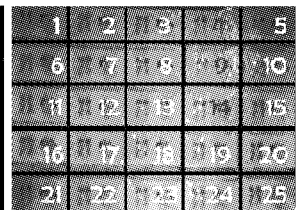


图 6 对检测图片加上序号

本文中禁忌匹配是指为了消除高光部分的影响,处于高光部分的点在匹配的时候不予考虑。在禁忌匹配中设在高光部分的像素点区域为式(1)所示:

$$Area_high(x, y): Gray_value(x, y) = 255 \quad (1)$$

考虑了处理高光反射的情况以后,接下来就要利用之前得到的模板来与各个子图匹配以检测有问题区域。这就是一个图片的匹配问题了,具体来讲,图像匹配关键要素有四点:特征空间、相似性度量、图像匹配变换类型和变换参数的搜索^[10]。而图像匹配算法分类大致有三种:基于灰度相关的匹配、基于特征的匹配和基于模型的匹配。本文所采取的办法是基于灰度相关的匹配。图像 mask 是自动获取的模板图片,由于箱体的行数和列是根据实际情况确定的,所以整幅图片可以分割成 P 张子图,模板与每张子图匹配的方法是滑动模板找到每张子图与模板最匹配的位置计算出差异距离,最后找出差异最大的子图。

设图像 $y_t, t \in \{1, 2, \dots, P\}$ 是检测图片 Y 的第 t 个分割的子图,即: $\bigcup y_t = Y$ 且 $\bigcap y_t = \emptyset$ 。mask 是得到的模板,设 y_t 中的除去高光部分的有限点集如式(2)所示,其中高光区域的定义参见式(1):

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}; a_i = \{1, 2, \dots, m\} \notin Area_high(x, y) \quad (2)$$

mask 中的有限点集为:

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \quad (3)$$

在式(2)、(3)的基础上,本文中用式(4)定义子图与模板的距离:

$$D(y_i) = \min \|a - b\|; a \in A, b \in B \quad (4)$$

分别计算各个子图与模板的差异 $D(y_i)$ 。计算差异最大的子图,如式(5)所示:

$$t = \arg \max \{D(y_i)\}; t \in \{1, 2, \dots, P\} \quad (5)$$

当这个最大的差异值大于所设定的阈值时,待检测图片为出现缺箱的图片,该子图的位置就是缺箱的位置。为了对比图片中高光对检测结果的影响,图7(a)是未考虑高光的情况下各个子图与模板匹配得到的差异,图7(b)是在考虑了高光的情况下子图与模板的差异,图7(a)、图7(b)中的行列与图6的标号对应。对比表6与图7(a)、图7(b)可以发现,在受高光影响严重的区域会出现可能的误检测部分。当设定缺条的阈值为500时,分析图7(a),可以看出其中第1、2、3行第4列均大于该值,意味着图6中第4、9、14、15子图出现缺条,显然被误检。但当考虑到高光影响的时候,对出现高光的点本文并不去判断这个点是否与模板匹配,这样就可以在一定程度上减弱高光的影响。图7(b)就是在考虑了高光影响后计算得到的子图差异。图7(c)、图7(d)分别为图7(a)、图7(b)的3维立体图。对比两张图可以发现考虑高光影响的禁忌匹配(图7(d))变化较为均匀。实际上查看图7(b)也可以发现对应序号为4、9、14、15的子图受高光的影响减弱。

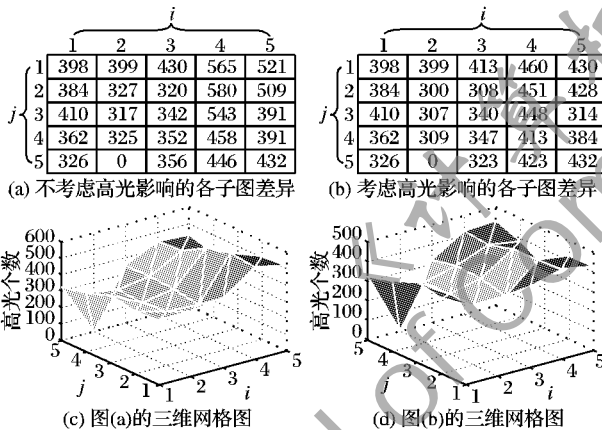


图7 三维网格图

2 软件系统的设计与实验结果分析

目前专门针对图像处理的开发工具有多种,本文采用美国 Intel 公司开发的 OpenCV,这是由于开源库 OpenCV 可以免费地帮助开发人员更加便捷地设计更复杂的机器视觉相关应用程序^[11],进而在 Microsoft Visual Studio 2008 下实现了基于烟箱缺条检测的模式匹配算法的测试系统。整个系统的流程如图8所示。

根据 Homograph 变换得到矫正后的图像。图9(a)为摄像机拍摄到的区域,手动选取烟箱整体的4个顶点(如图11中的白点所示),经 Homograph 变换后得到的图像如图9(b)所示,可见图像矫正后,恢复了物品的图案和它们之间正常的间距。

为检测本文算法的有效性,基于上述演示系统,本文对比两组实验结果分别是不考虑高光影响的算法和考虑了高光影响的禁忌匹配算法。

截取四幅原始的检测图片进行检测。

实验1 选取缺箱的图片进行检测实验,如图10、11所示。

实验2 选取未缺箱但有高光的检测图片进行检测实验,如图12、13所示。

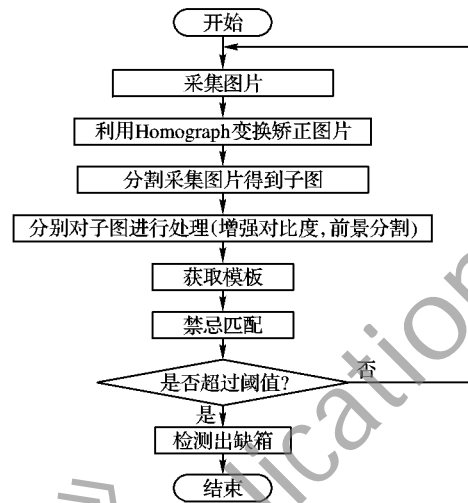


图8 检测过程

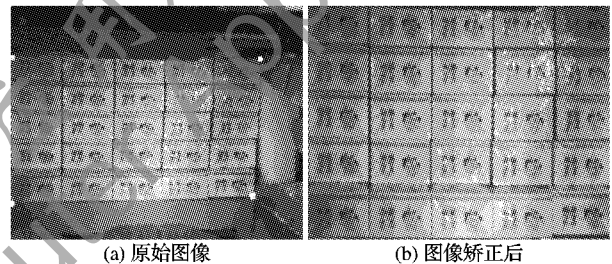


图9 图像矫正

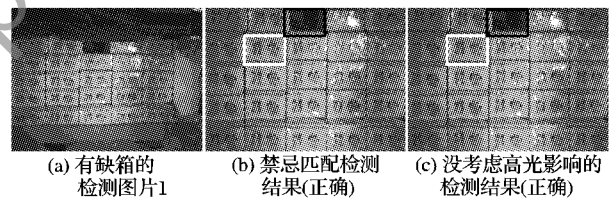


图10 有缺箱时的检测实验1

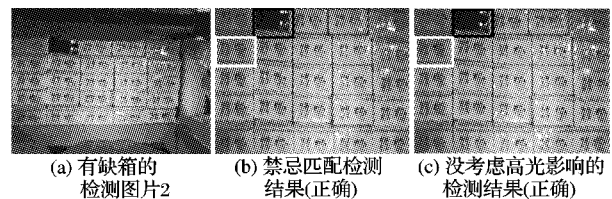


图11 有缺箱时的检测实验2

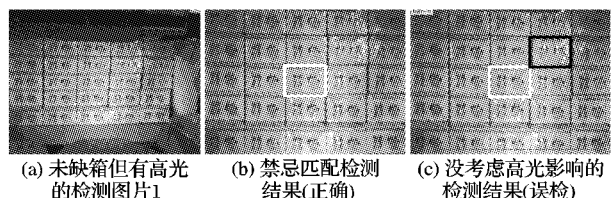


图12 无缺箱的检测实验1

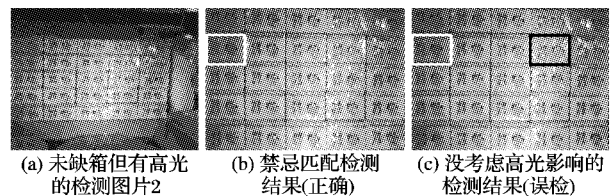


图13 无缺箱的检测实验2

测得采集速率至少每秒 15 帧,满足 ICX274 每秒 15 帧图像输出的要求。

5 结语

DM642 视频监控系统的應用越来越广泛,而视频驱动程序设计的合理性直接关系到采集到的图像质量和采集效率。系统设计了 DM642 和 CCD 传感器 ICX274 的相关接口,并在 RAW 采集格式基础上,对 FVID/GIO 类驱动和 Mini 驱动深入研究并修改,移植视频驱动后,开发多级缓存管理机制的应用程序,对 RAW 格式高清视频采集的控制和优化具有重大意义。

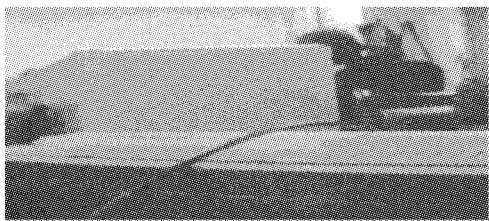


图 7 处理后的图像

参考文献:

- [1] FOSSUM E R. CMOS image sensors: Electronic camera-on-chip [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 1997, 44(10): 1689 - 1698.
- [2] 赵劫,刘铁根,李晋申. 基于 DM642 的高速图像识别系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2007, 21(1): 86 - 89.
- [3] 陈财明,周立丰,于海滨,等. 基于 TMS320 VC5416 图像采集系统的设计与应用[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2006, 5(2): 149 - 152.
- [4] Texas Instruments. TMS320C64x DSP video port/VCXO Interpolated Control (VIC) port reference guide [M]. Texas: Texas Instruments, 2007.
- [5] Texas Instruments. The TMS320DM642 video port mini-driver [M]. Texas: Texas Instruments, 2003.
- [6] Texas Instruments. Interfacing a CMOS sensor to the TMS320DM642 using RAW capture mode [M]. Texas: Texas Instruments, 2004.
- [7] 李晨阳,续志军. 基于 PCI 总线的 DSP 视频采集驱动设计[J]. 制造业自动化, 2010, 32(9): 3 - 6.
- [8] 莫思特,吴志红. 200 万像素数字摄像机设计及关键技术研究[J]. 光电工程, 2009, 36(5): 117 - 121.
- [9] XU FEN, ZENG JIAN-JUN, ZHANG YUN-LONG. Design of a DSP-based CMOS imaging system for embedded computer vision [C]// Proceedings of 2008 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 430 - 433.
- [10] 徐志伟,马登极,林峰,等. 基于 DM642 的视频解码设备 TVP5150 驱动程序的设计[J]. 电子器件, 2006, 29(3): 945 - 950.
- [11] 许芬. 智能视觉传感器及其应用[J]. 中国仪器仪表, 2007(4): 26 - 28.
- [12] 孙咏,黄丹丹,任俊,等. CPLD 在 DSP 实时图像采集系统中的应用[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2006, 5(2): 158 - 161.

(上接第 271 页)

实验中,缺条检测的阈值设为 500,白色框表示选取的模板,当黑色框出现时表示烟箱出现了缺条。分析实验结果可发现:当烟箱有缺条且高光影响不严重的时候,考虑高光与否的检测方法都检测到了烟箱的缺条;但是在存在反射高光影响的条件下,不考虑高光有可能会出誤检测。

所以在光照条件变化不大的情况下,本算法可以很好地检测出不一致的烟箱,对模板的选取上选择纹理最丰富、反光性最小的烟箱子图作为匹配模板,检测准确性较高而且不易发生誤检测。

3 结语

目前机器视觉检测技术已经在烟草行业的小包外观的图像检测、烟叶杂物剔除视觉系统、大条外观图像检测系统成功应用^[12],基于此本文提出了一种针对装箱缺陷检测的算法。考虑到在实际问题中,大多数商品外部都包有一层塑料纸,而塑料纸具有镜面反射特性,因此如果直接利用摄像机拍到的图像进行模式匹配,则可能出现誤检测。因此本算法根据高光处灰度值饱和的特性进行高光检测,在模式匹配中不考虑高光区域的影响,利用模板匹配的方法检测出不一致的烟箱提高了检测准确性,另外,在切换产品线时,只要包装箱的尺寸和每箱所装物品的件数不变,也可以完成检测功能,无需手动指定产品的具体特征。

参考文献:

- [1] 陈文光,饶益花,赵立宏. 烟箱缺条自动检测器的设计[J]. 工业

仪表与自动化装置, 2004(1): 46 - 47.

- [2] 侯勇刚,张寿明,李燕. 称重式烟箱缺条检测与自动化剔除控制系统[J]. 自动化仪表, 2008, 29(2): 49 - 53.
- [3] 邓春宁. γ 射线扫描技术在烟箱缺条检测中的应用[J]. 烟草科技, 2005(4): 25 - 26.
- [4] 汪丰,周平,马小强,等. 基于电容传感器阵列的烟箱缺条检测系统[J]. 微计算机信息, 2009, 25(2): 5 - 9.
- [5] CARO D. Automation network selection [M]. Research Triangle Park NC: ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2003.
- [6] 蔡珣,孟祥旭,郝兴伟,等. 一种基于物理反射模型颜色不变性的阈值分割算法[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 282 - 286.
- [7] 张桂梅,高满屯,曾接贤,等. 基于类似形原理识别平面多边形[J]. 计算机应用, 2004, 24(9): 7 - 9.
- [8] 张毓晋. 图像工程(上册)[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [9] 许向阳,恩民,金良海. Otsu 准则的阈值性质分析[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2716 - 2719.
- [10] 王红梅,张科,李言俊. 图像匹配研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19): 42 - 44.
- [11] ZELINSKY A. Learning OpenCV - Computer vision with the OpenCV library [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2009, 16(3): 99 - 100.
- [12] BAUER N. Guideline for industrial image processing [M]. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003.