

基于机器视觉的残缺饼干分拣系统开发

程子华

(广州市机电技师学院, 广东广州 510430)

摘要: 为降低机器人拾取强度, 提高分拣效率, 该研究提出了识别分拣残缺饼干的方法。基于机器视觉技术, 采用三次拍照对比识别残缺饼干算法, 解决了在拍照区域边缘位置因饼干只有部分被拍到会被识别为残缺品和部分饼干粘连导致误识别的问题; 通过识别算法获取行进中的输送带上的饼干中心坐标位置, 通过对比 t 时间间隔饼干中心坐标的差值是否等于输送带 t 时间运行的距离, 以确认三次拍照获取的饼干图像哪些是同一饼干, 并获取此饼干的图像特征数据; 当获取的饼干图像特征数据与标准饼干的视觉特征参数不同时, 识别为残缺品, 输出该饼干中心坐标给并联机器人进行拾取。本文对程序的有效性进行了实验验证, 并对影响识别率的因素进行了实验讨论。通过实验验证, 程序运行可靠, 对残缺饼干识别准确率保持在 100%。另外镜头高度对识别准确率影响较小, 但对可识别半径影响较大, 呈线性关系; 输送带运行速度增加至 19 mm/s 后, 识别准确率直线下降; 光照强度达到 400 Lux 后, 识别准确率可保持 100%。该研究建立的方法能够很好的对残缺饼干进行识别, 为今后饼干在线检测分拣提供了技术支持。

关键词: 机器视觉; 残缺饼干; 分拣系统; 图像识别

文章篇号: 1673-9078(2022)02-313-318

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0372

Development of Incomplete Biscuit Sorting System Based on Machine Vision

CHENG Zihua

(Guangzhou Electromechanical Technician College, Guangzhou 510430, China)

Abstract: In order to reduce the picking intensity of the robot and improve the sorting efficiency, a method for identifying and sorting incomplete/broken biscuits is proposed in this study. Based on machine vision technology, the three-photo-comparison recognition algorithm was used to solve the problem of misrecognition of incomplete/broken biscuits due to only a part of the biscuits being photographed at the edge of the photographing area. The center coordinate position of the biscuit on the moving conveyor belt was obtained *via* the recognition algorithm. Comparisons were made to determine whether the difference in the center coordinate of the biscuit at the time interval t was equal to the distance traveled by the conveyor belt during time t , to confirm which biscuit images obtained by three shots were from the same biscuit and obtain the image feature data of this cookie. When the obtained biscuit image feature data were different from the visual feature parameters of the standard biscuit, it was identified as a defective product, and the center coordinates of the biscuit were outputted to the parallel robot for picking. In this study, the effectiveness of the program was verified experimentally and the factors that would affect the recognition rate of conversion are experimentally examined. Through experimental verification, it was found that the program was reliable, and the accuracy of identifying incomplete/broken biscuits remained at 100%. In addition, the height of the lens had a small effect on the recognition accuracy rate, but exerted a greater effect on the recognizable radius (showing a linear relationship). After the speed of the conveyor belt increases to 19 mm/s, the recognition accuracy decreased linearly. When the light intensity reached 400 Lux, the recognition accuracy could be maintained at 100%. The method established in this study can well identify the incomplete/broken biscuit and provide technical support for online detection and sorting of biscuits in the future.

引文格式:

程子华. 基于机器视觉的残缺饼干分拣系统开发[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 313-318, +325

CHENG Zihua. Development of incomplete biscuit sorting system based on machine vision [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 313-318, +325

收稿日期: 2021-04-05

基金项目: 广东省教育厅重点领域专项 (6020210086K); 广东省普通高校重点领域专项 (智能制造) (2020ZDX2078)

作者简介: 程子华 (1969-), 男, 高级实习指导教师, 研究方向: 电气自动化、机电一体化, E-mail: 550253113@qq.com

Key words: machine vision; incomplete/broken biscuit; sorting system; image recognition

分拣残缺品是饼干生产和包装过程的重要环节。目前大部分食品企业都采用人工分拣,尤其是中小企业。人工分拣不仅具有劳动强度大的特点,而且容易造成食品二次污染^[1]。在人力成本剧增和食品卫生要求日趋严格的今天,饼干生产企业迫切需求采用自动化设备对饼干进行分拣。目前自动化程度比较高的饼干分拣设备是针对合格品进行抓取的,这是由于饼干合格品的识别算法简单,但这种方式存在分拣机器人抓取工作量大的缺点,严重制约着饼干分拣效率。要提高饼干分拣效率,就必须增加饼干分拣机器人数量,这必然会导致企业分拣机器人设备投入和日常维护成本升高,进而造成饼干生产成本增加;或者降低分拣输送带速度,降低分拣效率。

如果能把残缺品分拣出来,分拣机器人抓取饼干的数量就会大大减少,输送带运行速度就能大幅提升,从而提高了生产效率。但由于残缺品没有规律的形状参数,大小形状各异,而且处于识别区分界线上的饼干由于只能拍到部分,会被系统误认为是残缺品,因此识别残缺品的算法比识别合格品的算法复杂很多^[2]。本文针对目前市场上分拣方式存在的问题,提出基于机器视觉的三次拍照对比法识别残缺饼干并进行分拣的方案。此方案原理是采用工业相机对匀速运行的输送带上的饼干按设定的时间间隔进行拍照^[3],每块饼干在识别区内至少拍三次(每次拍照得到饼干的中心坐标和半径),然后通过三次中心坐标变化判别是否为同一块饼干;确定为同一块饼干后,再把饼干的半径和标准饼干半径比较,判断是否属于残缺品;如果是残缺品,再把残缺品饼干的中心坐标位置传给并联机器人,机器人对残缺品进行追踪拾取,从而完成分拣^[4]。

1 系统构成

1.1 电气控制系统构成

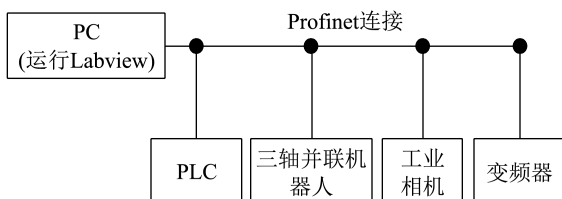


图1 电气控制系统构成

Fig.1 Composition of electrical control system

残缺饼干分拣系统包括带用于视觉处理和监控的PC机(安装Labview)、三轴并联机器人、输送带、

变频器、PLC控制器、工业相机等,电气控制系统构成如图1所示。

PC机上安装的Labview软件是一个标准的数据采集和仪器控制软件,是采用图形化编辑语言编写程序,它是该系统运算的核心。工业相机按照设定的频率对输送带上的饼干进行拍照,然后通过Labview中的Vision Assistant进行图像处理以获取输送带上各饼干的图像信息,再通过Labview程序运算识别是否为残缺品,当获取的图像数据与标准饼干的视觉参数不同时,判别为残缺品,并将残缺品的中心坐标发送至并联机器人进行拾取。

文中采用三轴并联机器人作为系统的执行机构,用于拾取输送带上的残缺饼干,它具有重量轻、速度快、动态响应好、运行时无累积误差等特点,应用于高速分拣系统;外围辅助设备和变频器采用PLC控制,输送带运行速度采用变频器控制;各设备均连接到交换机上,进行数据交换;Labview和PLC、三轴并联机器人采用OPC UA的方式进行通讯^[5]。

1.2 拍照抓取系统构成

生产出的饼干随机分布在匀速运行的输送带上,三轴并联机器人和工业相机设置在输送带上方,三轴并联机器人位于工业相机前方(输送带运行方向)。工业相机拍照范围定义为视觉识别区,其于识别区的大小、镜头的参数和镜头安装高度有关;定义三轴并联机器人正常抓取的范围为抓取区,不能正常抓取的范围定义为放弃区,三轴并联机器人须在抓取区完成残缺品的抓取,拍照抓取机构示意图如图2所示。

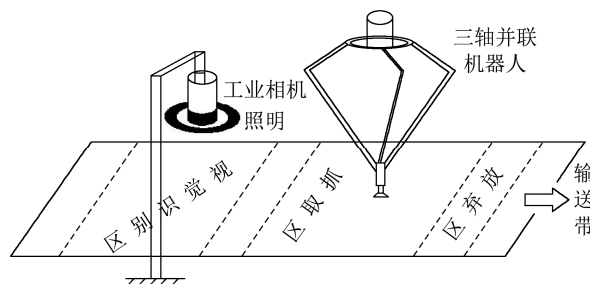


图2 拍照抓取机构示意图

Fig.2 Schematic diagram of photo grabbing mechanism

2 三次拍照对比识别原理

2.1 识别特征参数的选择

在视觉识别中,可以选择某一或多个特征参数进行识别,如被识别物体的颜色、外形轮廓、面积、半

径等参数以及它们的组合参数。不同的工艺要求，选择的特征参数不尽相同，如饼干出炉后，如果要把烤糊的饼干筛选出来，可选择饼干颜色为识别特征参数，当识别的饼干颜色特征与标准饼干颜色特征相同或相近时，为合格品，否则为不合格品。由于残缺饼干和正常饼干颜色上没有明显的区别，不能选择颜色作为特征参数；同时由于残缺品形状多种多样，没有固定的外形轮廓，外形轮廓也难于作为特征参数。考虑到破损饼干形状各异，它的的面积和半径比合格品要小，因此本文选用饼干内接圆的面积和半径作为特征参数，当 $r < R$ 时，被识别为残缺品，并输出内接圆的圆心坐标给机器人，然后机器人根据破损饼干坐标和输送带速度进行计算，实施追踪抓取。

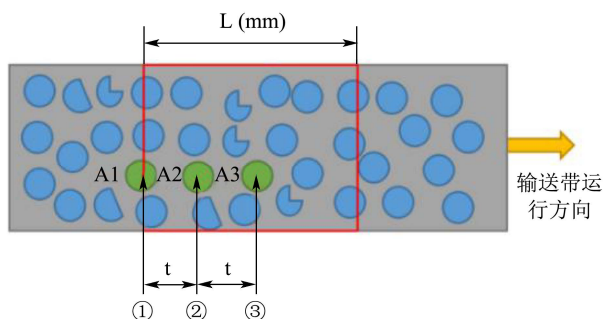


图3 三次拍照法原理说明示意图

Fig.3 Schematic diagram of the principle of three times photographing method

2.2 拍照间隔时间 t 的确定

工业相机按规定的的时间间隔 t 对输送带识别区上的饼干进行拍照，每一次拍照时都会有部分饼干处于识别区分界线上，处于识别区分界线上的饼干由于只能拍到部分，会被系统误认为是残缺品^[6]，如图3所示。第一次拍摄时，某饼干（绿色）拍照刚好处于识别分界线 A_1 位置，识别中心坐标 (x_1, y_1) 和半径 r_1 ，此时只有部分被拍到， $r_1 < R$ ，如果只根据该次拍照所得数据会被判断为残缺品；间隔时间 t 后，当饼干运行到 A_2 位置进行第二次拍照，获得饼干中心坐标 (x_2, y_2) 和半径 r_2 ，此次所获的数据 $r_2 < R$ ，被识别为合格品，但是在 X 方向偏移的坐标 $x_2 - x_1 \neq tv$ ，此时不能判别第二次拍照处于 A_2 位置那块饼干的数据和第一次拍照 A_1 位置那块饼干的数据是同一块饼干；间隔时间 $2t$ 后，饼干运行到 A_3 进行第三次拍照，获得中心坐标 (x_3, y_3) 和半径 r_3 ， $r_3 \geq R$ ， $x_3 - x_2 = tv$ ，在 X 轴方向坐标偏移等于输送带上饼干在 t 时间的位移，因此 A_3 位置的饼干和 A_2 位置的饼干可以判断为同一块饼干，并识别为合格品，即同一块饼干有两次被识别为合格品，则可以判别为合格品，如果两次都为残缺品，则可以

判别为残缺品。

因此在识别区内，为了处理处于识别区分界线上的饼干需要拍照三次，才能完整判断，三次拍照完成后，输出残缺品的中心坐标，然后对所有数据清零，再进行下一轮的三次拍照，如此循环进行。但是由于输送带是连续不停运行，有的饼干在上一轮可能只被拍照了 2 次，没有结果输出，数据就被清零，所以必须进入第二轮的 3 次拍照，因此对这些饼干，在识别区就要被拍照到 5 次，拍照的时间间隔 t 的运算如下式：

$$\frac{2R}{v} < t \leq \frac{L}{5v}$$

式中：

v -输送带匀速运行速度，mm/s；

L -在输送带运行方向镜头拍摄范围长度，mm；

R -标准饼干半径，mm。

因此，两次拍照间隔时间输送带行进距离最小为饼干的直径，最大为识别区的五分之一。

2.3 残缺品识别半径的确定

在本文中，以识别品饼干的面积和半径作为识别特征参数。由于面积和半径是存在关联的，所以只需确定半径即可。在视觉识别阈值调整中，测量良品的半径作为标准值，考虑到有些轻微的残缺也作为合格品，文中将合格品半径值设定为标准饼干半径的 95%。

当任一个饼干半径 $r \geq R$ 时，判断为合格品；否则，判断为残缺品，并输出残缺品中心位置坐标给机器人^[7]，然后机器人开始运行追踪抓取程序。但当被识别到的残缺品小于机器人启动吸盘半径 r_0 时，机器人无法实现抓取，因此三联并联机器人抓取残缺品的半径范围要求是 $r_0 < r < R$ ，小于吸盘半径的小碎片在下一个环节通过筛孔滤除。

2.4 饼干粘连误识别处理方法

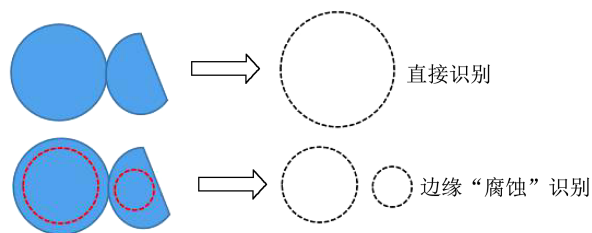


图4 图像边缘“腐蚀”处理方法

Fig.4 Image edge "corrosion" treatment

在输送带上的饼干，由于紧密排布，很多饼干会粘连在一起，如图4所示左侧图像中 2 个饼干粘连在一起，如果系统直接进行识别，会被当成一个整体进

行处理, 得到的图像半径大于标准值, 被判断为良品, 出现误判。所以在设置识别区域时, 要对图像边缘进行“腐蚀”处理, 减小识别范围, 腐蚀后粘连在一起的图像就被分开, 这就解决了粘连在一起被误判的问题。

3 系统程序设计

系统程序包含 Labview 图像处理程序^[8]、OPC UA 通信控制程序、PLC 控制程序、机器人控制程序四部分, 程序构架如图 5 所示。

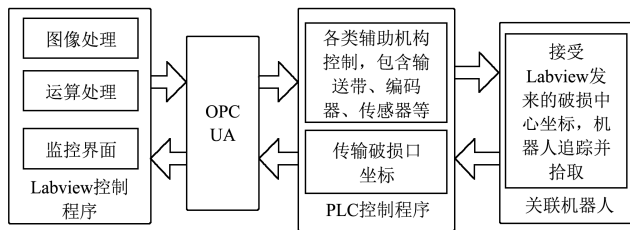


图 5 系统软件构架

Fig.5 System software architecture

Labview 图像处理程序是核心部分, 用于运算输出残缺饼干位置坐标给机器人, 包含图像处理、运算处理、监控界面三部分^[9,10], 控制流程如图 6 所示。

PLC 控制输送带、机器人、传感器等辅助机构。Labview 和 PLC 间的通信通过 OPC UA 协议实现^[11], 其中 OPC 是用于过程控制的 OLE, 是一个工业标准,

它提供了数据源采集数据的方法, 并使用这种标准方法和任何不同客户端应用程序进行数据通信, 使得 OPC 服务器能够使系统中的设备和软件应用程序直接进行通信。基于 OPC UA 协议, Labview 将输出的残缺饼干位置坐标发送给 PLC, PLC 通过 profinet 协议将破损饼干坐标位置发至并联机器人, 实施追踪、抓取, PLC 控制的执行机构运动的数据和状态适时反馈至 Labview^[12], 并在屏幕上显示出来, 如图 7 所示。

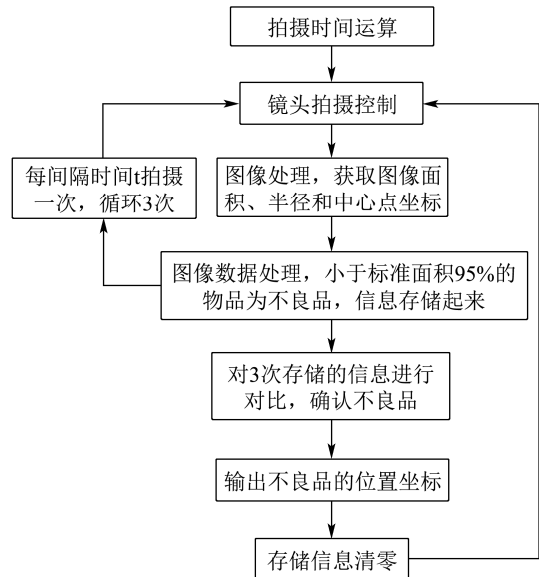


图 6 Labview 控制程序流程

Fig.6 Labview control program flow

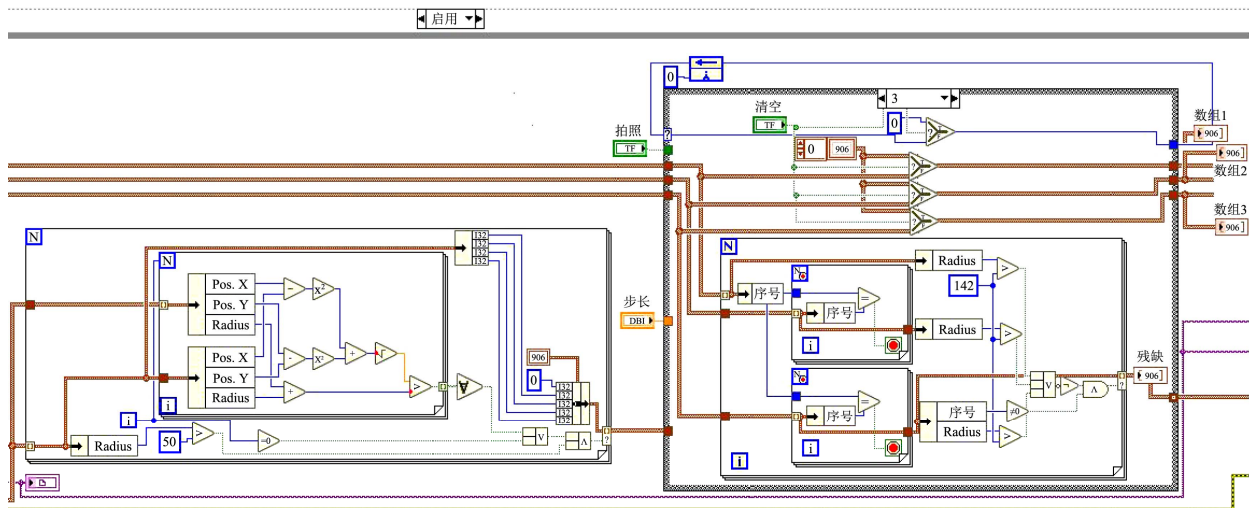


图 7 残缺饼干中心位置坐标控制程序

Fig.7 Center position coordinate control program of incomplete biscuit

4 实验验证与讨论

4.1 实验材料与设备

实验材料: 直径 60 mm、厚度 2 mm 的圆形饼干。实验设备: PC 机 (Win10 系统, I5CPU, 内存 16 GB, 联想),

视觉软件 (Labview 2019, NI); PLC (S7-1214DC/DC/DC, SIEMENS), 机器人 (M-3iA/6S, FANUC); 变频器 (G120, SINAMICS), 工业相机 (ACA1600-60GM, Basler)。

4.2 程序验证

为验证程序运行效果, 在光照 460 Lux, 输送带

速度 16 mm/s, 图像分辨率 1600×1200 条件下, 进行多组实验, 每组三次拍照。其中四组实验拍照如图 8 所示, 输出的残缺饼干位置坐标如图 9 所示。

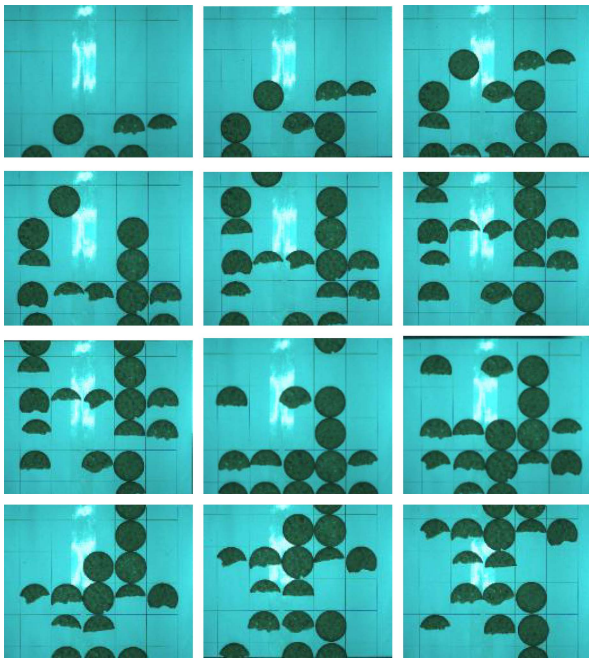


图 8 四组实验拍照图像

Fig.8 Four groups of experimental photos

Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X
1986	1667	1339	0	0	0	0	0
Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y
785	814	1138	0	0	0	0	0
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
66	85	96	0	0	0	0	0

Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X
687	1319	2001	692	712	1667	1998	0
Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y
473	811	796	828	1105	1118	1129	0
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
77	73	78	108	67	71	87	0

Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X
702	1290	1017	2007	690	0	0	0
Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y
489	501	1113	1105	1122	0	0	0
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
89	97	71	67	86	0	0	0

Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X	Pos. X
1639	1011	682	1971	1358	1015	1331	0
Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y	Pos. Y
461	476	480	511	797	1128	1134	0
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
51	77	75	107	75	86	96	0

图 9 残缺饼干对应四次中心视觉坐标输出值(像素)

Fig.9 The output value of the fourth central visual coordinate corresponding to the incomplete biscuit

四组实验实际残缺饼干数量分别 3、7、5、7, 由图 8 可知, 程序能正确识别残缺饼干数量, 并能准确输出残缺饼干位置坐标, 验证了程序的准确性。

4.3 实验讨论

4.3.1 镜头安装高度对识别准确率的影响

在光照 460 Lux, 输送带速度 16 mm/s, 图像分辨率 1600×1200 条件下, 调整镜头高度分别为 330 mm、410 mm、550 mm、650 mm、690 mm, 进行拍照识别。实验发现镜头安装高度对识别准确率影响较小。当镜头高度发生变化时, 可通过调整视觉阈值, 实现准确识别。但镜头高度对可识别最小半径和识别范围存在直接关系, 高度越高, 可识别宽度越大, 即允许输送带宽度越大, 但可识别残缺饼干最小半径也相应增大, 线性关系如图 10、11 所示。

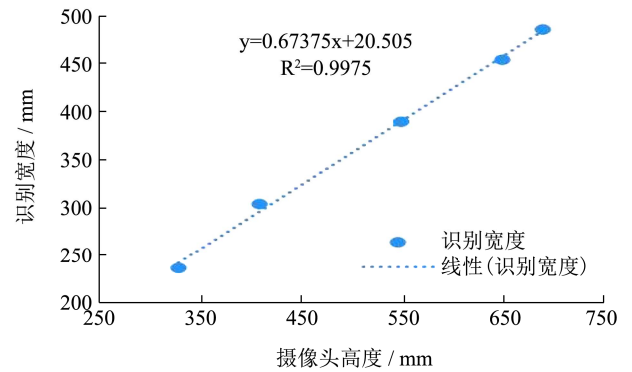


图 10 可识别宽度

Fig.10 Recognizable width

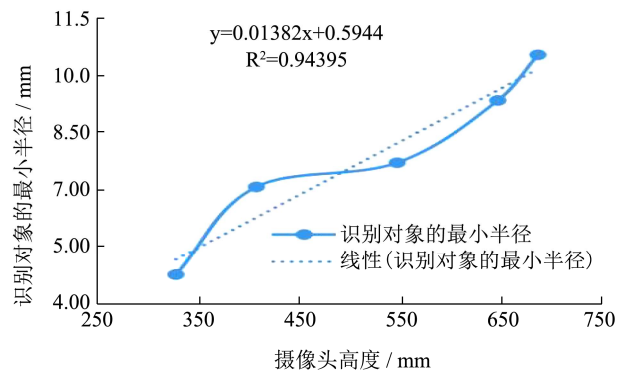


图 11 可识别最小半径

Fig.11 Recognizable minimum radius

4.3.2 输送带运行速度对识别准确率的影响

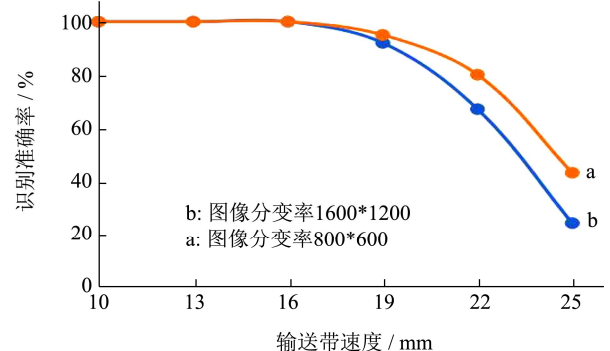


图 12 输送带运行速度影响

Fig.12 Influence of belt running speed

在光照 460 Lux, 镜头高度 600 mm, 图像分辨率

1600×1200 和 800×600 条件下, 设置输送带运行速度分别为 10、13、16、19、22、25 mm/s, 进行拍照识别。输送带运行速度越快, 生产效率越高, 但当速度达到 19 mm/s 后, 拍照质量变差, 识别准确率直线下降, 实验结果如图 12 所示。由图 12 同时可知, 当 PC 配置受限的情况下, 可通过降低图像分辨率, 在一定程度上提高识别准确率。

4.3.3 光照对识别准确率的影响

在镜头高度 600 mm, 输送带速度 16 mm/s, 图像分辨率 1600×1200 条件下, 调节光照分别为 100、200、300、400、500、600 Lux, 进行拍照识别。由图 13 可知, 随着光照强度的增加, 识别准确率逐步增高, 当照度达到 400 Lux 后, 识别准确率达 100%。

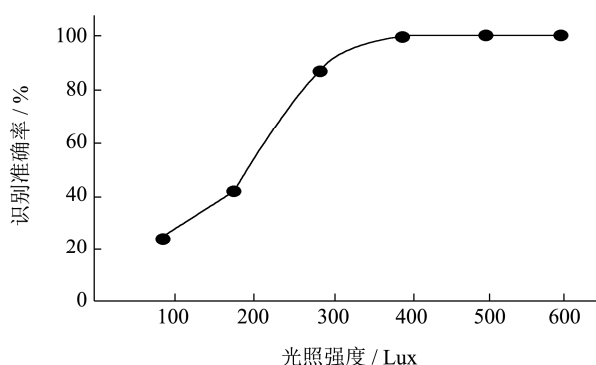


图 13 光照影响

Fig.13 Light effect

5 结束语

本文基于机器视觉技术, 提出三次拍照对比识别残缺饼干的解决方案, 解决了拍照区域边缘位置因饼干只有部分被拍到会被识别为残缺品和部分饼干粘连导致误识别等问题, 实验验证结果充分证实了程序的有效性和准确性, 成功解决了抓取合格饼干工作量大的问题。同时实验研究发现, 通过调整程序阈值, 可实现不同镜头高度下准确识别破损饼干, 镜头高度对准确率影响较小; 镜头安装越高, 可识别宽度越大, 即允许的输送带宽度越大, 但可识别残缺饼干的最小半径也相应增大; 输送带运行速度越快, 生产效率越高, 但当速度达到一定值后, 拍照质量变差, 识别准确率直线下降; 光照越强, 识别准确率越高, 当达到一定值后, 识别准确率达 100%。

参考文献

[1] 谭子会. 基于双目视觉的包装过程分拣技术研究[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(5): 60-63

TAN Zihui. Research on sorting technology of packaging process based on binocular vision [J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(5): 60-63

[2] 李成吉, 张淑娟, 孙海霞, 等. 基于计算机视觉的核桃外观缺陷检测[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 247-253, 246

LI Chengji, ZHANG Shujuan, SUN Haixia, et al. Walnut appearance defect detection based on computer vision [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(8): 247-253, 246

[3] 范晓云. 基于智能视觉的白酒发酵过程精度控制[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 247-252

FAN Xiaoyun. Precision control of Baijiu fermentation process based on intelligent vision [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 247-252

[4] 许仁炯, 王慧. 一种基于机器视觉的跟踪小车设计[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(11): 96-101

XU Renjiong, WANG Hui. Design of tracking car based on machine vision [J]. Techniques of Automation and Applications, 2020, 39(11): 96-101

[5] Kameyama Katsuro, Ohbayashi Tetsuya, Uehara Kazutake, et al. The influence of illumination color on the subjective visual recognition of biological specimens [J]. Yonago Acta Medica, 2020, 63(4): 266-271

[6] Jun W Wu, Wei Cai, Shi M Yu, et al. Optimized visual recognition algorithm in service robots [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2020, 17(3): 1729881420925308

[7] Soltan Sergey, Oleinikov Artemiy, Demirci M Fatih, et al. Deep learning-based object classification and position estimation pipeline for potential use in robotized pick-and-place operations [J]. Robotics, 2020, 9(3): 63

[8] 王宁, 任玲, 李江全, 等. 基于 LabVIEW 的自动移栽机整排取投苗控制系统设计[J]. 农机化研究, 2021, 43(9): 113-120

WANG Ning, REN Ling, LI Jiangquan, et al. Design of automatic transplanter whole row picking and throwing seedling control system based on LabVIEW [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(9): 113-120

[9] 刘跃, 袁文琦, 李栋, 等. 基于 OPC 和 LabVIEW 的压风机组远程监控系统设计[J]. 煤炭工程, 2015, 47(2): 25-27

LIU Yue, YUAN Wenqi, LI Dong, et al. Design of remote monitoring system for air compressor based on OPC and LabVIEW [J]. Coal Engineering, 2015, 47(2): 25-27

(下转第 325 页)