

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.036

小型农产品分选机设计与试验*

邓继忠 李 山 张建瓴 陈文凯 蒋恩臣
(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要: 针对家庭农场及小规模营销的需要,设计了基于机器视觉的小型农产品分选机。农产品在平胶带上形成多通道阵列式输送,以 DSP 作为机器视觉单元的核心,采集一帧图像可分析多个通道,并根据农产品的形状、颜色等图像特征进行分选。在水平输送速度为 9.2 cm/s、农产品输送间隔为 16 cm、4 通道并行输送的条件下,选用核桃、红枣及栗子 3 种农产品进行了分选机性能测试。试验表明,机器能够可靠工作;核桃、红枣和栗子的分选准确性分别为 91.66%、94.79% 和 97.39%;分选速度达 8 800 个/h。因此采用 DSP 芯片作为小型分选机的机器视觉核心是可行的,可以为农产品分选机的小型化、低成本提供技术支持。

关键词: 农产品 小型分选机 机器视觉 试验

中图分类号: TS253.7; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0245-06

Design and Test of Small-scale Sorting Machine for Agricultural Products

Deng Jizhong Li Shan Zhang Jianling Chen Wenkai Jiang Enchen
(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Quality grading is usually performed to agricultural products after harvesting by sorting machines with existing problems including large size, high price, etc. To meet the demands of family farming and small scale marketing, we designed a small-scale agricultural product sorting machine based on machine vision. Agricultural products were conveyed to the multi-channel conveyer belt and sorted with features including shape, color and etc. by the DSP-cored machine. Quality of products in separated channels can be analyzed with single frame image. Performance tests were conducted with walnuts, red dates and chestnuts selected as testing objects to the sorting machine. The test parameters including horizontal transmission speed, product transmission interval, parallel transmission channel amount were set to 9.2 cm/s, 16 cm and 4, respectively. The test results indicated that the sorting machine performed reliably with selection accuracy rate of 91.66%, 94.79% and 97.39% in walnuts, red dates and chestnuts respectively, with culling speed of approximately 8800 products per hour. Hence feasibility was proved that DSP could be performed as the machine vision core component of small-scale intelligent sorting machine, which provided technical supports of miniaturization and low cost for agricultural product sorting machines.

Key words: Agricultural products Small-scale sorting machine Machine vision Test

引言

可一次性完成农产品的尺寸、颜色、形状、表面损伤等多个指标的筛选。随着计算机软硬件技术的发展与成本的大幅度下降,分选机在农产品分选领域中

基于机器视觉的农产品分选机通过图像分析,

收稿日期: 2015-02-13 修回日期: 2015-04-27

* 广东省科技计划资助项目(2013B020313003)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B08)和国家星火计划资助项目(2011GA780026)

作者简介: 邓继忠,副教授,主要从事机器视觉与图像分析研究,E-mail: jz-deng@scau.edu.cn

通讯作者: 蒋恩臣,教授,博士生导师,主要从事农业机械设计与生物质能研究,E-mail: ecjiang@scau.edu.cn

的应用日益广泛^[1-5]。可以预见,基于机器视觉的分选技术将成为未来农产品分选技术发展的主流。目前,市场上现有此类分选机的原理相同,结构类似。该类机器结构大体分为输送单元、机器视觉单元与分选单元。输送单元使农产品形成单行或多行有序阵列平稳输送,为此,输送单元一般有特殊设计的农产品定位装置或结构,当针对不同的农产品分选时,如果农产品物料(简称物料)尺寸改变较大,则需要更换定位装置^[6]。分选单元则根据图像分析的结果,将不同等级或品质的物料分区存放。机器视觉单元通常由光室、CCD 摄像机及计计算机成,计算机需要完成系统的控制与图像分析任务;也有少量采用“计算机 + DSP”形式^[7],其 DSP 仅仅用于图像处理,以提高处理速度,系统的核心仍然是计算机。现有分选机的应用对象是果品加工企业,针对的是果蔬大中规模的采后处理和销售,该类设备因结构庞大,成本较高,不满足在我国仍然占相当比重的农户、家庭农场等小规模的处理和销售的需求。

为解决基于机器视觉分选设备的低成本、多品种(适应多种类型的农产品分选,针对家庭农场及小规模营销)及轻简化(轻型、简易、结构紧凑)等问题,本文设计基于 DSP 和 ARM 的、适应多种类物料输送、可以依据农产品表面特征信息(尺寸、颜色、损伤等)进行分选的小型农产品分选机。

1 整机功能设计

如图 1 所示,小型农产品分选机由物料输送机构、分选单元、机器视觉单元与控制单元等组成。

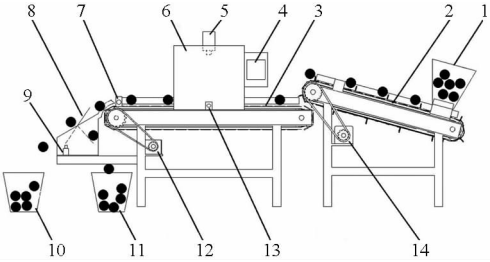


图 1 小型农产品分选机结构示意图

Fig.1 Schematic of small agricultural product sorting machine

1. 送料箱 2. 倾斜传送带 3. 水平传送带 4. ARM 控制系统
5. 摄像机 6. 图像采集光室 7. 光电开关 2 8. 翻板 9. 电磁继电器 10. 合格物料箱 11. 不合格物料箱 12. 电动机 1 13. 光电开关 1 14. 电动机 2

1.1 物料输送机构

物料输送机构由倾斜输送机构和水平输送机构组成。两级输送机构的基本构成包含平胶带输送带、调速电动机及通道分隔板等。平胶带输送带适应不同大小的物料,沿物料输送方向设置的通道分隔板保证物料多通道输送,配合平胶带特殊设计结

构和两级输送速度差,保证物料在水平输送时,以多通道、阵列式通过图像采集光室,摄像机可以一次获取并分析多个通道的物料图像。

1.2 分选单元

分选单元主要由电磁继电器组和相同数量的电磁开关与翻板等组成,用于分离合格与不合格产品。在物料通过分选单元时,电磁继电器组接收到传递来的电信号,有选择性的开启相应的开关,同时对应的翻板被打开,合格的产品顺利通过,不合格的则通过打开的翻板掉入不合格物料箱。

1.3 机器视觉单元

机器视觉单元主要由 CCD 摄像机、DSP 处理器和图像采集光室组成,其中光室光源由 4 个功率为 8 W 的直管形普通三基色荧光灯呈四边形布置在输送通道上方,如图 2 所示。该单元的功能是在较为稳定的光照下,采集并分析动态物料图像,并依据设定的算法对多通道物料品质进行识别分类。

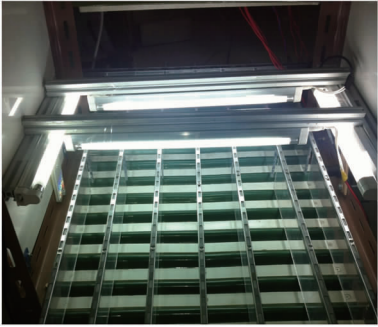


图 2 照明装置及输送带实物图

Fig.2 Illuminator and conveyor belt

1.4 控制单元

控制单元主要由 ARM 处理器、光电开关等组成,其功能之一是通过图 1 中所示的光电开关 1 检测物料到达,并启动摄像机采集图像;功能之二是通过光电开关 2 检测物料到达分选单元时刻,并结合 DSP 输出的分选信息,向对应继电器发出开启信息。

2 关键单元设计

2.1 输送带

7 个透明通道分隔板沿物料输送方向安装在输送机构上方,利用中间的 5 个分隔板形成 4 个输送通道。为保证水平输送物料不在输送方向上串位,水平输送平胶带设计为“链式 + 平胶带”结构,在链条上以 25 mm 的等间隔安装宽度为 30 mm 的支撑底板,支撑底板上覆盖平胶带,并用螺栓将宽度为 20 mm 的白色塑性板条等间隔与支撑底板固定,每 2 个相邻白色板条间的平胶带长度比相邻白色板条间距约多出 20 mm,因而形成凸起,凸起高度超过白色板条约 10 mm,当物料由倾斜输送带传送到水平

输送带,将落在水平输送带上的白色板条处,前后的平胶带凸起可阻挡物料沿输送方向的串位。水平输送带侧面实物图如图 3 所示。

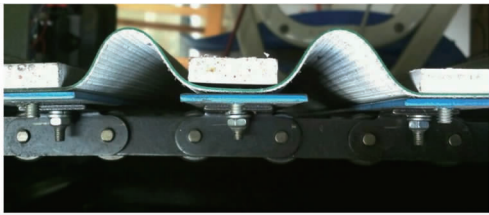


图3 输送带侧面实物图

Fig. 3 Conveyor belt physical map in profile view

倾斜输送带结构与水平输送带相似,同为“链式+平胶带”结构,通道分隔板数量相同。但是倾斜输送带在每一排物料所在位置即白色板条处,对应于 4 个通道安装了 4 个高度为 20 mm 的垂直挡板,该垂直挡板可防止通道物料在向上传送的过程中因自身重力或胶带抖动而下滑;并且在倾斜输送带输送末端每个通道分隔板侧面都安装有柔软的简易阻挡毛刷,调整毛刷安装角度,即调整了倾斜输送带末端每个通道出口的宽窄,确保每个通道某个时刻进入水平输送带的物料只有 1 个,如此,倾斜输送带每个通道进入水平输送带上的物料能够形成单列输送。2 个输送带的输送速度分别通过 2 个调速电动机独立调节,一般设定水平输送速度大于 2 倍的倾斜输送速度,两者速度比值越大,则水平输送带上相邻两排的物料间距越大。在分选较大尺寸物料时,可以通过试验确定一个较大的间距,但过大间距会降低分选效率。通过在倾斜输送带上附加上述垂直挡板与简易阻挡毛刷,并选择合适的输送速度比,可以避免物料在水平输送带上的堆积,使物料在水平输送带上形成多通道、阵列式输送,方便了后续的图像采集,这种输送方式还能适应不同尺寸物料的输送。

2.2 分选机构

分选机构的电磁继电器输入为来自控制系统的 3.3 V 的低压控制信号;电磁开关工作电压为 24 V,通断由电磁继电器控制;翻板平时处于闭合状态,开启状态由电磁继电器经电磁开关控制,通过弹簧拉动恢复闭合。多通道分选时,每个通道都对应一组电磁继电器、电磁开关及翻板。控制电磁继电器的通断,就能实现翻板的开闭,实现物料分选。

水平输送带将物料传送至末端光电开关位置,光电开关检测到有物料通过,触发信号并传送给 ARM。其中光电开关应尽量与通道垂直,并且高度适中,不能被鼓起的胶带触发,也不能遗漏物料。

本设计使用的是 NPN 型光电开关,最大工作距

离为 2 m,属偏光镜反射型光电开关,投光部与受光部一体化,通过偏光镜反射光光向的变化来检测,这类光电开关能解决物体镜面反射的问题。当投光体射出的横向(或者纵向)光波照射到反射板上,反射板将横向(或者纵向)光波改变为纵向(或者横向)光波反射回来,若受光部接收到纵向(或者横向)光波则认为没有物体遮挡。因投光体光路穿过通道分隔板,为避免误触发,光路所经过的通道分隔板处局部开孔。光电开关的工作电压在 6 ~ 36 V 之间,此处选择 12 V 工作电压。当输送带上的物料通过光电开关时,光电开关的输出电压由 0 V 变为 12 V。

2.3 图像采集控制

机器视觉单元核心是 DSP,主要包括 DSP 芯片、CCD 摄像机及光电开关等。DSP 芯片选用 TI 公司的 TMS320DM642 处理器(简称为 DM642)。基于 DM642 的机器视觉单元各设备或器件连接设计如图 4 所示。

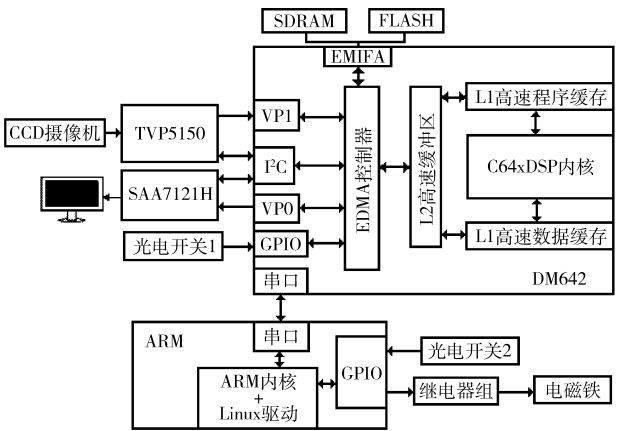


图4 硬件结构框图

Fig. 4 Hardware structure diagram

DM642 有丰富的外设接口^[8],根据图像采集处理与控制需要,系统主要利用了视频口、通用 I/O 口及串口等。外接 CCD 摄像机型号为 Panasonic WV GP470,分辨率为 720 像素 × 576 像素,CCD 摄像机视场如图 5 所示。



图5 CCD 摄像机视场图

Fig. 5 Camera field of view

CCD 摄像机的输出为 PAL 制式视频数据,通过 TVP5150 解码芯片转换为 8 位的 ITU - R BT. 656 格

式的数字视频数据,经视频口 VP1 输入的视频数据通过直接读取存储器 EDMA 存储到同步存储器 SDRAM 中,后续可直接提取 SDRAM 中的图像数据进行判别处理,同时 SDRAM 中的图像数据通过视频口 VP0,经 SAA7121H 视频编码电路后在显示器显示。

DSP 芯片上的存储器分为一级高速缓存(L1)和二级高速缓存(L2),其中 L1 高速程序缓存和 L1 高速数据缓存的容量均为 16 K×8 位,L2 高速缓冲容量为 256 K×8 位,但对存储图像数据是不够的。因此需要通过 EMIFA 接口进行存储空间扩展,本设计根据需要扩展了 2 块 SDRAM 来存放图像数据。存储在 SDRAM 中的图像数据以 25 帧/s 的速率更新,实时检测时,若对每一帧图像或者间隔数帧的序列图像进行处理分析,不但数据处理量巨大,给系统带来巨大负荷,而且由于需要进行物料标示和定位,增大了后续分选的难度。因此系统采用了光电开关触发采集的方式,即当水平输送带上的物料通过光电开关检测区域时,光电开关 1 将产生一个外部触发信号给 DM642,使 DM642“冻结”SDRAM 中的当前帧图像数据以进行分选处理。因此对输送的每一排物料,DM642 只需控制采集一张图像,并在触发的光电开关附近进行整行局部截取就可得到关键图像,处理后得到判别结果,从而减轻了系统的负荷,提高了处理的效率。

DM642 共有 16 个通用 I/O 口,输入/输出电压为 3.3 V,可以通过编程设置引脚的输入/输出方向。GP4~GP7 引脚和外部中断 EXR_INT4~EXT_INT7 复用,可通过设置中断使能寄存器相应位来使能中断,供判别处理触发信号的接入使用。由于 DM642 的 GPIO 的输入/输出电压为 3.3 V,此处使用光耦开关实现 12 V 到 3.3 V 电压转变,如图 6 所示。

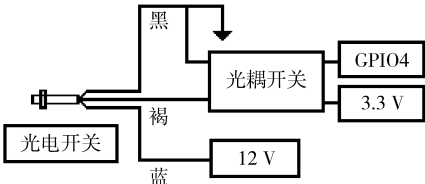


图 6 光耦开关输入设计框图

Fig.6 Photoelectric switch input design diagram

2.4 基于 ARM 的分选控制

2.4.1 控制界面

控制系统采用 ARM 开发,主控芯片为三星 S5PV210 处理器,内核为 Cortex - A8,运行主频 1 GHz,运行 Linux 系统,ARM 通过串口接收来自 DSP 的分选控制信号^[9]。采用 ARM 开发,可以方

便地设计用户操作界面,功能扩展性强,使用户能够通过触屏方式启动或结束系统的分选,也能够针对不同的物料,选择对应的分选程序,实现系统的多品种物料分选,并便于在界面上实时显示和统计检测结果。系统设计的分选系统操作界面如图 7 所示。



图 7 分选系统操作界面

Fig.7 Sorting system interface

2.4.2 DSP 与 ARM 的通信

基于 ARM 的系统设计中,ARM 与 DSP 通过串口进行通信,完成分选控制、界面功能选择及检测结果输出等任务。

(1)分选控制

当点击界面的“开始”按钮后,控制系统发送命令给 DSP,DSP 启动 CCD 摄像机进行图像采集,并等候来自光电开关 1 的信号作为图像“冻结”的触发中断控制信号;DSP 完成图像分析后,将各通道物料分选信息(串口 RS232 采用负逻辑,低电平为“1”代表不合格,高电平为“0”代表合格)通过其串口送往 ARM 的串口,以 4 通道分选为例,若 DSP 发送的串口信息为“1001”,则表明通道 1 和 4 的物料不合格。当 ARM 接收到分选信息后,将该信息以队列形式暂存,等待光电开关 2 输出信息作为中断信号输出检测结果,开启相应通道的翻板。系统的工作时序如图 8 所示。当点击界面的“结束”按钮后,DSP 停止图像采集。

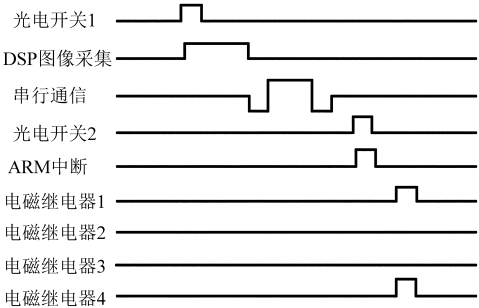


图 8 系统的工作时序示意图

Fig.8 System working sequence

(2)界面功能选择

由 ARM 向 DSP 发送命令。当操作者按下界面上相应的选择按钮,上层应用程序就会把对应的命令发送到 Linux 驱动中。Linux 驱动通过内核与 ARM 上的串口把数据传输到 DSP 上面。DSP 接收

到信号后,就会调用相应的分选算法代码块,实现不同分选程序的选择。

(3)检测和统计结果输出

由 DSP 向 ARM 发数据。当 DSP 采集图像并进行判别处理后,将判别结果通过串口发送到 ARM 上;Linux 驱动读取接收到的串口数据,并将检测结果存入寄存器队列中;Linux 驱动再把检测结果发送到上层的 C + + 应用中,并把检测结果和统计结果显示到用户界面上。

3 试验与结果分析

依据上述原理和设计,构建了基于 DSP 的小型农产品分选机原型机,该机利用了水平输送带中间 4 个通道,分选机构配置了 4 组翻板及电磁开关,最多可进行 4 路并行分选,单路分选通道宽度 60 mm,分选物料尺寸不大于 50 mm,若进行较大尺寸物料的分选,则需要减少通道数目。选择核桃、红枣、栗子 3 种物料作为测试对象,测试在不同水平输送速度和物料间距情况下,分选系统各单元分选动作的可靠性及合适的分选速度;以物料的大小或颜色为指标,测试 3 种物料分选的准确性。核桃、红枣按大小进行分选,栗子按颜色来区分去壳与未去壳。核桃、红枣分别由人眼主观判断分为较大与较小共 2 类,每种物料选 192 个,大小各半;栗子则选择去壳与未去壳的 2 类各 96 个,共 192 个。3 种物料分别进行测试。

3.1 输送速度与物料间距

水平输送和倾斜输送的调速电动机速率可在

0 ~ 20 cm/s 之间调节。物料间距是指水平输送带上相邻两排物料的间距,因水平输送带阻挡物料串位的特殊设计,物料间距只能选择 d 、 $2d$ 、 $3d$ 、 $4d$ 、 $5d$,其中 $d \approx 55$ mm。通过调整水平输送和倾斜输送的速度比可以控制水平输送带上相邻两排物料的间距,例如,当速度比约为 2、3、4 时,水平输送带上相邻两排的物料间距分别为 $2d$ 、 $3d$ 、 $4d$ 。用红枣、核桃及栗子 3 种物料测试发现,若水平输送速度设置过小,会降低分选效率;若水平输送速度过高且物料间距较小时,会出现翻板无法及时回落的问题,原因在于翻板开启利用的是电磁铁吸合作用,开启迅速,而恢复闭合则是通过弹簧拉动的,恢复速度或力度不够,所以导致系统高速时不能可靠分选。试验发现,若选择水平输送速度为中速(约 9.2 cm/s),倾斜输送带约 3.6 cm/s 时,物料水平输送间距可控制为 $3d$,系统分选机构可以实现可靠动作。

3.2 分选准确性

在核桃和红枣的图像处理中,为准确分割出物料区域,首先利用采集的原始彩色图像中白色板条区域的 B 分量明显高于物料和其他背景区域的特点,通过检测 B 分量可去除图像中的白色板条区域,此时图像包含了物料与绿色皮带背景,其后检测色差($R - G$)的值可将物料区域从绿色皮带背景中分割出来,最后统计出核桃和红枣区域的面积,据此进行分选;在栗子的图像处理中,利用 YCrCb 颜色模型中的 Cb 分量,可以直接提取去壳栗子。图 9 所示分别为核桃、红枣和栗子 3 种物料在输送带上采集的原始图像和分割图像。

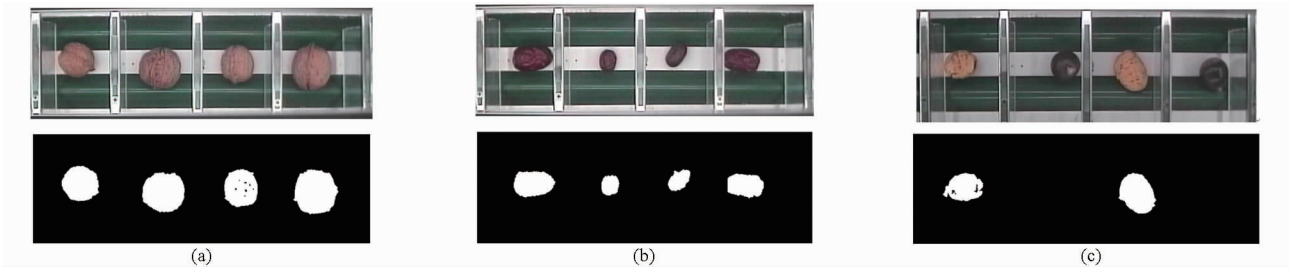


图 9 3 种物料的采集图像与分割图像

Fig. 9 Image acquisition and segmentation of three kinds of materials

(a) 核桃图像 (b) 红枣图像 (c) 栗子图像

表 1 所示为对 3 种物料分别进行测试的结果,测试条件为水平输送带通道数为 4,输送速度约为 9.2 cm/s,物料间隔 $3d \approx 16$ cm。

在表 1 中,错误个数对于核桃与红枣分选是指大小错分的个数,包括了较大误判为较小或较小误判为较大,对于栗子是指将去壳与未去壳进行了错分。在核桃分选中,在正对 CCD 摄像机光轴下采集图像且图像的核桃区域正确分割后,较大类别核桃

面积分布范围为 5 192 ~ 6 638 个像素,较小类别核桃面积分布范围为 3 614 ~ 4 272 个像素,选择较大、

表 1 3 种物料分选测试结果

Tab. 1 Sorting results of three kinds of materials

指标	核桃	红枣	栗子
正确个数	176	182	187
错误个数	16	10	5
总计个数	192	192	192
准确率/%	91.66	94.79	97.39

较小 2 类的判断阈值为 $T = (5\ 192 - 4\ 272)/2 + 4\ 272 = 4\ 732$; 在红枣分选中, 较大类别红枣的面积分布范围为 $2\ 732 \sim 3\ 361$ 个像素, 较小类别红枣的面积分布范围为 $1\ 092 \sim 1\ 426$ 个像素, 选择较大、较小两类的识别阈值 $T = (2\ 732 - 1\ 426)/2 + 1\ 426 = 2\ 079$; 在去壳与未去壳栗子分选中, 提取去壳栗子的 Cb 分量阈值为小于 120, 物料区域面积像素数大于 200 可判定为去壳栗子。

由表 1 可知, 核桃、红枣及栗子 3 类农产品分选的准确率分别为 91.66%、94.79% 及 97.39%。核桃与红枣的大小分选有一定的误差, 其大小判别依据的是图像分割后物料区域面积的大小, 在分选前用户可通过操作界面设定阈值, 面积大于等于阈值判定为大, 面积小于阈值判定为小。该面积受图像分割效果的影响, 且通道 1 和 4 的物料因偏离 CCD 摄像机光轴, 其图像会有一定程度的畸变, 也会影响图像面积的计算。这些问题可通过后续建立识别模型进行校正; 栗子的分选仅涉及到颜色的区分, Cb 分量对去壳与未去壳具有很好的分离性, 因此试验结果较好。当系统水平输送速度为中速 (约

9.2 cm/s), 物料间隔为 $3d$, 4 通道物料分选速度测算约达 8 800 个/h, 依据测试物料平均质量测算, 3 种物料的最大分选率约为核桃 160 kg/h、红枣 40 kg/h、栗子 205 kg/h。

4 结束语

本文提出的小型多用途农产品分选机, 针对的是家庭农场及小规模营销的需求, 需要考虑机器的成本、轻简性及对不同物料的适用性。为此, 在设计中选择嵌入式 DSP 芯片 DM642 作为机器视觉单元的核心, ARM 作为控制系统的核心, 平胶带作为输送单元的基本型式, 以此来实现分选机的低成本与多用途要求。分选机的性能测试表明, 选择合适的分选速度和物料输送密度可使分选具备可靠性, 也有较好的准确性。利用 DM642 强大的运算能力和良好的稳定性构造机器视觉核心是可行的, 可以实现图像的实时处理, 并能大大减小机器视觉单元的体积与成本, 可为基于机器视觉的农产品分级设备的集成化、小型化和低成本提供技术支撑。

参 考 文 献

- 1 Tao Y, Heinemann P H, Varghese Z. Machine vision for color inspection of potatoes and apples [J]. Transactions of the ASABE, 1995, 38(5): 1555 - 1561.
- 2 Akira Mizushima, Renfu Lu. A low-cost color vision system for automatic estimation of apple fruit orientation and maximum equatorial diameter [J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(3): 813 - 827.
- 3 单佳佳, 彭彦昆, 王伟, 等. 基于高光谱成像技术的苹果内外品质同时检测 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 140 - 144.
Shan Jiajia, Peng Yankun, Wang Wei, et al. Simultaneous detection of external and internal quality parameters of apples using hyper spectral technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 140 - 144. (in Chinese)
- 4 曹乐平, 温芝元, 沈陆明. 基于色调分形维数的柑橘糖度和有效酸度检测 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 143 - 148.
Cao Leping, Wen Zhiyuan, Shen Luming. Sugar content and the valid acidity test of the citrus based on the fractal dimensions of hue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3): 143 - 148. (in Chinese)
- 5 展慧, 李小昱, 周竹, 等. 基于近红外光谱和机器视觉融合技术的板栗缺陷检测 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 345 - 349.
Zhan Hui, Li Xiaoyu, Zhou Zhu, et al. Detection of chestnut defect based on data fusion of near-infrared spectroscopy and machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 345 - 349. (in Chinese)
- 6 周钦红, 张东兴. 苹果分选机输送定位机构的设计 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(5): 42 - 45.
Zhou Qinrong, Zhang Dongxing. Study on conveying and orientating section of an apple sorter [J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(5): 42 - 45. (in Chinese)
- 7 高林杰. 基于 DSP 机器视觉的水果分级系统 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
Gao Linjie. Fruit grading system based on DSP machine vision [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011. (in Chinese)
- 8 Texas Instruments Incorporated. TMS320DM642 video/imaging fixed-point digital signal processor [EB/OL]. Texas Instruments Incorporated, 2010 [2015 - 6 - 7]. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320dm642.pdf>.
- 9 Advanced RISC Machines. Cortex - A8 technical reference manual [EB/OL]. 2010: 29 - 32 [2015 - 6 - 7]. http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0344k/DDI0344K_cortex_a8_r3p2_trm.pdf.
- 10 Haff R P, Jackson E. Low cost real-time sorting of in-shell pistachio nuts from kernels [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(4): 487 - 490.
- 11 Cho Nam-Hong, Chang Dong-Il, Lee Soo-Hee, et al. Development of automatic sorting system for green pepper using machine vision [C]//2007 ASAE Annual Meeting Paper 076106, 2007.

参 考 文 献

- 1 屈有政. 基于内容的暴力视频检索[D]. 北京:北京交通大学,2011.
 - 2 傅泽田,苏叶,张领先,等. 基于自适应双阈值的蔬菜病害知识视频分割方法[J]. 农业工程学报,2013,29(9):148-155.
Fu Zetian, Su Ye, Zhang Lingxian, et al. Method of video segmentation for vegetable disease based on self-adaptive dual thresholds[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(9): 148-155. (in Chinese)
 - 3 Mohanta P P, Saha S K, Chanda B. A heuristic algorithm for video scene detection using shot cluster sequence analysis[C]//7th Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, 2010: 464-471.
 - 4 Tian Zhiqiang, Xue Jianru, Lan Xuguang, et al. Object segmentation and key-pose based summarization for motion video[J]. Multimedia Tools and Applications, 2014,72(2): 1773-1802.
 - 5 李健,宋立新. 模拟退火改进K均值算法在镜头聚类中的应用[J]. 哈尔滨理工大学学报,2010,15(6):13-16.
Li Jian, Song Lixin. Simulated annealing K-means clustering algorithm for video shots[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2010,15(6): 13-16. (in Chinese)
 - 6 张婵,高新波,姬红兵,等. 视频关键帧提取的可能性C-模式聚类算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(9):2040-2045.
Zhang Chan, Gao Xinbo, Ji Hongbing et al. Video key frame extraction algorithm based on possibilistic C-pattern clustering[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2005,17(9):2040-2045. (in Chinese)
 - 7 张建宁,孙立峰,钟玉琢,等. 基于最优化分类的视频镜头谱聚类算法[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(10):1700-1703.
Zhang Jianning, Sun Lifeng, Zhong Yuzhuo, et al. Video shot spectral clustering algorithm by optimized automatic cluster model selection[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2007, 47(10): 1700-1703. (in Chinese)
 - 8 Saeed V Vaseghi. 现代数字信号处理与噪声降低[M]. 邱天爽,刘文红,郭莹,译. 北京:电子工业出版社,2007:99-107.
 - 9 杨笔锋. 基于改进训练算法的HMM语音识别技术研究[D]. 长沙:湖南大学,2010.
 - 10 黄文龙. 语音识别关键技术研究及系统实现[D]. 重庆:重庆大学,2010.
 - 11 岳峻. 基于本体的蔬菜供应链知识获取系统研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.
 - 12 周志伟. 支持语义的视频检索技术研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2011.
 - 13 张彩琴,袁健. 改进的正向最大匹配分词算法[J]. 计算机工程与设计,2010,31(11):2595-2633.
Zhang Caiqin, Yuan Jian. Improved forward algorithm for maximum matching word segmentation [J]. Computer Engineering and Design, 2010,31(11):2595-2633. (in Chinese)
 - 14 杨超. 基于最大匹配的书面汉语自动分词研究[D]. 长沙:湖南大学,2004.
 - 15 张玉珍,杨明,王建宇,等. 基于运动补偿和自适应双阈值的镜头分割[J]. 计算机科学,2010,37(9):282-285.
Zhang Yuzhen, Yang Ming, Wang Jianyu, et al. Shot segmentation based on motion compensation and self-adaptive dual thresholds[J]. Computer Science, 2010, 37(9): 282-285. (in Chinese)
- ~~~~~
- (上接第250页)
- 12 李晶,张东兴,刘宝. 苹果分级机输送与翻转机构设计[J]. 农业机械学报,2009,40(5):158-161.
Li Jing, Zhang Dongxing, Liu Bao. Design of conveyer and turnover mechanism of apple grader [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5):158-161. (in Chinese)
 - 13 魏新华,胡学同,周杏鹏,等. 水果机器视觉自动分选机同步控制系统设计[J]. 农业机械学报,2008,39(11):99-103.
Wei Xinhua, Hu Xuetong, Zhou Xingpeng, et al. Design of a synchronization control system for fruit machine vision grader [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11):99-103. (in Chinese)
 - 14 王松磊,刘民法,何建国,等. 红枣自动快速无损检测分级机研究[J]. 农业机械学报,2014,45(9):79-83.
Wang Songlei, Liu Minfa, He Jianguo, et al. Study of rapid and automatic non-destructive testing grader for red jujubes [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9):79-83. (in Chinese)
 - 15 陈红,夏青,左婷,等. 基于机器视觉的花菇分选技术[J]. 农业机械学报,2014,45(1):281-287.
Chen Hong, Xia Qing, Zuo Ting, et al. Determination of shiitake mushroom grading based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):281-287. (in Chinese)
 - 16 郑冠楠,谭豫之,张俊雄,等. 基于计算机视觉的马铃薯自动检测分级[J]. 农业机械学报,2009,40(4):166-168,156.
Zheng Guannan, Tan Yuzhi, Zhang Junxiong, et al. Automatic detecting and grading method of potatoes with computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4):166-168, 156. (in Chinese)
 - 17 张俊雄,荀一,李伟. 山竹的计算机视觉分级方法[J]. 农业机械学报,2009,40(11):176-179,188.
Zhang Junxiong, Xun Yi, Li Wei. Mangosteen grading based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11):176-179, 188. (in Chinese)
 - 18 殷勇,陶凯,于慧春. 基于机器视觉的苹果分级中特征参量选择方法[J]. 农业机械学报,2012,43(6):118-121.
Yin Yong, Tao Kai, Yu Huichun. Feature selection method for apple grading based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):118-121. (in Chinese)
 - 19 王润涛,张长利,房俊龙,等. 基于机器视觉的大豆籽粒精选技术[J]. 农业工程学报,2011,27(8):355-359.
Wang Runtao, Zhang Changli, Fang Junlong, et al. Soybean seeds selection based on computer vision [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8):355-359. (in Chinese)
 - 20 熊俊涛,邹湘军,刘念,等. 基于机器视觉的荔枝果实采摘时品质检测技术[J]. 农业机械学报,2014,45(7):54-60.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Liu Nian, et al. Fruit quality detection based on machine vision technology when picking litchi [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7):54-60. (in Chinese)