

玉米定向精播种粒形态与品质动态检测方法\*

刘长青<sup>1</sup> 陈兵旗<sup>2</sup> 张新会<sup>2</sup> 王 侨<sup>2</sup> 杨 曦<sup>2</sup>

(1. 北京联合大学机电学院, 北京 100020; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 为满足玉米定向精播种子外形和品质的要求,设计了一种玉米种子精选装置,并研究了玉米种粒动态检测算法。经过脱粒并筛除杂质的种粒投入玉米种子精选装置,分两列两层传输,完成玉米种粒的动态检测。通过计算种子胚根尖端的方向,排除了种粒的重复检测现象;以人工选取的100粒标准种粒外形参数为基础建立合格种粒特征参数库,实现对种粒外形的检测;依据合格种粒和重度霉变种粒表皮亮度差异较大的特点,基于图像饱和度分量对重度霉变种粒加以检测;依据轻度霉变种粒表皮呈现块斑的特点,利用种粒的 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 颜色平均值检测轻度黑色霉变;以种粒黄色区域补洞后对应原种粒( $B-R$ )的值,判断种粒的轻度白色霉变和轻度破损;对于外形和霉变检测合格的种粒,通过分析种粒区域中白色区域的大小,进行玉米种粒胚芽朝向的判断,为后续种粒定向包装和定向播种提供了依据。对280粒各品种玉米种子进行实时检测,每粒种子的平均检测时间约为14 ms,重复种粒判断准确率为95%,种粒合格性检测准确率为96.1%,胚芽朝向判断准确率为97.1%。

**关键词:** 玉米 定向播种 种粒 精选 图像检测

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0047-08

Dynamic Detection of Corn Seeds for Directional Precision Seeding

Liu Changqing<sup>1</sup> Chen Bingqi<sup>2</sup> Zhang Xinhui<sup>2</sup> Wang Qiao<sup>2</sup> Yang Xi<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Union University, Beijing 100020, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** High-quality seeds can increase the germination rate. Directional seeding can make corn blades grow regularly and enhance ventilation and light energy utilization in the field. These two are necessary conditions to achieve directional and precision seeding for corn seeds. This paper provided a device and an image detection algorithm of corn seeds for directional and precision seeding. Those unqualified corn seeds were found from the corn seed samples and the corn embryo direction of the rest qualified seeds were determined using this detection algorithm. The corn seeds were transferred in two lines by conveyors. Two cameras at different locations captured the transferred corn seeds at the rate of 50 frames per second. The same seed in continuous images needed to be detected only once. So the repeated corn seed images were judged and not detected. The seed region and outer contour were detected. The shape characteristic parameters, such as the area of the seed region and the perimeter of the outer contour, were calculated. According to the color of the embryo of the corn seed as close to white and the endosperm was close to yellow, the furthest point of the white part from the yellow area center was determined as the tip point of the corn seed. The axis through the tip point and the centroid point was defined as the major axis. The axis through the centroid and perpendicular to the major axis was defined as the minor axis. The angle  $\alpha$  between the major axis and the horizontal direction was calculated. And on this basis, the shape characteristic parameters such as the length of major axis, the length of minor

收稿日期: 2015-02-15    修回日期: 2015-03-15

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA10A501-5)

**作者简介:** 刘长青,讲师,博士,主要从事工业自动化和机器视觉及图像处理研究,E-mail: liucq2001@163.com

**通讯作者:** 陈兵旗,教授,博士生导师,主要从事机器视觉及图像处理研究,E-mail: fbcq@163.com

axis, the length-width ratio, the degree of symmetry and the duty ration, were calculated quickly. The 100 qualified corn seed samples were randomly selected as standard seeds. The above shape characteristic parameters were detected successively. A qualified range was determined according to the standard seeds detection result. The unqualified corn seeds with such shortcomings as asymmetric shape, small size, round shape, severe worm-eaten and serious damage were found and excluded. The corn seed color image was transformed into saturation binary image. If the target area of this binary image was far below the average area value of the standard corn seeds, the seed was considered with severe mildew. Slight black mildew was judged according to the value of  $(R + G + B)/3$  was small. Slight white mildew or slight damage was judged according to the value of  $B - R$  was small. At last, the orientation of embryo, up or down, was detected according to the characteristics which the embryo of corn seed was close to white and it mainly located in the major axis. Of course, the direction of the tip point, left or right, determined the angle of  $\alpha$ . Experiments show that this algorithm can detect the qualification and the direction of corn seeds quickly. The time of detection for one seed is about 14 ms. The accuracy rate of repeated corn seed detection is 95%. The accuracy rate of qualification detection is 96.1%. The accuracy rate of embryo orientation detection is 97.1%.

**Key words:** Corn   Directional seeding   Seed   Selection   Image detection

引言

精密播种是一种严格控制株(粒)距、行距和播种深度的播种技术,玉米定向精密播种是指在精密播种技术要求基础上,控制种粒的播种方向,使玉米种子的胚芽面朝向一致,以达到玉米叶片有规律生长的目的。采用定向精密播种不仅可以增加玉米种植密度,提高播种精确性,节约种子,节省间苗工序,而且叶片有规律的生长,可以避免相互遮荫,增强玉米对光能的利用率以及田间的通风效果。资料表明定向精密播种比普通条播玉米增产 12% 左右<sup>[1]</sup>。

玉米定向播种最初采用人工方法,播种时对种子进行定向摆放。为提高播种效率,后来又出现了人工纸带法,即事先将种子定向并固定于纸带,便于快速播种。段晋宏<sup>[2]</sup>用种子带与机械装置结合,实现机械化定向播种。但这种方法需要事先对种子进行人工筛选并制作纸带,前期劳动强度大,且种子的挑选受人为因素影响多,不利于大面积推广。因此,在定向精播前,有必要对种子进行精选。

目前,机器视觉技术发展迅速,基于图像处理技术的种子检测方法研究比较普遍。将机器视觉应用于玉米种子精选,不仅可以排除主观因素干扰,同时可对种子特征指标进行定量描述,具有人工检测所无法比拟的优越性。国内外专家<sup>[3-15]</sup>根据种粒大小、形状、颜色和表面纹理特征对种粒进行分类或精选,已有较多报道。国内,徐丽明等采用电磁振动原理对玉米种粒进行定向排序研究<sup>[16-17]</sup>。如果将种粒精选与定向排序结合起来研究,则更具实用价值。本研究设计一种玉米种子图像精选装置,以种

植面积广泛的黄色玉米种粒为目标,研究实现定向播种的玉米种子图像精选算法,为后续的种子定向包装和定向播种提供依据。

1 试验方案

设计的玉米种子精选装置如图 1 所示,主要机构包括:双列式喂料机构、输送机构、图像采集单元、剔除分拣机构等。

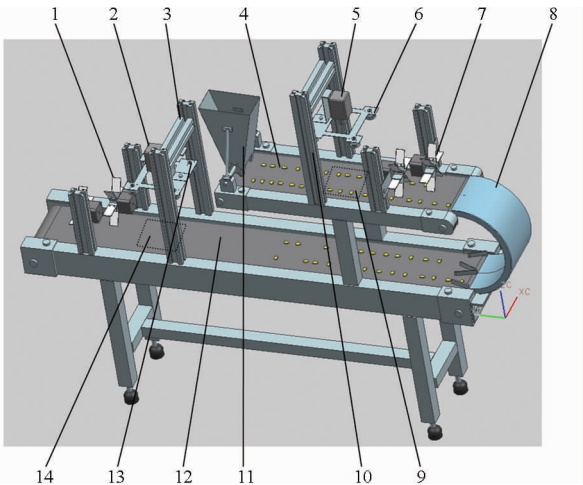


图 1 玉米种子精选装置结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of corn seed selection device

- 1. 下对剔除分拣叶轮   2. 相机 a   3. 升降调节机构 a   4. 上层输送机构   5. 相机 b   6. 光源 a   7. 上对剔除分拣叶轮   8. 中间翻面导管   9. 上层图像采集区域   10. 升降调节机构 b   11. 双列式喂料机构   12. 下层输送机构   13. 光源 b   14. 下层图像采集区域

双列式喂料机构随着输送带的运动,连续均匀地将待测玉米种子分两列洒落在输送带的中间对称

位置上,完成下料工作。输送机构包括上层输送机构、中间翻面导管和下层输送机构。上层输送机构的输送带将喂入的两列玉米种子输送至上层图像采集区域,图像采集与处理单元对当前的玉米种子表面进行图像拍摄和检测判断,并经过上方一对剔除分拣叶轮对上面不合格种子进行分拣处理。之后,上层输送带将合格的玉米种子输送至跨接在上下两层输送机构之间的中间翻面导管,对玉米种子进行翻转,然后送入下层输送机构。在下层图像采集区域,进一步完成对玉米种子另一面的图像采集和检测,在检测到不合格种子时,启动下方剔除分拣叶轮,对其进行分拣剔除。下层系统不仅用于检测种子合格性,还为后续的籽粒定向包装提供种粒方向和胚芽朝向等数据。图像采集单元包括光源、相机、升降调节机构等,上、下两层的相机均位于输送带中心上方,镜头垂直朝下,光源与相机处于同一水平面上,且均匀地分布在相机的4个角上,相机与光源的高度可以通过升降调节机构进行调整。

用于图像采集及处理的台式计算机配置: Pentium(R) Dual-Core CPU,主频 2.6 GHz,内存 2 GB。相机选用 Basler A602fc 高速彩色工业数字摄像机,其最大分辨率为 651 像素×496 像素,最大分辨率时的最大帧率为 100 帧/s,图像输出接口为 IEEE1394。镜头型号为 Computer ComputarM1214-MP,焦距为 12 mm,光圈为 F1.4。软件开发工具为 Microsoft Visual Studio 2010 和北京现代富博科技有限公司 MIAS 平台。

经过精选后的玉米种穗进行脱粒并筛除杂质的籽粒,作为试验样本,传输至玉米种子精选装置进行检测。待测样本均为“农大 108”玉米种粒。

上位机图像采集与处理系统采用多线程的工作模式,一台计算机同时控制两个相机的图像采集(设定帧率为 50 帧/s)和处理。图像处理线程依次进行几何外观特征、霉变、破损及虫蚀等检测以及种子尖端方向和胚芽方向的判断工作,然后将检测判断结果通过串口实时传送给下位机的控制系统,完成后续精选工作。

2 动态测量算法

2.1 确定待检测玉米种粒

本研究以图像中心线为分界线,将图像分为两部分,每部分包含一列玉米种粒。对于每一列处理区域,始终处理其传送方向的第 1 颗种粒,利用检测的轮廓数据计算其中心点  $Y$  方向(传送方向)坐标  $y_o$ ,当  $y_o > W_{l1}$  ( $W_{l1}$  为下限设定值,由于图像中种粒的最大图像长度小于(等于)80 像素,所以取

$W_{l1}=40$ )时,开始检测相关参数,当  $y_o > W_{l2}$  ( $W_{l2}$  为上限设定值,且满足  $W_{l2}=W-W_{l1}$ ,  $W$  为整个图像宽度,宽度方向同籽粒传输方向)时,则认为种粒落在图像下边缘,终止对该种粒的检测。

由于种粒的红色( $R$ )和绿色( $G$ )分量(帧)图像相对于黑色背景比较清晰,因此本研究应用  $R$  帧灰度图像来获取处理区域。利用大津法对种粒  $R$  帧灰度图像进行二值化处理,并对二值图像进行去噪、补洞等处理,然后利用 MIAS 平台配套的轮廓检测函数进行轮廓追踪,获得最长轮廓线的外接矩形坐标,该矩形区域即为种粒的处理区域。将最长轮廓线内的区域图像记作  $M$ 。

2.2 排除重复检测

由于动态检测过程中,前后帧捕捉到的图像中会出现重复种粒,因而会造成相同种粒重复检测。为避免重复检测,通过判断前后帧处理区域内种粒的方向,来判断是否为重复种粒,如果判断是重复种粒即终止对该种粒的进一步检测,进入下一帧图像的检测。

本研究先确定胚根尖端,然后根据胚根尖端与种粒形心的连线与  $x$  轴的夹角来确定种粒方向。

2.2.1 确定种粒方向

玉米种子的结构主要包括种皮、胚和胚乳,胚乳部分颜色偏黄,而种粒尖端及胚(即胚芽、胚轴、胚根和子叶)的部分颜色偏白。

试验中发现,随机选取的 100 粒正常种粒,不管胚芽朝上还是朝下,白色区域中距离黄色区域中心最远的点都是胚根尖端。根据这一特点,对每个像素进行  $G-B$  的计算得到种粒黄色区域的灰度图像,并对其进行上述的二值化、去噪、补洞、轮廓提取等处理,计算轮廓线坐标的平均值,作为黄色区域形心坐标  $P_{y_o}$ 。该轮廓线内部区域二值图像记作  $M_1$ 。将图像  $M$  与图像  $M_1$  进行差分,并进行去噪、补洞等预处理,获得种粒白色区域二值图像  $M_2$ 。对其利用大津法二值化处理后,提取白色区域轮廓线,依次计算白色区域轮廓点与黄色区域形心点的距离并逐一比较,取最大距离的轮廓点为胚根尖端  $P_a$ 。

如图 2 所示,胚根尖端  $P_a$  与种粒外轮廓绕形心  $P_o$  的连线与  $x$  轴(其方向与种子精选装置的传送方向垂直)的夹角  $\alpha$ ,即为种粒方向, $\alpha$  的计算公式为

$$\alpha = \arctan \frac{Y_{P_a} - Y_{P_o}}{X_{P_a} - X_{P_o}} \tag{1}$$

式中  $X_{P_a}$ 、 $Y_{P_a}$ ——点  $P_a$  的坐标

$X_{P_o}$ 、 $Y_{P_o}$ ——点  $P_o$  的坐标

待检测籽粒的种粒方向用于重复种粒的判断,并且最终检测为合格籽粒的种粒方向还可以传递给

后续装置,便于进行种粒定向包装。对于存在霉变和破损等缺陷的种粒,应用该方法确定种粒方向可能不准确,因此后续需要剔除这种不合格种粒。

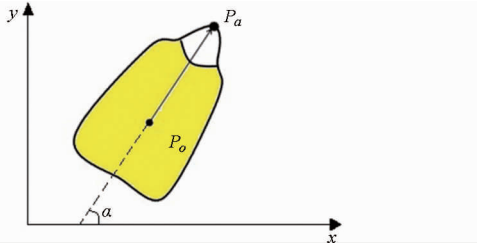


图2 种粒方向

Fig. 2 Direction of corn seed

### 2.2.2 判断重复种粒

将本帧图像计算出的种粒方向与上一帧图像计算出的种粒方向进行比较,若相同,则为重复种粒;若不同,则为不同种粒。考虑到图像采集检测的实际情况,由于拍摄种粒的角度和传送带机械波动,前后帧图像检测到同一种粒的方向会存在微小误差,本研究设定阈值区间 $[-3^\circ, 3^\circ]$ ,若本帧种粒方向落在该阈值区间,则为重复种粒,否则为不同种粒。

### 2.3 种粒检测

本研究针对种粒的外形、霉变、虫蚀或破损、胚芽朝向进行检测。

#### 2.3.1 外形检测

选用面积 $S$ 、周长 $L$ 、长轴长度 $L_a$ 和短轴长度 $L_b$ 、对称度 $E$ 、占空比 $R_s$ 等特征参数,进行种粒外形特征的图像检测。

面积 $S$ 和周长 $L$ :面积 $S$ 为种粒区域像素个数,即种粒轮廓内包含像素个数;周长 $L$ 为种粒轮廓上像素间距离之和,本研究以种粒轮廓上像素的个数来代替。

长轴长度 $L_a$ 和短轴长度 $L_b$ :定义胚根尖端 $P_a$ 与形心 $P_o$ 的连线交轮廓线于点 $P_b$ , $P_aP_b$ 的距离为种粒长轴长度 $L_a$ 。过点 $P_o$ 垂直于 $P_aP_b$ 的直线交轮廓线于点 $P_c$ 、 $P_d$ , $P_c$ 与 $P_d$ 两点间距离为种粒短轴长度。

以上4个参数只要有1个不在合格取值区间,则判断该种粒属于小种粒。

对称度 $E$ :长轴两侧轮廓上像素个数较少的一侧与另一侧的像素个数之比,反映胚乳相对于胚的对称性。对称度高的种粒有利于定向播种。对称度 $E$ 计算公式为

$$E = n_b / (L - n_b) \quad (2)$$

式中  $n_b$ ——长轴两侧轮廓上像素个数较小的值

占空比 $R_s$ :种粒面积 $S$ 与长轴方向外接矩形的面积 $s$ 之比。长轴方向外接矩形面积 $s$ 的计算公式为

$$s = |X_2 - X_1| |Y_2 - Y_1| \quad (3)$$

式中  $X_1, Y_1$ ——轮廓数组中横坐标和纵坐标的最小值

$X_2, Y_2$ ——轮廓数组中横坐标和纵坐标的最大值

占空比是种粒扁平度矩形度的评价参数,用于剔除圆形种粒。

本研究人工随机挑选品种为“农大108”的合格玉米种子100粒作为标准种粒,对该100粒标准种粒进行上述种粒外形特征检测,获得标准种粒的每个特征参数,并计算其平均值和标准偏差,确定特征参数合格取值区间

$$\bar{n} - \sigma \leq n \leq \bar{n} + \sigma \quad (4)$$

式中  $n$ ——特征参数

$\bar{n}$ ——特征参数平均值

$\sigma$ ——特征参数标准偏差

根据式(4)判断外形符合玉米精密播种的种粒,从而剔除不对称种粒、小种粒、圆形种粒、严重虫蚀、严重破损等外形缺陷种粒。

#### 2.3.2 重度霉变检测

重度霉变种粒定义为霉变面积超过种粒面积一半的种粒。正常种粒表皮颜色鲜亮,重度霉变种粒表皮颜色晦暗,根据这一特征制定种粒重度霉变检测算法。

(1)将种粒彩色图像的红( $R$ )、绿( $G$ )、蓝( $B$ )信号转换为饱和度信号

$$\begin{cases} S(x, y) = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \\ C_1 = 0.7R(x, y) - 0.59G(x, y) - 0.11B(x, y) \\ C_2 = -0.3R(x, y) - 0.59G(x, y) + 0.89B(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

式中  $S(x, y)$ ——彩色图像 $(x, y)$ 点处饱和度信号

$R(x, y)$ ——彩色图像 $(x, y)$ 点处 $R$ 像素值

$G(x, y)$ ——彩色图像 $(x, y)$ 点处 $G$ 像素值

$B(x, y)$ ——彩色图像 $(x, y)$ 点处 $B$ 像素值

(2)将饱和度信号归一化

$$h(x, y) = \frac{S(x, y)}{180} \times 255 \quad (6)$$

式中  $h(x, y)$ ——彩色图像 $(x, y)$ 点归一化的结果

(3)对归一化的结果图像进行二值化处理(根据试验,重度霉变区域的 $h$ 值通常低于30,因此二值化阈值取50),然后计算二值图像中白色像素个数 $N_w$ 。

(4)将 $N_w$ 与标准种粒面积均值 $\bar{n}_s$ 进行比较。若 $N_w < 0.5\bar{n}_s$ ,认为种粒发生重度霉变。

#### 2.3.3 轻度霉变、虫蚀或破损检测

轻度霉变种粒表皮呈现白色或黑色块斑,颜色

不均匀。

(1)轻度黑色霉变检测

依据黑色霉变区域像素的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  均值较小的特点,制定黑色霉变检测公式

$$g(x,y) = \begin{cases} 255 & ((R(x,y) + G(x,y) + B(x,y))/3 \leq T_1) \\ 0 & ((R(x,y) + G(x,y) + B(x,y))/3 > T_1) \end{cases}$$

(7)

式中  $g(x,y)$ ——结果图像 $(x,y)$ 点处的像素值  
 $T_1$ ——黑色霉变阈值

因黑色霉变区域灰度像素值接近 0,本研究取  $T_1$  值为 50。

对  $g(x,y)$  图像进行 50 像素去噪处理,然后计算结果图像上目标区域(白色)个数。若区域个数大于零,则认为种粒发生轻度黑色霉变。

(2)轻度白色霉变检测

白色霉变的判定受到种粒尖端白色和胚部白色的干扰,因此进行白色霉变检测时,需要将种粒分为白色和黄色两部分。本研究对种粒黄色区域图像补洞,将种粒黄色区域图像对应种粒彩色图像区域的像素进行二值化

$$f(x,y) = \begin{cases} 255 & (B(x,y) - R(x,y) \leq T_2) \\ 0 & (B(x,y) - R(x,y) > T_2) \end{cases}$$

(8)

式中  $f(x,y)$ ——二值化处理结果图像 $(x,y)$ 点处的像素值

$T_2$ ——种粒黄色区域的白色霉变阈值

因白色霉变区域的  $B - R$  值很小,故取  $T_2$  值为 50,若  $B - R$  值小于  $T_2$ ,表示存在白色霉变。对  $f(x,y)$  图像进行 50 像素去噪处理,然后计算结果图像上白色区域个数。若区域个数大于零,认为种粒发生轻度白色霉变。

(3)轻度破损或虫蚀检测

对于轻度破损或轻度虫蚀的种粒,种粒表面泛白,颜色特征同轻度白色霉变相似,可以根据轻度白色霉变检测方法处理。

2.3.4 玉米种粒胚芽朝向检测

根据玉米定向精密播种的要求,需要确保播种时玉米胚根尖端朝向一致,且胚芽面朝向同一侧。本研究在对玉米种子进行形状、霉变及破损等检测后,筛出合格的种子,然后对合格种子进行胚芽朝向的判断。

定义胚芽所在面与传送带贴合时,胚芽方向为下,反之为上。对于外形检测合格的种粒,胚芽方向只可能为上或为下。如图 3 所示,胚芽方向为上时,种粒中心区域呈白色;胚芽方向为下时,种粒中心区

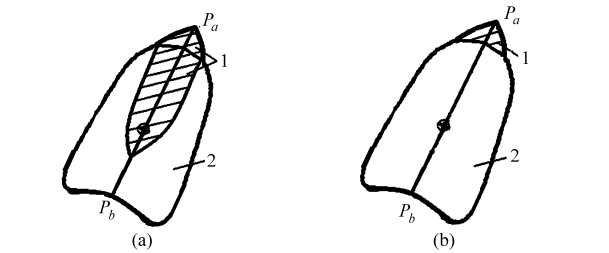


图 3 玉米种粒胚芽方向示意图

Fig. 3 Direction of corn germ  
(a) 胚芽向上 (b) 胚芽向下  
1. 白色区域 2. 黄色区域

域颜色与周围相同呈黄色。

观察发现胚芽向上时,长轴白色部分占长轴一半以上。根据这一特点,设计玉米胚芽方向检测流程如下:将种粒白色区域二值图像  $M_2$  中位于点  $P_a$  和点  $P_b$  连线上所有点的像素值存入数组  $a$ 。像素值为 255 的数组成员个数为  $n_1$ ,  $P_aP_b$  连线上点的个数即数组长度为  $n_2$ 。当  $n_1/n_2 > 0.5$  时,胚芽向上,反之向下。

3 试验结果与分析

3.1 图像采集

在进行动态检测之前,按照试验方案采集所有标准种粒图像,用于建立特征参数合格取值区间,如表 1 所示。

表 1 合格种粒特征参数计算结果

Tab.1 Mean and standard deviation of characteristic parameters for 100 qualified corn seeds

| 特征参数         | 平均值 $\bar{n}$ | 标准偏差 $\sigma$ |
|--------------|---------------|---------------|
| 面积 $S$       | 6 958         | 459           |
| 周长 $L$       | 287           | 12            |
| 长轴长度 $L_a$   | 113           | 4             |
| 短轴长度 $L_b$   | 74            | 3             |
| 长宽比 $R_{lw}$ | 1.53          | 0.058         |
| 对称度 $E$      | 0.50          | 0.01          |
| 占空比 $R_s$    | 0.78          | 0.023         |

注:面积  $S$ 、周长  $L$ 、长轴长度  $L_a$ 、短轴长度  $L_b$  的单位为像素数。

将经过机器脱粒和筛去杂质后的玉米种粒传输至玉米种子精选装置,进行种粒质量筛选和方向检测。为了验证动态检测算法的准确性,以人工放粒的方式,将 280 个样本籽粒(包括外形不对称种粒、小种粒、圆形种粒、严重虫蚀、严重霉变、严重破损、轻度黑色霉变、轻度破损、轻度白色霉变种粒各 20 粒,正常种粒 100 粒)混合投入玉米种子精选装置的双列式喂料机构,籽粒分别经过上、下两层传送带和图像采集装置。其中,上层计算种粒方向并判断重复籽粒,根据特征检测籽粒合格性并剔除不合



格籽粒及相应种粒方向数据;下层重新计算种粒方向并判断重复籽粒,根据特征检测籽粒合格性和胚芽朝向,剔除不合格籽粒及相应种粒方向和胚芽朝向数据,保留合格籽粒及其种粒方向和胚芽朝向数据。

3.2 种粒外形检测

图4a、4b、4c为有代表性的种粒样本原始图像,分别为合格种粒、底端较宽种粒和外形不规则种粒。图4d、4e、4f中白圈圆心为检出的胚根尖端,过胚根尖端的黑色直线为种粒长轴,白色封闭细线为绕形心 $P_o$ 逆时针旋转后得到的种粒轮廓线。从图4可以看出,本研究的方法可以对不同种粒准确确定其胚根尖端位置及长轴。图5为玉米种粒样本原图像及检测的长轴和短轴上的点 $P_a$ 、 $P_b$ 、 $P_c$ 、 $P_d$ 。

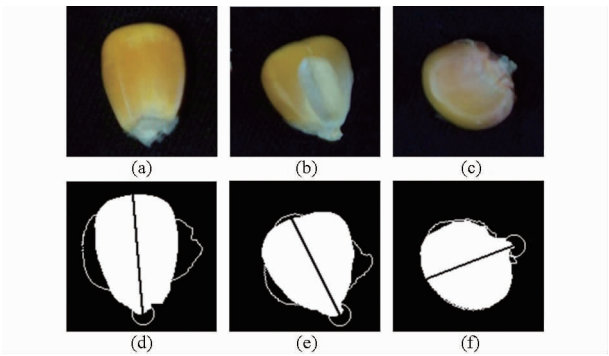


图4 不同胚根尖端及长轴示意图

Fig. 4 Detection result of tip point and major axis

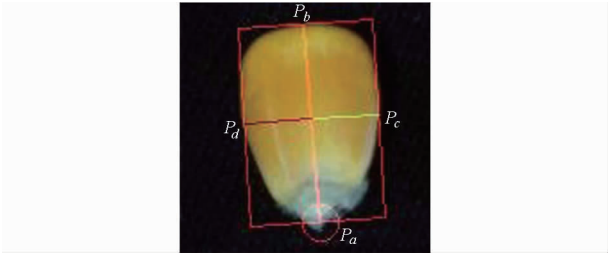


图5 种粒长短轴检测结果图像

Fig. 5 Result of axis detection

试验表明,本研究的方法可以快速、准确地确定种粒的长短轴。图5的种粒面积 $S=7\,001$ 、种粒周长 $L=297$ 、种粒长轴长度 $L_a=110$ 、短轴长度 $L_b=75$ 、长轴方向外接矩形面积 $s=7\,947$ 。由以上参数可以计算出种粒的长宽比 $R_{lw}=1.47$ 、对称度 $E=0.51$ 以及占空比 $R_s=0.89$ 。各个参数的值均处于合格区间内,该种粒为合格种粒。

3.3 种粒霉变、破损及虫蚀检测

图6为重度霉变种粒、种粒胚芽向下种粒和种粒胚芽向上种粒的饱和度分量图像,图7为饱和度分量图像进行50阈值二值化处理的结果图像。从结果图像可以看出,重度霉变种粒二值图像的白色区域面积很小,且分布零散,而合格种粒二值图像的

白色区域面积很大,且基本为一个整体。图7中白色像素个数分别为 $N_{wa}=2\,112$ 、 $N_{wb}=7\,765$ 、 $N_{wc}=7\,771$ 。由于 $N_{wa}/n=3\,479$ ,因此,检测出图6a中种粒发生重度霉变。而 $N_{wb}$ 、 $N_{wc}$ 均大于 $0.5n$ ,因此检测出图6b和图6c中种粒没有发生重度霉变。

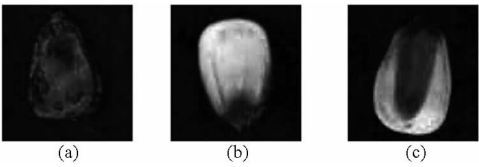


图6 饱和度分量图

Fig. 6 Saturation images

(a) 重度霉变 (b) 胚芽向下 (c) 胚芽向上

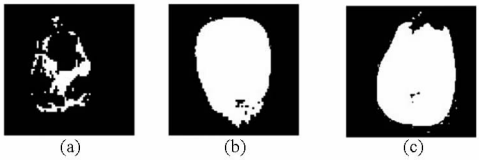


图7 重度霉变检测结果图像

Fig. 7 Result images of severe mildew detection

(a) 重度霉变 (b) 胚芽向下 (c) 胚芽向上

图8为一轻度黑色霉变的种粒,经过公式(7)处理后的二值图像。经过去噪后计算白色区域个数 $N_w=2$ 。由 $N_w$ 大于零,判定图中种粒发生轻度黑色霉变。图9a为一白色霉变的种粒中黄色区域的二值图像,按照公式(8)计算并进行去噪处理后,可以得到图9b的图像,计算白色区域个数 $N_w=1$ 。由 $N_w$ 大于零,判定该种粒发生白色霉变。



图8 轻度黑色霉变检测结果图像

Fig. 8 Result image of slight black-mildew detection



图9 轻度白色霉变检测结果图像

Fig. 9 Result images of slight white-mildew detection

(a) 黄色区域的二值图像 (b) 结果图像

3.4 种粒胚芽朝向检测

图10a、10b是经过外形检测和霉变破损检测合格的种粒图像。图10a中种粒胚芽向上,图10b中种粒胚芽向下。图10c、10d中有颜色部分是按照本

研究方法对图 10a、10b 种粒白色区域进行提取的结果,过胚根尖端的直线是种粒长轴线。

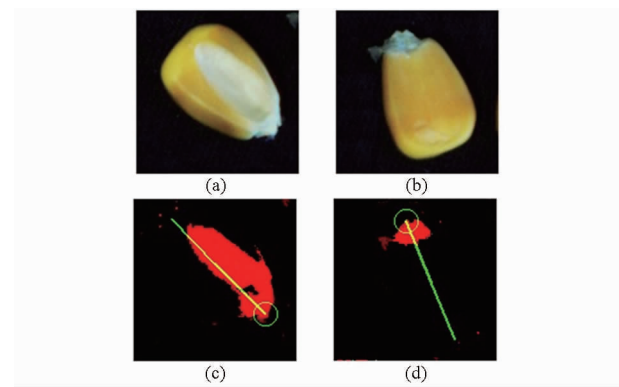


图 10 确定种粒胚芽方向结果图像  
Fig. 10 Result images of embryo

计算图 10c 中  $m = 73$ 、 $n = 92$ 、 $m/n = 0.79 > 0.5$ , 种粒胚芽向上;图 10d 中  $m = 15$ 、 $n = 88$ 、 $m/n = 0.17 < 0.5$ , 种粒胚芽向下。

动态检测试验中,每粒种子的平均检测时间为 14 ms。以机器视觉正确检测个数与实际样本个数(288)之比作为检测准确率,重复种粒检测准确率为 95%;正常种粒检测准确率为 98%,小、圆、不对称、严重虫蚀及破损等外形缺陷种粒检测准确率为 97%,霉变及轻度破损种粒检测准确率为 92.5%,

种粒样本总的合格性检测准确率为 96.1%;胚芽朝向检测准确率为 97.1%。

## 4 结论

(1)玉米种子精选装置使用两层传输机构和翻面装置,应用机器视觉实现玉米籽粒双面检测,试验中平均每粒种子检测时间为 14 ms。

(2)根据玉米种粒颜色特征寻找胚根尖端,将胚根尖端与种粒形心的连线与  $x$  轴的夹角作为种粒方向进行检测,后续种粒定向包装可依据种粒方向数据实现胚根朝向一致。

(3)利用玉米种粒方向判断重复种粒,避免重复检测,试验中重复种粒检测准确率达 95%。

(4)通过提取种粒特征参数(面积、周长、长轴长度、短轴长度、对称度和占空比)和建立种粒特征参数合格区间的方式对种粒外形(包括严重虫蚀和破损)进行检测,准确率达 97%。

(5)依靠种粒的饱和度特征和颜色特征对霉变、破损、虫蚀种粒进行检测,准确率为 92.5%。

(6)对最终筛选得到的合格玉米种粒,根据玉米胚芽的颜色特征判断胚芽朝向,便于后续按统一胚芽朝向进行定向包装。

## 参 考 文 献

- 侯彦龙,徐丽明,陈莉明. 玉米机械化定向播种技术的现状和发展趋势[J]. 农机化研究,2012,34(2):10-14.  
Hou Yanlong, Xu Liming, Chen Liming. The current situation and development trend of corn mechanization oriented seeding technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2012,34(2): 10-14. (in Chinese)
- 段晋宏. 一种定向播种方法: 中国, CN91109130.0[P]. 1992-04-08.
- Granitto P M, Navone H D, Verdes P F, et al. Weed seeds identification by machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 33(2): 91-103.
- Adjemout O, Hammouche K, Kiaf M. Automatic seeds recognition by size, form and texture features[C]//ISSPA 9th International Symposium on Signal Processing and Its Applications, 2007: 1-4.
- Venora G, Grillo O, Saccone R. Quality assessment of durum wheat storage centres in Sicily: evaluation of vitreous, starchy and shrunken kernels using an image analysis system[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(3):429-440.
- Kiratiratanapruk K, Sinthupinyo W. Color and texture for corn seed classification by machine vision[C]//2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS), 2011:1-5.
- 宁纪锋,何东健,杨蜀秦. 玉米籽粒的尖端和胚部的计算机视觉识别[J]. 农业工程学报,2004,20(3): 117-119.  
Ning Jifeng, He Dongjian, Yang Shuqin. Identification of tip cap and germ surface of corn kernel using computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2004,20(3): 117-119. (in Chinese)
- 吕一波,路迈西. 玉米图像几何特征的提取[J]. 鸡西大学学报,2006,6(4):68-70.  
Lü Yibo, Lu Maixi. The extraction of the geometric parameters of maize image[J]. Journal of Jixi University, 2006,6(4): 68-70. (in Chinese)
- 张俊雄,荀一,李伟. 基于形态特征的玉米种子表面裂纹检测方法[J]. 光学精密工程, 2007,15(6):951-956.  
Zhang Junxiong, Xun Yi, Li Wei. Detection of surface cracks of corn kernel based on morphology[J]. Optics and Precision Engineering, 2007,15(6):951-956. (in Chinese)
- 韩仲志,赵友刚,杨锦忠. 基于籽粒 RGB 图像独立分量的玉米胚部特征检测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 222-226.  
Han Zhongzhi, Zhao Yougang, Yang Jinzhong. Detection of embryo based on independent components for kernel RGB images in maize[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 222-226. (in Chinese)
- 王玉亮,刘贤喜,舒庆堂,等. 多对象特征提取和优化神经网络的玉米种子品种识别[J]. 农业工程学报, 2010,26(6):

- 199 – 204.
- Wang Yuliang, Liu Xianxi, Shu Qingtang, et al. Maize seeds varieties identification based on multi-object feature extraction and optimized neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(6): 199 – 204. (in Chinese)
- 12 李奔,吉海彦. 基于图像颜色特征的玉米种子神经网络分类研究[J]. 仪器仪表学报,2011,32(增刊):301 – 304.
- Li Ben, Ji Haiyan. Study on the neural network classification of corn seed images based on color characteristics[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011,32(Supp.): 301 – 304. (in Chinese)
- 13 宋鹏,张俊雄,荀一,等. 玉米种子自动精选系统开发[J]. 农业工程学报,2010,26(9):124 – 127.
- Song Peng, Zhang Junxiong, Xun Yi, et al. Development of automatic inspection system of corn seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(9):124 – 127. (in Chinese)
- 14 陈兵旗,高振江,宋同珍,等. 棉种图像精选方案与算法研究[J]. 农业机械学报, 2010,41(1): 167 – 171.
- Chen Bingqi, Gao Zhenjiang, Song Tongzhen, et al. Scheme and algorithm of cottonseed selection based on image processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(1): 167 – 171. (in Chinese)
- 15 陈兵旗,孙旭东,韩旭,等. 基于机器视觉的水稻种子精选技术[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 168 – 173.
- Chen Bingqi, Sun Xudong, Han Xu, et al. Rice seeds selection based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(7): 168 – 173. (in Chinese)
- 16 赵学观,徐丽明,王应彪,等. 基于 Fluent 与高速摄影的玉米种子定向吸附研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 103 – 109,28.
- Zhao Xueguan, Xu Liming, Wang Yingbiao, et al. Directional adsorption characteristics of corn seed based on Fluent and high-speed photography[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 103 – 109,28. (in Chinese)
- 17 王应彪,赵学观,徐丽明,等. 基于电磁振动的玉米种子定向排序输送技术[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 79 – 88.
- Wang Yingbiao, Zhao Xueguan, Xu Liming, et al. Experiment and directional movement technology of corn seed based on electromagnetic vibration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 79 – 88. (in Chinese)