

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.10.007

基于 openCV 的玉米出苗期和三叶期自动检测系统的设计*

韩悦婷¹ 行鸿彦¹ 金红伟²

(1. 南京信息工程大学电子与信息工程学院 南京 210000; 2. 江苏省无线电科学研究所 无锡 214000)

摘 要:为了远程实时动态监测玉米长势,为农事活动提供准确的玉米生长状态信息,提出了基于轮廓和骨架提取的玉米出苗期和三叶期的自动识别算法。该算法实现了对玉米图像的分割,并对图像中轮廓和骨架等图像特征进行提取,根据所提取的图像特征判断玉米是否进入出苗期或三叶期。利用该算法与计算机视觉库 openCV 进行玉米出苗期和三叶期的检测系统的设计,实现了玉米出苗期和三叶期的自动识别。此外,在 VS2013 环境下实现了对一个简单的玉米出苗期和三叶期的自动检测系统软件的界面开发。该系统对玉米出苗期和三叶期的识别速度较快,识别结果准确,可以作为玉米全部生长期检测系统的开发基础。

关键词: 轮廓;骨架;openCV;图像处理;出苗期;三叶期

中图分类号: TP391.41;TH79 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:**

Automatic detection system design of maize emergence and three-leaf stage based on openCV

Han Yueting¹ Xing Hongyan¹ Jin Hongwei²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Nanjing Information Engineering University, Nanjing 210000, China;
2. Radio Science Research Institute, Wuxi 214000, China)

Abstract: The automatic recognition algorithm of emergence and three-leaf stage of maize is proposed in order to dynamically monitor the growth of maize in real-time and provide accurate information about growth status for farming activities. This algorithm realizes segmentation of corn images and extract image characteristics such as contour and skeleton. To determine whether the corn has been in emergence and three-leaf stage according to the extracted image features. This algorithm and computer vision class library openCV are used for the design of emergence and three-leaf stage detection system and the target of detecting emergence and three-leaf stage of maize is achieved automatically. What's more, in the environment of VS2013, it achieved the development of this detection system. The speed of this detection system is fast and the test results are accurate. It can be used as the development foundation of all maize growth period detection system.

Keywords: contour; skeleton; OpenCV; image processing; emergence; three-leaf stage

0 引 言

玉米是我国主要的粮食作物之一。为了节约资源并

促使玉米高产,需要对玉米的长势进行监测,获得玉米的生长信息,并分析生长信息与气象条件之间的关系,从而获得对玉米生长有利的农业气象条件。以往采用的人工观测玉米长势的方式耗费大量人力效率低下^[1],观测结

收稿日期:2010-04 Received Date: 2010-04

* 基金项目: 国家自然科学基金(61671248)、江苏省产学研联合创新资金计划(BY2013007-02)、江苏省高校自然科学研究重大项目(15KJA460008)、江苏省“六大人才高峰”计划和江苏省“信息与通信工程”优势学科资助

果受观察人员的主观因素影响较大^[2],观测周期长。而遥感监测是基于宏观的大面积作物监测^[3],不适合小型农场的实时监测。目前已经出现的一些基于计算机视觉的农作物长势监测方法也存在一些弊端。例如,2010 年李荣春等人^[4]提出了通过建立覆盖度与叶面积指数(LAI)和干物质积累(DMA)的回归模型估计夏玉米长势的方法,此方法仅仅根据覆盖度对玉米长势进行判断,无法获得准确的判断结果。2010 年马彦平^[3]提出了基于双目立体视觉的大田玉米生长参数的夏玉米长势监测方法,此方法由于受图像分辨率和复杂地理环境的影响较大,很难应用于实际观测。为此,本文通过数字图像处理技术对图像进行分析^[5],提取玉米形态参数,根据轮廓、骨架^[6]等图像特征实现对玉米两个重要生长期出苗期和三叶期的自动识别。出苗期的识别算法采用轮廓质心作为图像特征,并采用划分空间的方法统计图像特征的分布,从而判断图像是否到达出苗期。三叶期的识别算法把图像细化得到的骨架顶点的数量和分布作为估算图像是否到达三叶期的依据。openCV 是一个跨平台的开源的计算机视觉库,它最初由 Intel 公司发起并开发,为实时性要求较高的计算机视觉和模式识别系统的开发搭建了很好的软件平台。本系统就是基于 openCV 设计的一个玉米出苗期和三叶期自动检测系统,该系统能够实时、准确的完成对玉米出苗期和三叶期的自动识别。为了证明本系统的有效性,本文采用在中国河南实验田拍摄的玉米地图像作为实验样本,并将实验结果和人工观测的结果进行对比。实验证明本系统符合实际观测的需求。

1 农作物提取算法

玉米出苗期和三叶期的识别算法的第一步是把包含农作物的像素点从背景中提取出来。在户外条件下拍摄的农作物图像存在一些不利于图像分割的因素,比如土地存在杂物、杂草、影子造成背景复杂以及光照强度不同引起的图像色差。为了解决这些问题,选取合适的农作物提取算法非常重要。目前有一些广泛使用的农作物图像分割算法,比如超绿算子分割算法。超绿算子分割算法结合各个通道的颜色信息提取农作物,在单一的背景条件下可以准确的完成农作物图像的分割。但当户外的光照强度随着时间和天气情况急剧变化时,这种算法就会产生明显的误差。环境自适应分割算法对光照的变化具有很强的鲁棒性,但它需要大量的训练样本。本系统引用文献[7]提到的 AP-HI 算法,结合实际拍摄的样本图像,通过少量的训练样本,达到良好的图像分割效果。AP-HI 算法结合了 HI(hue-intensity)对照表和仿射传播聚类(affinity propagation clustering)算法^[8]。

将户外拍摄的农作物图像转化到 HSI 色彩空间,HSI

颜色空间采用亮度 I 、色调 H 和饱和度 S 来描述图像的颜色特征^[9]。在一个指定的 I 下考察绿色像素的直方图分布。研究表明,在一个指定的 I 下绿色像素的色彩直方图形状和高斯分布十分相似。因此,可以采用高斯模型来近似表示在相应 I 下的绿色色调的分布,具体的近似表达式如式(1)。

$$f_h(h|I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(h-\mu)^2\right] \quad (1)$$

其中变量 h 表示绿色色调, μ 表示高斯模型的数学期望, σ^2 表示高斯模型的方差。每个 I 下的分布参数 $\hat{\mu}$ 和 $\hat{\sigma}^2$ 可以从训练样本集合中通过最大似然估计的方法得到,具体的表达式如式(2)^[8]。

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}, \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \hat{\mu})^2}{n} \quad (2)$$

选取若干张在不同光照条件下拍摄的玉米地俯视图保留其中作物的区域作为训练样本图像。将训练样本图像转换到 HSI 颜色空间^[10-11],保存每个作物像素对应的 H 值和 I 值。 I 值的范围为 $[1, 255]$,将 I 值相同的像素的 H 值放在一个数组中,即将每个作物像素对应的 H 值根据 I 值划分到 255 个数组中。如式(2)所示,分别计算 255 个数组中 H 值的数学期望 $\hat{\mu}$ 和方差 $\hat{\sigma}^2$,式中 n 表示每个数组中 H 值的个数。最后,就可以得到玉米的 $H-I$ 颜色特征对照表 $HI-LUT$, $HI-LUT = \{I, \mu_I, \sigma_I^2 | 1 \leq I \leq 255\}$ 。设待测图像中的一个像素 $P(i, j)$ 的 I 值为 $I(i, j)$,把 $I(i, j)$ 代入 $HI-LUT$ 可以得到对应的 $\mu_I(i, j)$ 和 $\sigma_I^2(i, j)$ 。计算 ΔH , $\Delta H = |H(i, j) - \mu_I(i, j)|$ 。判断 ΔH 的值是否大于 $k \cdot \sigma_I$,如果 $\Delta H > k \cdot \sigma_I$,就将像素 $P(i, j)$ 的值置为黑色,否则将 $P(i, j)$ 的值置为白色^[8],在本系统中 k 的值取 2,这样就得到了作物粗分割的结果,玉米地俯视图如图 1 所示,图 2 所示为图 1 经过粗分割之后的结果。



图 1 玉米地俯视图

Fig. 1 Vertical view of corn field

将待测玉米地图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间^[9],

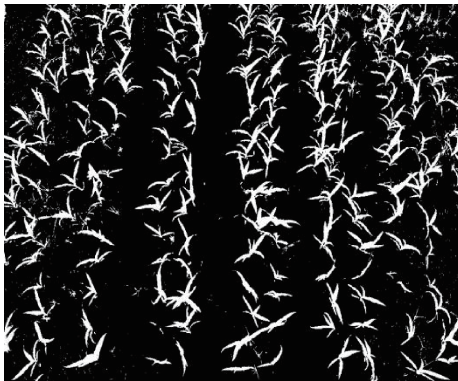


图 2 粗分割结果
Fig. 2 The coarse segmentation result

将 a 和 b 作为特征向量 k-mean 聚类成 n 个不同区域。计算聚类后的 n 类区域分别与粗分割作物区域的交集面积,并计算交集面积与 n 类中每类区域的面积比值,若比值大于阈值 m 则保留该区域,否则则将该区域所有像素置为黑色。最终得到精分割结果图,如图 3 所示为图 1 经过 AP-HI 算法精分割后的结果。

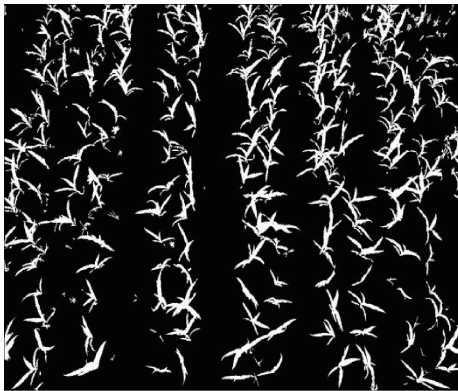


图 3 AP-HI 算法分割最终结果
Fig. 3 Result of AP-HI algorithm segmentation

2 玉米出苗期自动识别算法

中国气象局对单个苗出苗的定义是苗的第一个叶子从胚芽鞘中露出约 3 cm,如果整块农田中一半或一半以上的苗进入出苗期则判定整块农田进入出苗期。在实践中,农业气象观察员对出苗期的判断包括两个标准:1) 苗的叶面积是否达到规定的尺寸;2) 在观测区域中苗是否均匀分布。因此,本系统中玉米出苗期的自动检测算法分为两个步骤:1) 从图像中提取玉米苗,确定整个图像中玉米苗的位置;2) 计算苗的空间分布均匀度和阈值进行比较,最终判定整个区域是否出苗。

2.1 玉米苗的提取

首先对拍摄的玉米地俯视图通过 AP-HI 算法进行图像分割,得到苗待测区域的二值图。玉米地俯视图如图 4 所示,如图 5 所示为对图 4 进行图像分割得到的二值图。提取二值图的轮廓,根据玉米苗的形状和面积特征设置轮廓阈值对轮廓进行筛选,剩下的轮廓作为最终的苗待测区域。轮廓阈值是通过相机标定根据真实玉米苗的形状和面积得到的。如图 6 所示为对图 5 进行轮廓筛



图 4 出苗期待检测图像
Fig. 4 The image of emergence stage to be detected



图 5 分割后的图像
Fig. 5 The image after segmentation

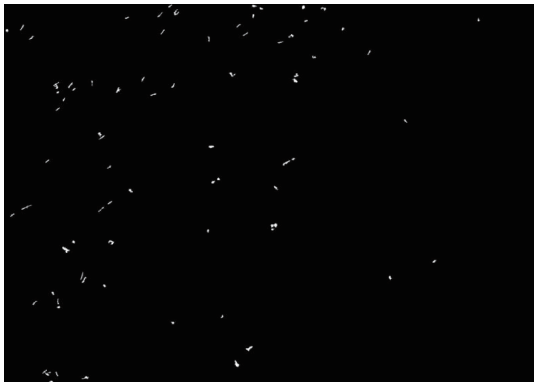


图 6 轮廓筛选后的图像
Fig. 6 The image after contour screening

选后的结果。得到二值图每个轮廓的质心,把每个质心的位置近似做为玉米苗的位置。如图 7 展示了图 6 中部分区域的轮廓质心,用白色线条画出轮廓,并用放大的红点标明了轮廓的质心。



图 7 得到轮廓质心后的图像

Fig. 7 The image after contour centroid extraction

2.2 计算空间分布均匀度

对苗待测区域进行网格式的划分,根据图像的长度和宽度均匀划分为 $K \times K$ 个区域,在本系统中 K 的值设为 3。如图 8 展示了网格式划分的方法。统计每个网格区域中轮廓质心的数量即玉米苗的数量,设为 $Num_i, i = 1, \dots, K \times K$, 其中 i 为网格区域的序号。统计玉米苗的数量 $Num_i > 1$ 的网格数设为 L 。计算玉米苗数量 > 1 的网格数占总网格数的比值作为衡量空间分布均匀程度的标准,即空间分布均匀度,设为 $H, H = \frac{L}{K \times K}$ 。如果 $H > 0.5$, 即玉米苗的数量 > 1 的网格数占总网格数的一半以上,就判定该图像区域中的玉米进入出苗期,否则就判定该图像区域中的玉米没有进入出苗期。

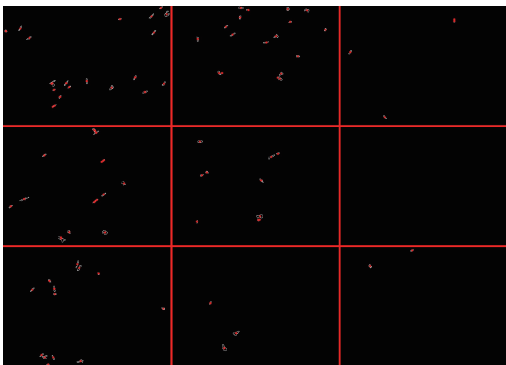


图 8 网格式划分后的图像

Fig. 8 The image after grid division

3 玉米三叶期自动识别算法

3.1 骨架顶点数的提取

首先获取出苗期之后的玉米地的俯视图如图 9 所

示,对图像进行分割,得到玉米苗二值图如图 10 所示,并提取二值图的轮廓。根据玉米苗三叶期之后的形状和面积特征设置轮廓阈值,对轮廓进行筛选,剩下的轮廓作为三叶期识别最终的苗待测区域,如图 11 所示为对图 10 进行轮廓筛选后的结果。对苗待测区域的二值图进行细化,获得二值图的骨架^[12],并获得骨架的顶点数^[13]。如图 12 所示的白色部分为对图 11 进行轮廓区域细化后得



图 9 三叶期待检测图像

Fig. 9 The image of three-leaf stage to be detected

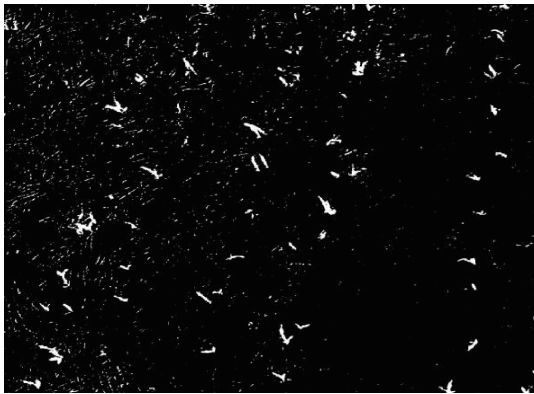


图 10 分割后的图像

Fig. 10 The image after segmentation



图 11 轮廓筛选后的图像

Fig. 11 The image after contour screening



图 12 提取骨架后的图像

Fig. 12 The image after extracting the skeleton

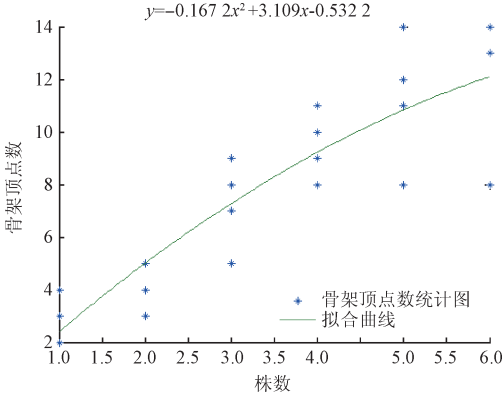


图 14 株数 x 和骨架顶点数 y 的二次曲线拟合图

Fig. 14 Quadratic fitting of the number of seeding x and the number of end-point of skeleton y

到的骨架,如图 13 所示用红色的点用来标记骨架的顶点。统计各轮廓区域内的顶点数设为 $PointNum_j, j = 1, \dots, N$ 。

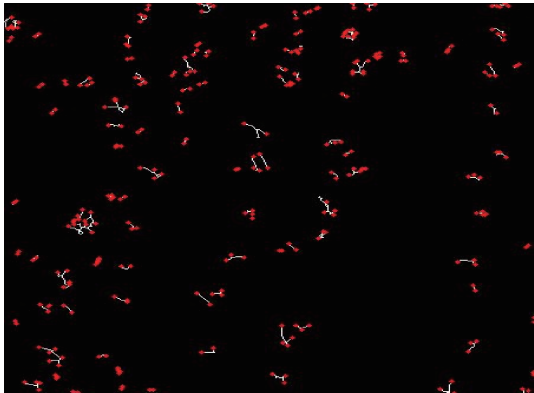


图 13 提取骨架顶点后的图像

Fig. 13 The image after extracting the end-point of skeleton

3.2 轮廓区域的平均顶点数

不同于人工观测,从图像中正确获取苗的叶片数量和株数时存在一些困难,比如在一些拍摄角度下一些苗的叶片会被隐藏起来,苗和苗之间也存在重叠和遮挡的情况。因此,首先需要对历史样本图像进行分析,找到玉米的株数与骨架顶点数的映射关系。人工统计历史样本图像中每个轮廓区域对应的株数 $StemNum_i, i = 1, \dots, m$,这样就可以得到株数和骨架顶点数之间的映射关系。设株数为 x ,骨架顶点数为 y ,通过最小二乘法^[14]进行二次曲线拟合可以得到 x 和 y 之间的映射函数 $y = F(x)$,图 14 所示为株数 x 和骨架顶点 y 的二次曲线拟合图。本系统中的拟合关系式约为 $y = -0.1672x^2 + 3.109x - 0.5322$ 。

对待测图像提取各轮廓区域内的顶点数 $PointNum_j, j = 1, \dots, N$ 后,利用预先分析玉米三叶期样本图像得到的玉米的株数与骨架顶点数的映射关系计算每个轮廓区

域内的玉米苗的株数 $StemNum_j, j = 1, \dots, N$ 。计算每个轮廓区域的平均顶点数 $AvePointNum_j = \frac{PointNum_j}{StemNum_j}$ 。统计轮廓区域的平均顶点数大于阈值 H' 的轮廓区域数 M 作为到达三叶期的轮廓区域数,在本系统中阈值 H' 为 2.5。计算到达三叶期的轮廓区域数与所有轮廓区域数之比 $RateOfThree = \frac{M}{N}$,如果 $RateOfThree > 0.5$ 就判定该图像区域中的玉米进入出苗期,否则就判定该图像区域中的玉米没有进入出苗期。

4 玉米出苗期和三叶期自动监测系统

4.1 系统界面

基于 VS2013 搭建的人机交互界面,如图 15 所示,该系统主要由图像显示区、检测结果显示区、图像信息区和菜单区 4 个部分组成。图像显示区主要用于循环显示正在识别的图像,包括原图像和处理后的结果图像。检测



图 15 系统界面

Fig. 15 The system interface

结果区用于显示生长期的识别结果,包括图像拍摄的时间和目前所处的生长期。菜单区主要包括图像信息和参数设置,以及运行和结束选项。

4.2 系统流程

将玉米地的序列图像放入一个文件夹中,玉米地的序列图像是按照时间排序的同一块玉米地的俯视图。

- 该系统的检测流程大致分为 3 个过程:
- 1) 选取建好的文件夹,循环加载图像,在图像显示区循环显示正在识别的图像;
 - 2) 对加载的图像进行出苗期检测,显示检测结果到结果区;
 - 3) 若检测到文件夹中一张图像已经进入出苗期,对后面的图像改为进行三叶期检测,显示检测结果到结果区,直到其中一张图像进入三叶期则停止检测。系统流程如图 16 所示。

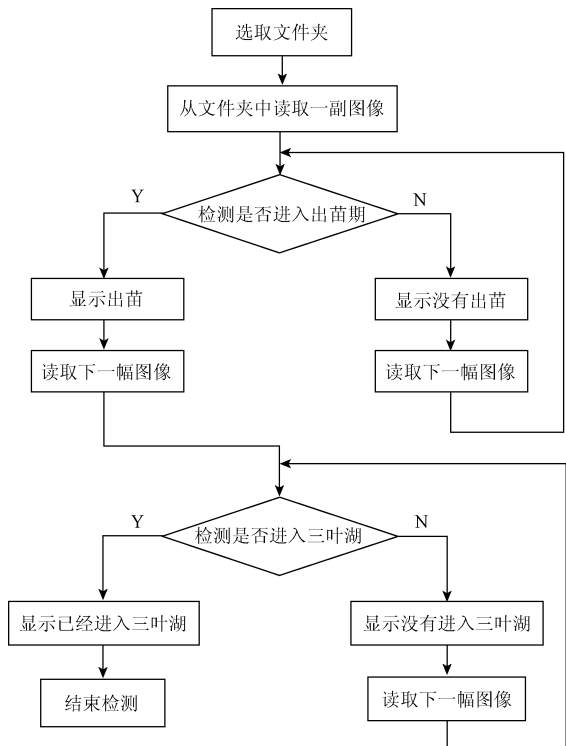


图 16 系统流程
Fig. 16 Flow chart of the system

4.3 系统中主要用到的 openCV 函数

openCV 软件包中提供了丰富的基于图像和视频处理的视觉类库^[15],本系统主要用到的 openCV 函数如下。

- 1) cvCvtColor (const CvArr * src, CvArr * dst, int code),该函数是 openCV 里的颜色空间转换函数,可以实现 RGB 颜色空间向 HSV、HSI 等颜色空间的转换,也可以转换为灰度图。本系统中该函数主要用于将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSI 颜色空间。

- 2) void findContours (InputOutputArray image, OutputArray Of Arrays contours, OutputArray hierarchy, int mode, int method, Point offset = Point()),该函数的作用是查找图像的轮廓。

- 3) double contourArea (InputArray contour, bool oriented = false),该函数用于计算轮廓的面积,在本系统中该函数主要用于对轮廓的面积进行筛选。

- 4) Rect boundingRect(InputArray points),该函数的作用是计算轮廓的垂直边界最小矩形,在本系统中该函数主要用于对轮廓的长宽比进行筛选。

- 5) Moment moments (InputArray array, bool binaryImage = false),该函数用于计算轮廓的各阶矩: $m00$ 、 $m10$ 、 $m01$ 、 $m20$ 、 $m11$ 、 $m02$ 、 $m30$ 、 $m21$ 、 $m12$ 、 $m03$ 。因为多边形的质心的坐标 (x,y) 可以用矩来计算,其中 $x = m10/m00$, $y = m01/m00$,因此在本系统中该函数主要用于查找轮廓的质心。

4.4 系统实验与测试结果

在实验中把在中国河南一块实验田拍摄的玉米地序列图像作为实验样本,拍摄的日期从 2010 年 7 月 1 日到 2010 年 7 月 6 日,每天拍摄 8 张图像,拍摄的时间从 9 点到 16 点,每隔 1 h 拍摄一张。把样本图像放在一个文件夹中,用本系统加载图像进行检测。根据系统流程首先检测图像中的玉米是否进入出苗期。玉米出苗期的判断以空间分布均匀度 H 作为判断标准, $H = \frac{L}{K \times K}$ 。其中 L 为玉米苗的数量 $Num_i > 1$ 的网格数, $K \times K$ 为网格的数量,本系统中取 K 的值为 3,即网格数为 9。对 2010 年 7 月 1 日 9 点到 2010 年 7 月 3 日 12 点的图像进行出苗期检测得到的数据如表 1 所示。

表 1 出苗期检测得到的数据
Table 1 The detected data of emergence

日期	7 月 1 日							
时间	9 点	10 点	11 点	12 点	13 点	14 点	15 点	16 点
L	2	2	2	1	2	2	2	3
H	2/9	2/9	2/9	1/9	2/9	2/9	2/9	1/3
日期	7 月 2 日							
时间	9 点	10 点	11 点	12 点	13 点	14 点	15 点	16 点
L	3	2	3	3	2	3	3	4
H	1/3	2/9	1/3	1/3	2/9	1/3	1/3	4/9
日期	7 月 3 日							
时间	9 点	10 点	11 点	12 点				
L	5	7	6	6				
H	5/9	7/9	2/3	2/3				

从表 1 可以看出从 7 月 3 日 9 点开始 $H > 0.5$, 这样可以判定从此时开始图像中的玉米进入出苗期。从而对文件夹中剩下的图像进行三叶期检测。

从上文可知本系统把到达三叶期的轮廓区域数与所有轮廓区域数之比 $RateOfThree = \frac{M}{N}$ 作为三叶期的判断标准,如果 $RateOfThree > 0.5$ 就判定该图像区域中的玉米进入出苗期,否则就判定该图像区域中的玉米没有进入出苗期。其中 M 为统计轮廓区域的平均顶点数大于阈值 H' 的轮廓区域数, N 为轮廓区域总数。对 2010 年 7 月 3 日 10 点到 2010 年 7 月 6 日 11 点的图像进行出苗期检测得到的数据如表 2 所示,其中 R 表示 $RateOfThree$ 。

表 2 三叶期检测得到的数据
Table 2 The detected data of three-leaf stage

日期	7 月 3 日							
时间	10 点	11 点	12 点	13 点	14 点	15 点	16 点	
M	11	10	14	16	18	21	22	
N	69	74	71	84	93	89	94	
R	0.16	0.14	0.20	0.19	0.19	0.23	0.23	
日期	7 月 4 日							
时间	9 点	10 点	11 点	12 点	13 点	14 点	15 点	16 点
M	23	21	25	23	29	28	29	31
N	96	98	99	110	106	96	111	118
R	0.23	0.21	0.25	0.20	0.27	0.29	0.26	0.26
日期	7 月 5 日							
时间	9 点	10 点	11 点	12 点	13 点	14 点	15 点	16 点
M	37	43	45	53	52	64	58	68
N	127	128	127	132	129	135	130	131
R	0.29	0.33	0.35	0.40	0.40	0.47	0.45	0.52
日期	7 月 6 日							
时间	9 点	10 点	11 点					
M	73	70	75					
N	132	130	133					
R	0.55	0.54	0.56					

从表 2 可以看出从从 7 月 5 日 16 点开始 $RateOfThree > 0.5$,从而可以判断从此时起图像中的玉米进入三叶期。

最终的检测结果和人工观测的结果的对比如表 3 所示。2010-07-03-9 的意思是 2010 年 7 月 3 日 9 点。

表 3 系统检测和人工观测结果对比
Table 3 Contrast of result of system detection and artificial observation

发育期	人工观测结果	本系统检测结果
出苗期	2010-07-03	2010-07-03-9
三叶期	2010-07-05	2010-07-05-16

5 结 论

本文阐述了基于图像处理的玉米出苗期和三叶期的

检测算法。并采用计算机视觉类库 openCV 对算法进行实现,完成了玉米出苗期和三叶期检测系统的开发。该系统具有检测速度快、检测结果准确、实时性强等优点,为玉米其他生长期检测系统的开发奠定了基础。

参考文献

[1] 李军玲,张弘,曹淑超.夏玉米长势卫星遥感动态监测指标研究[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 149-153.
LI J L,ZHANG H,CAO SH CH. Dynamic monitoring on the summer maize growth based on satellite remote sensing[J]. Journal of Maise Sciences, 2013, 21(3): 149-153.

[2] 张雪芬,薛红喜,孙涵,等.自动农业气象观测系统功能与设计[J]. 应用气象学报, 2012, 23(1): 105-112.
ZHANG X F,XUE H X,SUN H,et al. Function and designing of automic observing system for agro-meteorology [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2012, 23(1): 105-112.

[3] 马彦平.基于数字图像的冬小麦、夏玉米长势远程动态监测技术研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
MA Y P. Research on the remote and dynamic monitoring technology for winter and summer corn growth condition based on digital image [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2010.

[4] 李荣春,陶洪斌,张竹琴,等.基于图像处理技术的夏玉米群体长势监测研究[J]. 玉米科学, 2010, 18(2): 128-132.
LI R CH,TAO H B,ZHANG ZH Q,et al. Study on summer maize grop growth monitoring based on image processing technique [J]. Journal of Maise Sciences, 2010, 18(2): 128-132.

[5] 汤晓东,刘满华,赵辉,等.复杂背景下的大豆叶片识别[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(4): 385-390.
TANG X D,LIU M H,ZHAO H, et al. Soybean leaves recognition of images with complicated back ground[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(4): 385-390.

[6] 刘同海,白鹏,李乃翔,等.基于 openCV 的玉米株型骨架提取研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(20): 163-165.
LIU T H,BAI P,LI N X,et al. Research on framework extraction software in maize plant type based on openCV[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(20): 163-165.

[7] YU ZH H,CAO ZH G,WU X,et al. Automatic image-based detection technology for two critical growth stages of maize;Emergence and three-leaf stage[J]. Agricultural

- and Forest Meteorology, 2013, 174-175 (12): 65-84.
- [8] 华中科技大学. 一种抗光照变化的作物彩色图像分割方法. CN 102208099 A[P]. 2011.
Huazhong University of Science and Technology. A method for color image segmentation of crops with resistance to changes of illumination. CN 102208099 A[P]. 2011.
- [9] BAI X D, CAO Z G, WANG Y, et al. Crop segmentation from image by morphology modeling in the CIE L^*a^*b color space [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99 (7): 21-34.
- [10] 胡泊. 基于多维图像特征的农作物长势评价方法[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
HU B. The evaluation method for crop condition based on multi-dimensional image characteristics [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [11] 贾彪. 基于计算机视觉技术的棉花长势监测系统构建[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
JA B. Establishment of system for monitor cotton growth based on computer vision technology [D]. Shihezi: Shihezi University, 2014.
- [12] 郭斯羽, 周乐前, 温和. 长叶柄轴对称植物叶片长度的图像测量方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(6): 866-873.
GUO S Y, ZHOU L Q, WEN H. Image-based length measurement method of axially symmetric plant leaves with elongated petiole [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29 (6): 866-873.
- [13] 郭斯羽, 董红霞, 张翌. 一种用于植物叶片图像骨架提取的去毛刺方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(1): 52-56.
GUO S Y, DONG H X, ZHANG Y. Pruning method for skeletonization of plant leaf images [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(1): 52-56.
- [14] 高铭远. 利用叶片颜色判断土壤养分方法的研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11): 173-182.
GAO M Y. Study on the method of determination of soil nutrients by leaf color [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(11): 173-182.
- [15] 陈志恒, 姜明新. 基于 openCV 的人脸检测系统的设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20(10): 182-185.

CHENG ZH H, JANG M X. Face detection system design based on openCV [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(10): 182-185.

作者简介



韩悦婷, 2014 年于淮阴师范学院获得学士学位, 现为南京信息工程大学 硕士研究生, 主要研究方向为农业气象、图像处理和模式识别。

E-mail: 527475825@qq.com

Han Yueting received B. Sc. from Huaiyin Normal University in 2014. Now she is a M. Sc. candidate in Nanjing Information Engineering University. Her main research interest includes agricultural meteorological, image processing and pattern recognition.



行鸿彦, 1983 年于太原工学院获得学士学位, 1990 年于长春地质学院获得硕士学位, 2003 年于西安交通大学获得博士学位, 现为南京信息工程大学教授, 电子与信息学院副院长, 博士生导师, 主要研究方向为微弱信号检测与处理, 混沌与海杂波信号

处理, 气象仪器仪表, 气象信息处理等。

E-mail: xinghy@nuist.edu.cn

Xing Hongyan received B. Sc. from Taiyuan Institute of Technology in 1983, M. Sc. from Changchun Institute of geology in 2003, and Ph. D. from Xi'an Jiaotong University in 2003, respectively. Now he is professor and Ph. D. tutor in Nanjing University of Information Science and Technology, vice president in School of electronics and information. His main research interest includes weak signal detection and processing, and the chaotic sea clutter signal processing, meteorological instruments, meteorological information processing etc.



金红伟, 1992 年于东南大学获得学士学位, 2010 年于江南大学获得硕士学位, 现为江苏省无线电科学研究所有限公司研究员级高级工程师, 主要研究方向为大气探测。

E-mail: 453169503@qq.com

Jin Hongwei received B. Sc. from Southeast University in 1992, and M. Sc. from Jiangnan University in 2010, respectively. Now he is senior engineer at a level of researcher in Radio Science Research Institute. His main research interest includes meteorological instruments.