

基于图像特征提取的生菜形态可视化建模

孔繁爽, 伍艳莲*, 姜海燕 (南京农业大学信息科学技术学院, 江苏南京 210095)

摘要 植物形态可视化技术是实现虚拟农业中关键技术之一。该文对生菜图像进行预处理后, 研究图像的各个特征, 并提取生菜叶片的 R、G、B 颜色特征和叶片长度、宽度等特征。基于提取的各个特征, 在 OpenGL 平台上, 对生菜进行三维可视化建模, 并进行颜色、光照模拟等渲染处理, 主要建立了生菜二维图像与三维可视化模型之间的联系, 实现生菜的可视化, 能够直观地表现生菜的生长状态。将虚拟植物技术应用到农业领域的教学中, 能够帮助同学直观地学习理解, 对于农业科研、教育有积极作用。

关键词 生菜; 特征提取; 可视化; OpenGL

中图分类号 S126; TP391.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)24-265-04

Visual Modeling of Lettuce Form Based on Image Feature Extraction

KONG Fan-shuang, WU Yan-lian*, JIANG Hai-yan (College of Information Science & Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract Plant morphology visualization is a key technology of virtual agriculture. After the pretreatment of lettuce image, the various features were studied. Then R, G, B color characteristics and the length and width of lettuce leaf were extracted. According to these features, based on OpenGL to realize lettuce three-dimensional visual modeling. In addition, increasing the color and light rendering to make the model more realistic. The major advantage of this model is establishing the contact between 2D images and 3D visualization model. It showed lettuce's growing state. If the model is applied to the field of agriculture, it can help students to understand intuitively, which has a positive effect for agricultural scientific research and education.

Key words Lettuce; Features extraction; Visualization; OpenGL

虚拟作物是在计算机上利用相关技术模拟植物在三维空间中生长发育状况的可视化模型。建立植物形态的可视化模型, 可以全方位、多层次考察生菜表层的形态、纹理和空间分布关系。这对于探讨生菜组织结构与功能的关系、进行直观形象的生菜研究以及促进现代农业发展有着重要的意义。国外研究人员在计算机辅助模拟植物形态方面进行了大量研究, 主要代表有: 法国的 CIRAD、澳大利亚的 CPAJ、加拿大的 Prusinkiewicz 等人研究室, 建立了 L 系统、迭代函数系统^[1]、粒子系统^[2]等多种植物生长模型, 并开发了多种模拟植物形态的软件, 如 L-Studio。国内近年也在植物可视化方面有诸多研究, 包括基于 Nurbs 曲面建立了植物叶片静态模型^[3]; 光、水、温度等环境因素对植物可视化的影响^[4]; 大豆根系及辣椒、茄子等作物的生长模拟^[5-6]。最近, 一些基于机器视觉的特征提取也出现很多^[7-9]。

综合国内外现阶段研究现状, 多数可视化建模并没有与实测数据进行联系, 尤其对于利用静态二维图像建立植物形态可视化模型的研究并不多见。该文利用图像处理相关技术, 提取生菜颜色、几何特征, 在 OpenGL 环境下利用从二维图像中获得的特征参数, 实现了生菜形态的三维可视化建模。通过二维图像生成三维模型, 实现了准确、无损的可视化仿真, 可视化模型关键数据来自真实叶片的测量值, 符合自然界真实的生物学规律, 是对图像的准确重现, 对于农业教学、培训有很大的促进帮助作用, 能够使人们在模型上进行虚拟实验, 学习植物学相关知识。

基金项目 国家自然科学基金项目(30971697); 国家“863”计划(2013A-A100404); 国家科技支撑计划(2011BAD21B03); 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(1410307022y)。

作者简介 孔繁爽(1994-), 女, 河北承德人, 本科生, 专业: 网络工程。
* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事图像处理、虚拟作物研究。

收稿日期 2015-07-01

1 基于二维图像特征的三维建模方法简介

生菜三维可视化建模需要长度、宽度、颜色值等关键参数, 这些参数控制生菜的形状与色彩, 准确的参数不仅能够使得形态模拟更加准确, 而且符合生菜成长的客观规律, 能够在一定程度上反映生菜的植物学特性。从图像中可以提取出相应颜色、几何参数, 所以该文提出了基于图像特征提取的三维建模方法。

该文根据从图像中提取的颜色特征值、几何特征值作为三维建模的原始参数, 主要包括图像的预处理、图像特征提取和可视化建模三部分。图像预处理主要包括图像分割、边缘检测, 利用预处理后图像进行特征提取, 得到颜色特征值、几何特征值, 最后利用获取的特征值进行可视化建模, 重点在于如何获得三维建模中所需要的相应特征数据。

2 生菜图像预处理

图像预处理是在图像进行分析之前, 对获取的图像进行增强、降噪等处理, 以使图像能够更便于分析。该文主要对获取的生菜图像进行分割和边缘轮廓提取。

2.1 图像分割 图像分割是指根据图像的颜色、几何形状、灰度的特征把图像划分成若干个互不相交的区域, 图像分割的好坏直接影响到后续特征提取的效果。生菜是典型的绿色植物, 颜色特征较背景更明显, 因此该文采用文献[10]的绿色作物图像分割方法, 提取生菜图像颜色指数后, 利用均值漂移算法, 对生菜图像进行分割, 分割效果如图1所示。由图1可知, 分割后生菜图像边缘锯齿状较明显, 并不平滑, 为了使边缘检测更加准确, 对图像进行一次膨胀、腐蚀处理(图2)。

2.2 边缘检测与轮廓提取 边缘是图像局部特性的不连续性, 是前景物与背景图的交界处, 这些部分往往是整幅图像中变化差异最大的地方。边缘处图像的灰度值和亮度都会产生



图1 图像分割效果



图2 图像膨胀(a)、腐蚀(b)效果

跳变,数学算法模型中会表现出一阶导的不连续行。因此,利用图像的梯度函数就可以求得图像的边缘^[11]。

大部分情况下边缘检测是图像分割一种方法,但是这里边缘检测主要是为了生菜的轮廓提取,在分割的基础上进行边缘检测,使得提取出的生菜轮廓更完整,干扰更少,使下一步几何特征的提取更准确。

主要的边缘检测算子包括 sobel 算子、prewitt 算子、canny 算子、robert 算子。通过前期大量实验表明,在生菜的轮廓提取中,canny 算子所提取的轮廓更加连续、完整(图 3),所以最终选取 canny 算子。



图3 canny 算子边缘检测结果

3 生菜叶片特征提取

图像的特征包括颜色特征、几何特征、纹理特征,而影响

三维建模准确性的主要是颜色特征和几何特征,所以该文主要提取生菜叶片的颜色特征和几何特征,并不涉及纹理特征。颜色特征提取主要是利用图像分割结果,提取生菜叶片的 R、G、B 分量值。几何特征提取主要是利用边缘检测结果,提取生菜叶片的长度与宽度值。

3.1 颜色特征提取 颜色是图像中很重要的特征,尤其对于描述生菜叶片来讲,颜色特征的准确与否影响可视化建模的真实感程度。图像颜色特征主要有颜色直方图、颜色距、颜色聚合向量等,该文采用颜色的 R、G、B 分量值。

进行图像分割后,主要对于生菜叶片颜色中 R、G、B 分量值的提取,以作为图形可视化部分颜色模拟的关键参数。在颜色空间中,颜色是可被度量的,所以可以提取一幅图像中 R、G、B 3 个分量的具体值,用于调节可视化中各个分色的比例。

3.2 几何特征提取 生菜叶片的几何特征关键参数的提取是后续可视化建模是否准确的关键,通过获取叶片的长度与宽度值来确定生菜的大体轮廓与形状。主要通过和标准图像对比的方法获取准确的相关参数。

3.2.1 参照物与比例尺。为了能够测得准确生菜长度、宽度值,选取一个边长为 5 cm 的黑色正方形作为参照物,镜头距离正方形正中心 30 cm(图 4),获取图像后,测得边长像素点数和距离,进而可得长度与像素点数比,作为生菜长度、宽度计算的比例尺。

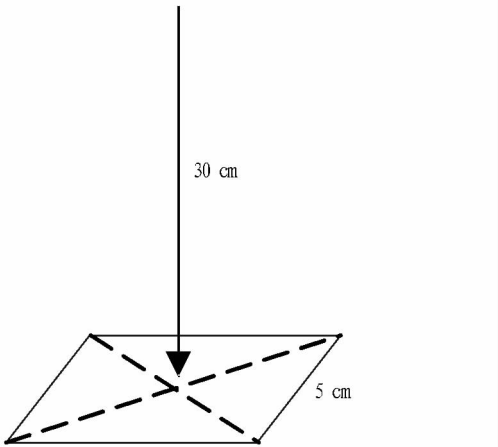


图4 拍照示意

3.2.2 生菜叶片长度测量。获取图像比例尺后,则可以测量生菜叶片的几何值。按照图4,以生菜根部为中心,用同像素的相机,镜头距生菜30 cm 高度处进行图像获取。根据边缘检测所提取的轮廓,进行长度和宽度的计算。

首先,按照像素点颜色为黑色而统计出所有边缘像素点,并记录其坐标。因为拍照时生菜根部在图像中心,即叶片的根部在图像中心,记录中心点坐标,设图像中心点坐标 (a,b) ,为计算方便,将所有像素点横纵坐标分别减 $a、b$,即以图像中间点为原点建立坐标系(图5),计算所有边缘点到中心点的长度 $d = \sqrt{(x)^2 + (y)^2}$,找到最大的长度值,即为生菜叶片的长度,并记录叶尖像素坐标为 $L(x_1,y_1)$,且可知长度上像素点数,结合“3.2.1”所测比例尺,则可知叶片实际长度。

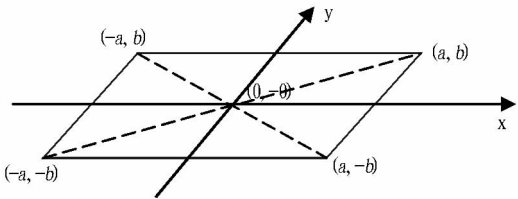


图5 坐标系

3.2.3 生菜叶片宽度测量。生菜叶片宽度的获取,主要是从叶尖到叶根,不连续取7个宽度,不连续是因为生菜叶片在靠近叶尖部分变化较快,在靠近叶根部分变化较小甚至基本不变,所以7段宽度大多集中在叶尖部分,且宽度所在直线与长度所在直线垂直(图6)。

在取得长度后,由 $(0,0)$ 与 $L(x_1,y_1)$,求得长度所在直线斜率 $k = y_1/x_1$,长度所在直线为 $l:y = kx$,则7段宽度所在直线斜率为 $-1/k$ 。取直线 $l_1:y = (k+1)x$ 和 $l_2:y = (k-1)x$,设叶片所在区域像素点集合 $\{(x_i,y_i)\}$,可限定对于任意 (x_i,y_i) 在2条直线之间,且与叶尖坐标同象限。

在此集合中找到以下2个关键点,①距离 $l:y = kx$ 直线距离最远点 MAX,②叶尖点 L 与坐标原点的中点 $(x_1/2,y_1/2)$,并从像素点集合中找到点 (p,q) ,使此像素点与中点所确定的直线斜率为 $-1/k$,记点 (p,q) 为 HALF。2个关键点是生菜可视化建模中最关键的数据。

最后以 MAX 为基准点,在叶片点集中找到距离相对减

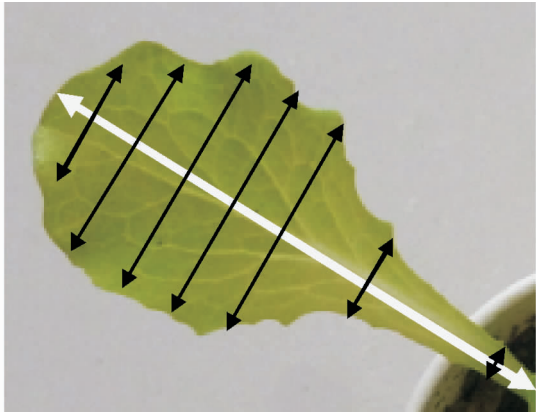


图6 生菜叶片宽度测量示意

小的另外5个边缘点,共计7点,对找到关键点标记如图7所示。



图7 生菜叶片的7个关键点

设其中任意1个为 (c,d) ,则宽度所在直线为 $l_4:(y-d) = -1/k(x-c)$,在叶片下半部分所在集合中找到在直线上的点 (e,f) ,使得 (e,f) 满足 l_4 ,则宽度为 $L = \sqrt{(e-c)^2 + (f-d)^2}$ 。以此类推,则可求出所有7段宽度值。

在所有像素点的集合中除去第1片叶子所在区域像素点集合,即可得剩余叶片像素点集合,为方便计算,按照“3.2.2”“3.2.3”,可以重设坐标轴,重复以上方法,依次找到第2片叶子的长度、区域、7段宽度。以此类推,即可求出所有叶片几何特征值。

4 基于 Nurbs 曲面的生菜叶片形态可视化

4.1 Nurbs 曲面 Nurbs 曲面建立在非有理贝塞尔方法与非有理 B 样条方法的基础上,不仅可以精确表示规则曲线与曲面,同时可把规则曲面和自由曲面统一在一起,并且权因子出现,有利于曲线和曲面形状的修改^[12],所以选取 Nurbs 曲面作为生菜形态可视化建模的工具。

Nurbs 曲面定义为:

$$S(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m W_{i,j} P_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m W_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)} \quad 0 \leq u, v \leq 1 \quad (I)$$

式中, $P_{i,j}$ 为控制顶点, $W_{i,j}$ 为与控制点相联系的权因子, $N_{i,p}(u)$ 和 $N_{j,q}(v)$ 分别为 B 样条基函数。

4.2 生菜形态的几何建模 利用 Nurbs 曲面绘制生菜叶片的关键是对于控制点的选取。由生菜长宽比可知,生菜叶片

更趋近于矩形,且长度远大于宽度,对于生菜宽度的控制尤为重要,所以对于每个叶片,选取 7 行 5 列共计 35 个控制点来控制生菜叶片的大体形状。最终通过图像处理获取生菜长度与 7 段宽度来确定控制点的具体位置。

在 OpenGL 中,封装了绘制 Nurbs 曲面的常用函数,利用 OpenGL 函数库所提供函数生成一个 Nurbs 曲面的具体方法与关键过程如下:

- (1) 创建曲面对象 `theNurb1 = gluNewNurbsRenderer();`
 - (2) 控制点改变,通过长度与 7 段宽度值,计算出所有控制点位置;
 - (3) 曲面绘制开始 `gluBeginSurface(theNurb1);`
 - (4) 具体绘制 Nurbs 曲面 `gluNurbsSurface(theNurb1, 10, knots, 10, knots, 5 * 3, 3, &points[0][0][0], 5, 5, GL_MAP2_VERTEX_3)`,其中 `&points[0][0][0]` 为控制点;
 - (5) 曲面绘制结束 `gluEndSurface(theNurb1)`。
- 取得结果如图 8 所示:

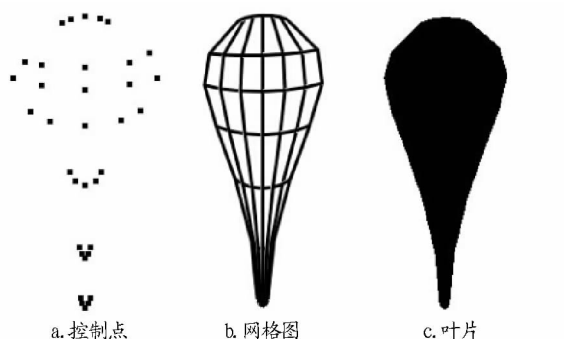


图 8 生菜叶片建模结果

4.3 生菜叶片的真实感技术

4.3.1 颜色渲染。利用图像处理在 RGB 空间中提取的红色、绿色、蓝色分量值,通过 `glColor()` 函数来设置生菜叶片颜色,颜色参数来自生菜真实图像,使得颜色更加逼真。

4.3.2 随机扭曲处理。由于图像提供的控制点坐标是在二

维空间中,且生菜叶片较其他叶片来说,弯曲程度较大,所以该文根据生菜叶片不同位置宽度不同的扭曲变化程度,分别设定 7 个随机控制函数来控制 7 排共 35 个控制点的 z 坐标,以更真实地模拟生菜叶片。

4.3.3 光照渲染。光照对于模拟三维真实感图形非常重要,如果没有光照,所制作的三维图形就没有立体感,和二维图形基本没有区别^[13]。在 OpenGL 中光照渲染具体步骤如下:

- (1) 为光照模型指定材质参数 `glMaterialfv();`
- (2) 设置光源参数 `glLightfv();`
- (3) 设置光照模型参数 `glLightModeli();`
- (4) 激活光照 `glEnable();`

4.3.4 纹理映射。真实的生菜叶片上有复杂的纹理结构,纹理结构的模拟对生菜可视化模型最终的信息表达有着至关重要的作用。该研究采用纹理贴图的方式来实现生菜叶片的纹理映射,所贴图片来自图像的分割结果,能够很大程度上实现生菜叶片的重现。具体过程如下:

- (1) 载入纹理,即生菜图像分割结果;
- (2) 创建纹理 `glGenTextures();`
- (3) 生成纹理 `glTexImage2D();`

进行以上 4 步处理后,就能够从形态、色彩方面真实模拟生菜叶片,效果如图 9 所示。

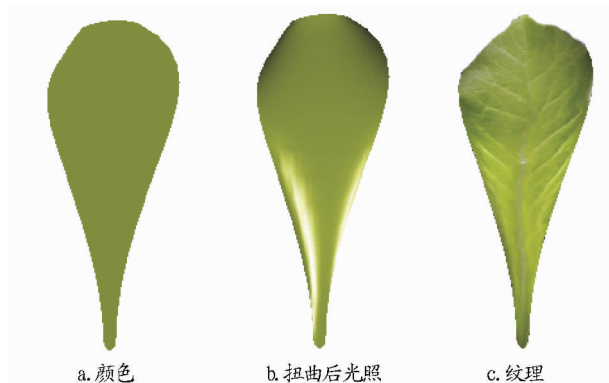


图 9 生菜叶片渲染结果

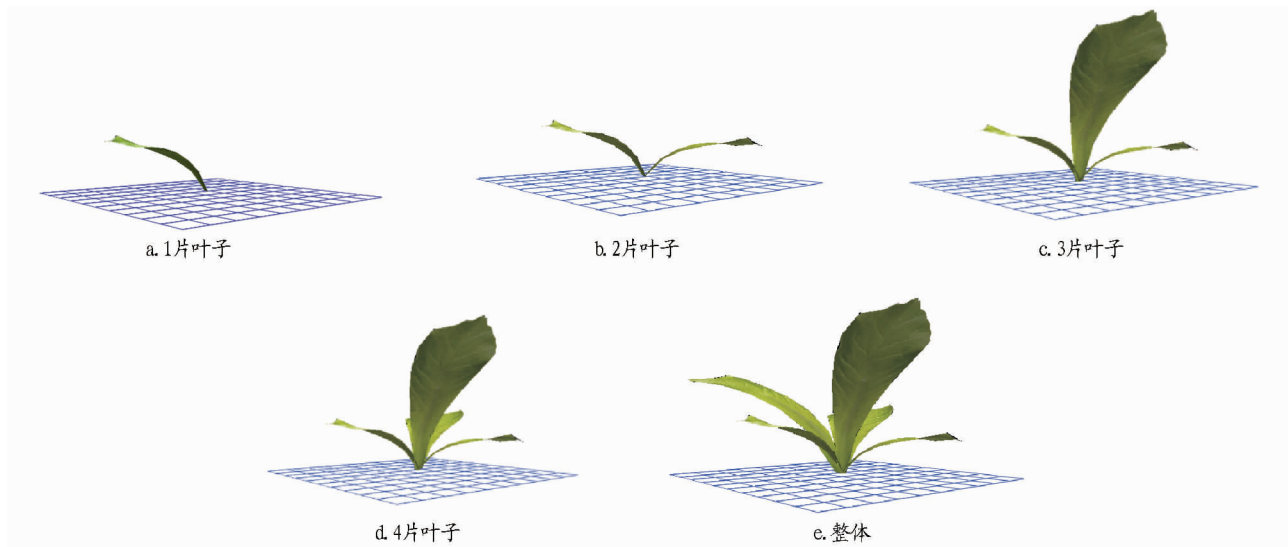


图 10 生菜植株可视化

到精准化、集约化养殖的目的。

2.3 规范化 随着养猪产业从分散的个体养猪发展到现代化集约化养猪,养猪的目的已经不单纯是猪肉,还要求对粪便、污水等污染物进行合理处理。同时,随着人们对绿色健康的关注,对猪肉品质的要求也越来越高。猪舍环境监测将在智能化、精准化的同时使养猪过程规范化、透明化。猪舍环境监测系统为废物处理提供参数,将与粪便污水等处理系统结合实现无污染养猪。同时,猪舍环境监测系统改善了舍内空气质量,提高了猪的免疫力,减少了疫苗、药物的使用,保证了猪肉的品质。

3 结语

该研究结合现代工业控制技术、计算机技术和网络通讯等技术的发展,分析了先进的猪舍环境监控系统的组成,各系统都具有各自的特点:普通单片机监控系统价格最低,控制操作简易,但运算能力较差,存储性能薄弱,自动化程度较低;PLC 控制系统具有较好的控制精度,可实现长时间无故障稳定运行,控制与操作方便易行,自动化程度较高,但其控制成本比较高;基于 CAN 总线的分布式控制系统灵活、易于拓展,各个猪舍内的局部故障之间不相互影响、模块之间相对独立;基于物联网的监控系统实现了猪舍环境的远程实时监控,更适用于自动化程度要求高的牲畜养殖系统。

随着人民生活水平的不断提高,消费者对猪肉的品质要

求也越来越高。今后,系统稳定可靠、控制精确及时、过程智能规范、维护方便的猪舍环境监控系统将更加适应市场需求。

参考文献

- [1] 王慧军,原霞,蔡中峰,等.我国养殖业发展现状分析[J].中国畜禽种业,2010(2):75-77.
 - [2] 朱明.中国设施农业发展现状、趋势与政策[C].农业生物环境与能源工程国际论坛,2010:1-16.
 - [3] 谢秋菊,苏中滨,王雪,等.基于 WSN 的猪舍环境监测系统设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2015(2):113-117.
 - [4] 郑争兵.基于 AVR 的猪舍温湿度监测系统研究[J].广东农业科学,2012(4):125-127.
 - [5] 田耘,祝宇鸿,莫秀玲,等.哺乳仔猪舍温湿度自动控制系统的试验研究[J].中国农机化,2008(5):67-70.
 - [6] 戴春霞.基于现场总线猪舍环境因子的测量与控制系统[D].镇江:江苏大学,2007.
 - [7] 李立峰.哺乳母猪舍环境监控系统研究[J].农机化研究,2011(11):195-199.
 - [8] 关铭洁.基于 PLC 和力控的猪舍环境监控系统的设计[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
 - [9] 张玉峰.基于 CAN 总线的猪舍环境现场层监控系统研究[D].镇江:江苏大学,2009.
 - [10] HWANG J, YOE H. Study of the ubiquitous hog farm system using wireless sensor networks for environmental monitoring and facilities control[J]. Sensors, 2010, 10: 10752-10777.
 - [11] 吴武豪.基于物联网的猪舍环境监控系统研究[D].杭州:浙江大学,2014.
 - [12] 朱伟兴.基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J].农业工程学报,2012(6):177-182.
-
- (上接第 268 页)
- 4.4 生菜植株的可视化** 基于上述结果,可生成多个生菜叶片,对于每个生菜叶片增加属性:叶片角度,在每次生成 1 个生菜叶片后,通过重置坐标轴进而绘制下 1 片叶子,多次之后即可最终实现整株生菜的可视化建模(图 10)。
- 5 小结**
- 虚拟植物技术在景观、教学等领域应用广泛。尤其教学方式日益趋于多元化,多媒体教学的利用越来越广泛,虚拟植物的研究能够帮助同学直观地学习理解,对于农业科研、教育有积极作用。该文主要利用静态图像所提取出的颜色特征值和几何特征值,在 OpenGL 环境下利用 Nurbs 曲线模拟生菜的形态,能够生动形象地模拟出生菜某时刻的成长状态,符合生菜真实的植物学特性,而图像特征提取与可视化建模的有机结合对研究生菜生长模型与虚拟植物技术有一定积极作用与理论参考价值,并且为研究符合成长规律的动态可视化模型提供有效方法。
- 参考文献**
- [1] ROOM P M, MAILLETTE L, HANAN J S. Module and metamer dynamics and virtual plants[J]. Advances in Ecological Research, 1994, 25: 105-157.
 - [2] REEVES W T, BLAU R. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle system[J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 313-322.
 - [3] 刘莹莹,刘哲,杨焱.基于 NURBS 的植物叶片几何建模[J].北京农学院学报,2008,23(4):63-66.
 - [4] 叶飞.环境因素影响下的植物可视化模型研究[D].重庆:重庆大学,2007.
 - [5] 钟南,罗锡文,秦琴.基于生长函数的大豆根系生长的三维可视化模拟[J].农业工程学报,2008,24(7):151-154.
 - [6] 刘骥.植物生长模拟与可视化研究[D].重庆:重庆大学,2009.
 - [7] 刘长青,陈兵旗.基于机器视觉的玉米果穗参数的图像测量方法[J].农业工程学报,2014,30(6):131-138.
 - [8] 李文勇,李明,陈梅香,等.基于机器视觉的作物多姿态害虫特征提取与分类方法[J].农业工程学报,2014,30(14):154-161.
 - [9] 刘太磊.相机标定与三维重建相关技术研究[D].南京:南京信息工程大学,2012.
 - [10] 伍艳莲,赵力,姜海燕,等.基于改进均值漂移算法的绿色作物图像分割方法[J].农业工程学报,2014,30(24):161-167.
 - [11] 黄佳.基于 OPENCV 的计算机视觉技术研究[D].上海:华东理工大学,2012.
 - [12] 高斌.曲面造型中 NURBS 曲面曲线离散及显示算法的研究与实现[D].杭州:浙江大学,2002.
 - [13] 和平鸽工作室. OpenGL 三维图形系统开发与实用技术[M].清华大学出版社,重庆大学出版社,2003.