

基于 Bezier 曲线的水稻叶片可视化建模

王兰花^{1,2} 杨红云^{1,3*} 何火娇^{1,3} 赵应丁^{1,3} 李新焕^{1,2}

(¹ 江西农业大学 江西省高等学校农业信息技术重点实验室, 南昌 330045; ² 江西农业大学 计算机与信息工程学院, 南昌 330045; ³ 江西农业大学 软件学院, 南昌 330045; * 通讯作者: nc_yhy@163.com)

摘 要:植物可视化(也称为“虚拟植株”),是在计算机设备上,通过虚拟技术来实现植株在三维立体空间中的再现。本研究采用 VC++结合 OpenGL 的技术,根据水稻的三维形态特征,通过绘制 Bezier 曲线来实现对水稻叶片边缘曲线和叶中脉曲线的可视化,最终实现水稻叶片在二维平面上的三角网格化模型和在三维空间上的弯曲模型。在这个模型中,水稻叶片的弯曲程度与其 Bezier 曲线的中间控制点的位置有关。

关键词:水稻叶片;Bezier 曲线;可视化;三维建模

中图分类号:TP391.9;S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)01-0060-04

随着时代的发展,计算机技术和计算机图形学技术渐渐走入了大家的视线,计算机图形学技术和农业知识结合的研究也应运而生,其主要研究内容是对虚拟植株的可视化研究。在计算机上,将收集的数据通过可视化的技术转化成图形信息,帮助研究人员更有效地观察与分析植物的生长规律,挖掘出隐藏在数据中的科学规律^[1]。虚拟植株的研究是目前作物模拟研究的前沿,具有广泛的应用前景,并且在农业科学、生态学、数字和计算机图形学等中交叉运用实现^[2-4]。水稻作为我国最重要的粮食作物之一,其产量的提高对我国粮食安全具有重要意义。虚拟水稻是虚拟植株研究的一个方向,主要研究内容是结合农业科学和计算机图形学对水稻外在的生理形状进行一种可视化^[5]。在水稻可视化建模上前人已做过许多研究,如杨红云等^[5]应用 Bezier 曲线描述了水稻叶片的边缘信息,并用一元二次曲线方程描述了叶脉曲线;石春林等^[6]对水稻形态建成模型及其虚拟生长进行了研究;刘宏伟等^[1]借助抛物线方程模拟了水稻叶曲线的动态变化过程;常丽英等^[7]对水稻叶倾角的动态变化过程进行了模拟;张永会等^[8]对不同品种和氮素条件下的水稻茎鞘夹角进行动态模拟;刘晓东等^[9]基于 NURBS 曲面的水稻叶形态建模等。现有的研究关于水稻叶片可视化建模的方法有很多种,使用 Bezier 曲线的方法建模的研究少有报道。在前人研究的基础上,本研究对水稻叶片可视化建模的研究方法加以创新,运用 Bezier 曲线描述水稻叶片边缘信息和叶脉曲线,同时,结合运用简单的数学方法建立一种符合水稻自然生长的可视化三维形态模型。

1 Bezier 曲线及其实现

1.1 Bezier 曲线

贝塞尔曲线(Bezier curve),又称贝兹曲线或贝济埃曲线,是应用于二维图形应用程序的数学曲线。Bezier 曲线^[10-12]可以用简单的数学公式来表达,它的次数与该段曲线的控制点有着直接的关系,一般 Bezier 曲线的次数(n)为控制点数量(m)减 1,即:n=m-1。曲线上各个点的参数方程式为:

$$B(u) = \sum_{k=0}^n P_k B_{k,n}(u) \quad u \in [0, 1] \quad (1)$$

P_k 构成该曲线的特征多边形, $B_{k,n}(u)$ 是 Bernstein 基函数,也是曲线上各点位置矢量的调和函数。其中, P_k 为 Bezier 曲线上第 k 个点的坐标值 (x_k, y_k, z_k),而 $B_{k,n}(u)$ 的值则为:

$$B_{k,n}(u) = C_n^k u^k (1-u)^{n-k} \quad k=0, 1, \dots, n \leq n=0, 1, \dots, n \quad (2)$$

$$C_n^k = \frac{n!}{k! (n-k)!} = \frac{n(n-1)\dots(k+1)}{(n-k)(n-k-1)\dots 2} \quad (3)$$

$B_{k,n}(u)$ 中参数意义分别为:n 为多项式的次数;k 为曲线上的第 K 个点;u 的取值范围为:0≤u≤1。

1.2 Bezier 曲线的实现

以 3 个控制点 P_0, P_1, P_2 为例,3 个控制点的 Bezier 曲线方程为一个二次方公式:

$$B(t) = (1-t)^2 P_0 + 2t(1-t)P_1 + t^2 P_2, t \in [0, 1] \quad (4)$$

从式(1)(2)(3)可知,计算 Bezier 曲线上的点,可

收稿日期:2017-09-25

基金项目:国家自然科学基金(61562039;61363041);江西省教育厅科技项目(GJJ160374)

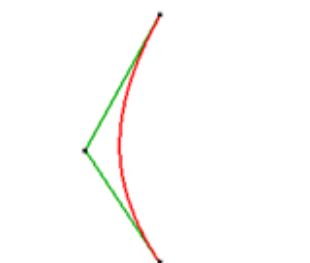


图 1 3 个控制点的 Bezier 曲线

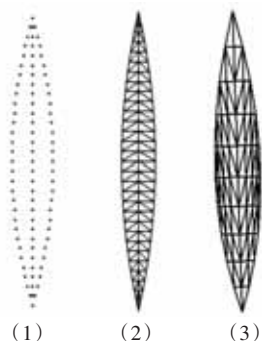


图 2 绘制的 Bezier 曲线上的点及其三角网格化

用 Bezier 曲线方程。已知控制点的坐标,只要 t 取 $[0, 1]$ 之间不同的值,就可以求出 Bezier 曲线上的很多点,然后将这些点用小直线段、折线相连,Bezier 曲线也就绘制出来了^[13-14]。为了得到好的显示效果,要把间距控制在视觉能接受的范围内。在 visual studio 2010 中运行结果如图 1 所示。

2 水稻叶片形态模型的建立

2.1 二维水稻叶片三角网格化模型建立

Bezier 曲线具有易控性,改变 1 个控制点就改变了这条 Bezier 曲线;不同控制点得到各种不同规则的曲线及其方程,适合描述水稻叶片一侧的边缘。由于可控性的需求,在绘制水稻叶片边缘曲线时选择用 2 条 2 次 Bezier 曲线,分别用 2 个控制点对该 Bezier 曲线进行插值,以此来对水稻叶片进行边缘曲线的模拟。

在绘制 Bezier 曲线时,两条 Bezier 曲线上点的个数相同,即:函数 Bezier 中的 precision 取值相同,取相同 t 值,将得到的 Bezier 曲线上叶片边缘的坐标信息分为左右两个部分。左侧叶片坐标信息存为 (LX_i, LY_i) 数组,右侧叶片坐标信息存为 (RX_i, RY_i) 数组。在二维平面 xoy 上,叶片的中间叶脉坐标 (MX_i, MY_i) 信息可以近似看成对应左右叶片坐标的中点,叶片的左右两边是关于中间叶脉对称的,所以叶片对应点的宽度值记入 WM_i 数组。根据上述所说,可以得到如下关系:

$$\begin{cases} MX_i = (LX_i + RX_i) / 2; \\ MY_i = (LY_i + RY_i) / 2; \\ WM_i = (RX_i - LX_i) / 2; \end{cases}$$

其中, i 的取值范围为 $(0, \text{precision})$, precision 为绘制 Bezier 曲线时的精确度,也是这条 Bezier 曲线上点的个数,即叶片边缘上的点的个数。

当叶片叶脉曲线在 Y 轴上时,在二维平面 xoy 上,水稻叶片关于 y 轴对称,假设水稻叶片的叶长为 LL ,最大叶宽为 LW ,则关于水稻左叶边缘的 Bezier 曲线的 3 个控制点的坐标分别为 $(0, 0)$ 、 $(-LW, LL/2)$ 、 $(0, LL)$;关于水稻对应的右叶边缘的 Bezier 曲线的 3 个控制点的坐标分别为 $(0, 0)$ 、 $(LW, LL/2)$ 、 $(0, LL)$ 。

在 visual studio 2010 环境下,根据上述条件,取 $lw=1 \text{ cm}$, $ll=16 \text{ cm}$;编写程序运行结果如图 2 所示。

2.2 三维叶片弯曲模型的建立

相较于上述所说的二维水稻叶片模型,三维模型是以二维空间为基础;由于在自然环境下的水稻叶片基本上都是三维立体的,所以三维模型能够较真实的还原出现实中水稻叶片的状态。将叶片的叶中脉曲线旋转至 (yoz) 平面上,在叶片不发生折断和扭曲的情况下,实现叶片的弯曲模型;将叶脉曲线也看成是一条 Bezier 曲线,且叶片的左右边缘 Bezier 曲线关于叶脉曲线对称,叶脉 Bezier 曲线的精确度 precision 值与叶片边缘 Bezier 曲线的 precision 值相同。叶脉曲线的起始控制点和终止控制点与叶片左右边缘曲线的起始控制点和终止控制点坐标信息一致。

水稻叶片的三维模型从简单的来说,三维空间中,水稻叶片在不发生弯曲、扭曲和折断的情况下,我们可以认为叶片的叶脉曲线在空间中是一条直线,水稻叶片的最大叶宽设为 lw ,叶片的最大叶长为叶脉曲线的长度设为 ll ,叶片起始点和终止点两端在 Z 轴方向上的差设为 w 。当 Bezier 曲线的中间控制点的 Z 轴坐标 W 的值的范围为 $[0, w/2]$ 时,叶片将向 Y 轴靠近,向下弯曲,值越小,弯曲的程度越大;当 W 的值为 $w/2$ 时,叶脉曲线为一条直线,水稻叶片将不发生弯曲;当 W 的取值范围为 $(w/2, w]$ 时,叶片将向 Z 轴靠近,向上弯曲,值越大,弯曲程度越大。当控制点 $W=w/2$ 时,其水稻叶片的三维空间示意图如图 3 所示。

其中,绘制 Bezier 曲线的函数代码如下:

```
void CMFCLeafTestView::Bezier(pointArray &ctrlPts,
int precision){intArray C;
C.length=ctrlPts.length;
```

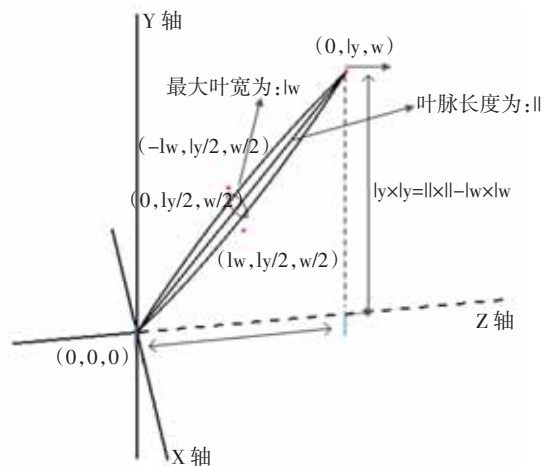
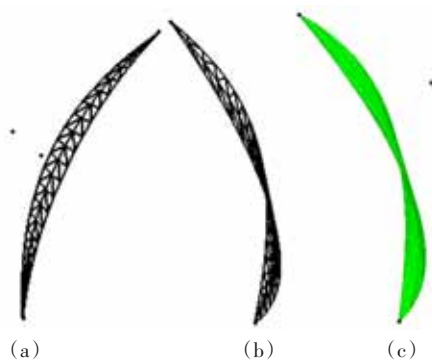
图3 $W=w/2$ 时叶片三维空间示意图

图4 水稻叶片弯曲模型

```

C.arr = new int[C.length];
binomialCoefficient(C); //计算二项式系数
pointArray bezPts; //保存计算点的参数
bezPts.length=precision+1;
bezPts.arr = new point3D[bezPts.length];
float u; //规律参数
for (int k=0; k<=precision; k++){u = float(k)/float
(precision);
computeBezPt(u, bezPts.arr[k], ctrlPts, C); //计算在
规律 u 处点的坐标位置}
drawTriangles(bezPts); //绘制三角形函数 drawLine
(bezPts); //绘制曲线的函数 delete [] bezPts.arr; delete[]
C.arr;}

```

Bezier 函数中 precision 的值越大, 叶片边缘的曲线将无限趋近光滑曲线。

在 visual studio 2010 中, 假设中间控制点的 W 的值 $=w/4$ 时, 运行该程序并且对运行结果进行旋转控制, 得到结果如图 4 所示。

2.3 实验结果分析

本次实验实现了水稻叶片的可视化建模。在计算机设备上最终实现水稻叶片在三维空间上的弯曲模型; 运用三条 Bezier 曲线来实现对水稻叶片边缘曲线及叶中脉曲线的可视化; 在实验中, 对水稻叶片进行了三角网格化和点化处理, 该实验能够较清晰的反应水稻叶片可视化上点、线之间的关系, 有效的找出它们的规律, 有利于实验研究。在水稻弯曲模型实验中, 通过设置 W 值的不同来改变水稻叶片的弯曲程度, 设置 $W=w/4$ 时的叶片, 对其进行三角网格化、旋转、添色处理, 得到水稻叶片的 1 个弯曲模型。实验结果表明, 水稻的弯曲程度确实与 W 值有关, 通过改变 W 值可改变水稻叶片的弯曲程度。这个方法比较容易理解和掌握, 通过 drawLeaf 函数来描述叶片的基本空间特征(叶脉曲线和叶边缘曲线), 且在这个函数中, 与叶片的实际测量参数(叶长、叶宽), 还有叶片在空间中的位置(叶片的起始点坐标信息等), 建立了一种比较直观的联系, 实现了对水稻叶片的三维形态建模和可视化表达。

实验结果发现, 函数参数 W 值的范围为 $[0, w/2]$ 时, 叶片向 Y 轴靠近, 向下弯曲, 值越小, 弯曲的程度越大; 当 W 值为 $w/2$ 时, 叶脉曲线为一条直线, 水稻叶片不发生弯曲; 当 W 的取值范围为 $(w/2, w]$ 时, 叶片向 Z 轴靠近, 向上弯曲, 值越大, 弯曲程度越大。

3 结束语

根据水稻叶片观测数据的分析, 用 Bezier 曲线描述水稻叶片的边缘信息, 能较好地反应绝大多数叶子的边缘特征, 使得叶片的三维可视化仅与水稻叶脉曲线、叶片的长度和宽度等信息有关。本文所使用方法的可控性不是很高, 随着实验数据的增多, 对于数据的输入的工作量比较大, 对叶片的其他如扭曲模型的实现, 需要对其进一步改进, 实现更好的可控性。在以后的工作中, 将会进一步研究水稻各种形态的变化与环境因素相结合的生理生态模型。

参考文献

- [1] 刘宏伟, 吴斌, 张红英, 等. 水稻叶片几何模型及其可视化研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(23): 263-264.
- [2] 金席卷, 敬松, 方遼. 虚拟植物果实的可视化建模技术研究[J]. 农机化研究, 2012(10): 176-179.
- [3] 姜丽萍, 陈树人. 虚拟植物的研究进展[J]. 农机化研究, 2006(4): 4-6.
- [4] 管鹤卿, 廖桂平, 李锦卫. 虚拟植物的研究内容及实现技术综述[J]. 农业网络信息, 2006(12): 42-46.

- [5] 杨红云,罗威,何火娇,等. 水稻叶片形态三维建模与计算机模拟[J]. 农机化研究,2008(12):33-35.
- [6] 石春林. 水稻形态建成模型及虚拟生长研究[D]. 南京:南京农业大学,2006.
- [7] 常丽英. 水稻植株形态建成的模拟模型研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.
- [8] 张永会,汤亮,刘小军,等. 不同品种和氮素条件下水稻茎鞘夹角动态模拟[J]. 中国农业科学,2012,45(21):4 361-4 368.
- [9] 刘晓东,曹云飞,刘国荣,等. 基于 NURBS 曲面的水稻叶形态建模[J]. 微电子学与计算机,2004,21(9):117-119.
- [10] 雷晓俊,汤亮,张永会,等. 小麦麦穗几何模型构建与可视化[J]. 农业工程学报,2011,27(3):179-184.
- [11] 刘晓东,蒋立华,赵军军,等. 基于 Bezier 曲线的植物形态建模和显示[J]. 计算机工程与应用,2002,38(13):97-98.
- [12] 徐旭东,王菁. 基于 OpenGL 的虚拟吊兰建模与可视化研究[J]. 计算机工程与设计,2013,34(12):4 304-4 309.
- [13] 张文静,加云岗,王伟. 基于 Bezier 曲线的移动模型研究[J]. 计算机应用研究,2015,32(6):1 830-1 834.
- [14] 高晶. Bezier 曲线的算法研究 [J]. 辽宁师专学报:自然科学版,2008,10(2):25-26.
- [15] 丁维龙,谢涛,徐利锋,等. 基于虚拟模型的水稻冠层叶面积计算方法[J]. 农业工程学报,2017,33(2):192-198.
- [16] 刘丹,诸叶平,刘海龙,等. 植物三维可视化研究进展[J]. 中国农业科技导报,2015,17(1):23-31.
- [17] 胡少军,何建东. 基于图像处理的小麦叶片形态的三维重建[J]. 农业工程学报,2007,23(1):150-154.

Visual Modeling of Rice Leaf Based on Bezier Curve

WANG Lanhua^{1,2}, YANG Hongyun^{1,3*}, HE Huojiao^{1,3}, ZHAO Yingding^{1,3}, LI Xinhuan^{1,2}

(¹ Key Laboratory of Agricultural Information Technology of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; ² College of Computer and Information, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; ³ College of Software, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; *Corresponding author: nc_yhy@163.com)

Abstract: Plant visualization, also known as “virtual plant”, refers to the reappearance of plants in three-dimensional space through virtual technology on computer equipment. The bending model of rice leaf in three-dimensional space of rice leaves were established based on plant visualization. The Bezier curve was used to realize the visualization of the edge curve and the midrib curve of rice leaves, according to the three-dimensional morphological characteristics of rice, and using VC++ combined with OpenGL technology. Finally, the triangular meshing model of rice leaf on the two-dimensional plane and the bending model in three-dimensional space were realized. In this model, the degree of curvature of rice leaves was related to the position of the intermediate locus of the Bezier curve.

Key words: rice leaf; Bezier curve; visualization; 3D modeling

(上接第 59 页)

Research on Harvest Index and Assumptions of Super High Yield Breeding of Plateau *Japonica* Rice

CHUAN Xinkuan, LI Guosheng, WANG Suo, WANG Jinyan, KANG Hongcan, YANG Chuanjie

(Baoshan Agricultural Science Research Institute, Baoshan, Yunnan 678000, China; 1st author: bscxk@163.com)

Abstract: The study chose eight representative varieties of plateau *japonica* rice and conducted randomized block design to compare the differences in harvest index, yield as well as other main characteristics and analyze their correlations. The results showed that the harvest index of different varieties ranged from 0.499 to 0.545, and there were significant differences in different varieties. The harvest index was positively correlated with yield, 1 000 grain weight, seed setting rate, effective panicles, maximum tiller number and panicle length, but not significant; it was significantly negatively correlated with the plant height, negatively correlated with the total grains per panicle, filled grains per panicle, grain density, but the correlation was not significant. So as to carry out the study of super high yield breeding for plateau *japonica* rice.

Key words: plateau *japonica* rice; harvest index; high yield breeding