

烟草花几何建模研究*

王芸芸¹ 温维亮¹ 郭新宇¹ 赵国辉² 陆声链¹ 肖伯祥¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心农业部农业信息技术重点开放实验室, 北京 100097;
2. 大连理工大学数学科学学院, 大连 116024)

【摘要】 为实现花冠联合植物的花朵几何建模,以烟草花为例,提出了一种基于球 B 样条曲线和参数曲面的花朵造型方法。通过对烟草花形态结构的观测分析,分别对雌蕊、雄蕊、花柄、花冠和花萼的几何形状进行了数学描述,提取了模型控制参数;结合颜色渲染色和整个花的拓扑信息,实现了烟草花整个模型的建立。实验结果表明,该方法可以有效地对烟草花进行模拟,可控性强,建立的模型有较高真实感,为其他花冠或花萼联合的植物几何建模提供了方法。

关键词: 烟草花 几何建模 球 B 样条 参数曲面
中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0163-05

Geometric Modeling of Tobacco Flower

Wang Yunyun¹ Wen Weiliang¹ Guo Xinyu¹ Zhao Guohui² Lu Shenglian¹ Xiao Boxiang¹

(1. Key Laboratory for Information Technology in Agriculture, Ministry of Agriculture, National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China
2. School of Mathematical Sciences, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract

In order to realize the geometric modeling of plant flowers of crown united, taking tobacco flower as an example, a flower modeling method based on ball B-spline curve and parametric surface was proposed. Morphological characters were analyzed. Firstly, 3-D shape of each parts with mathematics were described and the control parameters were get. And then, visualization of them with relative color and topology information were realized. The results showed that proposed method could effectively simulate tobacco flower with good controllability. The models showed more reality, which provided a new technique for explicit modeling of other similar flowers.

Key words Tobacco flower, Geometric modeling, Ball B-spline curve, Parametric surface

引言

花朵建模是虚拟植物工作的重要组成部分,由于花朵形态多样、花开规律复杂,使其成为一项极具挑战的工作。目前国内外花朵建模方法主要包括 L 系统、参数化方法、变形方法、草图技术等。作为植物形态模拟的一般框架,Prusinkiewicz^[1]等提出的 L 系统对花朵形态结构和生长规律进行了描述。Peiyu^[2]与廖桂平^[3]等将其与 Bezier 曲面结合分别

对苹果花、甘蓝型油菜花朵进行模拟,生成有一定真实感的模型。参数化方法中,苏红波^[4]等用 B 样条曲线构造了苹果花各部分的骨架,借助参数曲面和细分方法对各部分进行几何建模,真实感较强。陆玲^[5-6]等提出的变形方法,将基本规则形状变形生成花朵各部分几何模型,方法简便。近年来,草图技术作为一种快速建模方法成为研究热点。Ijiri^[7-8]等运用交互式的手势和草图界面分别对花朵的结构和几何模型进行编辑,实现了多种花朵模型的建立。

收稿日期: 2010-07-09 修回日期: 2010-09-09
* 国家自然科学基金资助项目(30700493)和北京市自然科学基金资助项目(4081001)
作者简介: 王芸芸,硕士生,主要从事计算数学图形图像处理研究,E-mail: wyy.9.27@163.com
通讯作者: 郭新宇,研究员,主要从事数字植物理论技术研究,E-mail: guoxy@nrcita.org.cn

Zhan^[9]等在其基础上添加了融合算法对花朵各部分进行拼接,生成单一无缝网格。宋成芳^[10]等基于草图方法构建了百合、荷花成花的完整模型。由于操作简便、快速等优点,草图方法在游戏动画、装饰设计方面有广阔的应用前景,但其在表现部分细节方面还需进一步加强。

以上方法除侧重点不同,大多还只针对离瓣花冠花朵的几何建模,对于花冠联合的花朵,如牵牛花、烟草花等并未涉及。为实现这类花朵的几何造型,本文以烟草花为例,对其几何造型开展研究,通过分析其形态结构,提出一种基于球 B 样条曲线与参数曲面的几何建模方法。

1 烟草花的形态结构

烟草花由花冠、花萼、花柄、雄蕊和雌蕊 5 部分组成^[11],如图 1 所示。其中烟草花的花冠长大,呈管状,上部五裂,包括花冠裂片、花筒。花萼绿色呈钟形,由 5 个萼片愈合而成。花柄两端分别与萼片基部、茎相连。雄蕊 5 枚,基部着生在管状花冠的内壁上,包括花药、花丝。雌蕊 1 枚,包括柱头、花柱、子房。花的颜色是识别品种的特征之一。普通烟草花冠红色或基部淡黄色,上部粉红色。

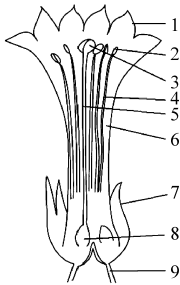


图 1 烟草花朵结构
Fig. 1 Structure of tobacco flower

- 1. 花冠裂片 2. 花药 3. 柱头
- 4. 花丝 5. 花柱 6. 花筒
- 7. 花萼 8. 子房 9. 花柄

2 烟草花的几何建模

根据烟草花的主要三维形态特征,分别对雌蕊、雄蕊、花柄、花冠、花萼进行几何建模。由于雌蕊、雄蕊、花柄同为细长柱体,花冠、花萼同由裂片愈合而成,因此按照建模方法将以上 5 部分分为两类:第 1 类为雌蕊、雄蕊与花柄,用球 B 样条曲线表示;第 2 类为花冠与花萼,用参数曲面表示。建模过程中,取花柄与花萼相连的一端即花托为各部分的基点。

2.1 雌蕊、雄蕊与花柄的几何建模

观察烟草雌蕊、雄蕊与花柄,其结构主要由细长柱体和椭球体组成。将子房视为花柱较粗的一部分,因此该部分的几何建模可分为花柱、花丝、花柄的细长柱体建模与柱头、花药的椭球体建模两部分。

球 B 样条曲线^[12-13]是三维空间中基于骨架的表示管状实体的方法,适合于模拟植物枝干、根系、果实等体状结构,因此本文采用球 B 样条曲线对花

柱、花丝和花柄进行几何建模。

设 $N_{i,p}(t)$ 是 p 次以 $[u_0, u_1, \dots, u_m] = \{a, \dots, a, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, b, \dots, b\}$ 为节点矢量的 B 样条基函数, $\langle P_i; r_i \rangle$ 是以 P_i 为中心以 r_i 半径的控制球。则球 B 样条曲线定义为

$$\begin{aligned} \langle B \rangle(t) &= \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) \langle P_i; r_i \rangle = \\ &\langle \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) P_i; \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) r_i \rangle \quad (t \in [0, 1]) \end{aligned}$$

定义中,控制球中心 P_i 与半径 r_i 分别控制生成实体模型的骨架 $c(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) P_i$ 与对应半径标量 $r(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) r_i$,即间接控制了模型的三维姿态与粗细变化。因此,在样条基函数确定后,用球 B 样条曲线生成模型时,只需输入适当的控制球数据即可。

花柱、花丝与花柄模型的控制球数据可通过图像来获取。以花柱为例,为使模型有更强真实感,根据花柱粗细变化与弯曲程度,获取图像特征点(上下端点、曲率或半径变化较大的点等)。图 2a 从上而下依次选取了 7 个点:柱头处 1 个、花丝处 3 个、子房处 3 个;然后按以下规则确定控制中心的三维坐标与半径。

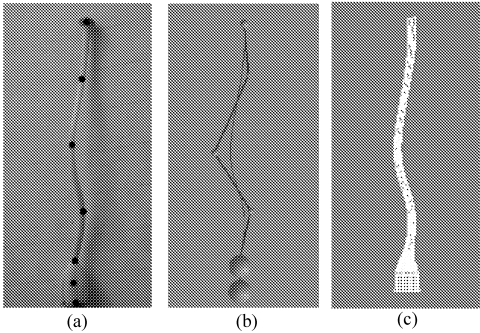


图 2 花柱的生成

Fig. 2 Generation of the style

- (a) 花柱控制球选取 (b) 调整后的控制球与模型骨架
- (c) 生成的网格模型

(1) 将特征点转换为控制中心。将图像坐标与空间三维坐标对应: x 轴——空间 X 轴, y 轴——空间 Z 轴,若其中一特征点 Q 坐标为 (x, y) 则对应的三维坐标即为 $P(x, 0, y)$, P 点即控制中心。

(2) 控制球半径的确定。对应特征点处实体宽度的 1/2 为相应控制球半径。

将获取的控制球信息依次输入公式便能生成花柱模型。得到该模型后,若其效果不理想,可参考图像,对控制球位置进行适当调整,使调整后的模型达到骨架形态与实际保持一致的目的。图 2b 对中间

控制球进行了位置移动,使得控制多边形的中间波动幅度变大,最终生成的模型如图 2c 所示。

得到了花柱、花丝与花柄的几何模型后,柱头、花药用球体表示即可。其中柱头用两个相交的圆球表示,其半径等于顶端控制球的半径。花药用两个椭球体表示,通过放缩花药顶端控制球得到。在上述几何建模过程中,控制点的位置及控制球半径的大小都可进行交互设置。

2.2 花冠几何建模

为了使建立的模型既能很好地反映花冠的外形特征,又具有良好的可控性,采用参数曲面的方法,分别构造外围轮廓线及对应的轨迹线形成整个花冠模型。

2.2.1 花冠外围轮廓曲线的构造

由于开花过程中,烟草花冠形状不断改变,其外围轮廓线也动态变化,考虑到可控性的需要,基于烟草花冠的外部特征,用样条曲线进行拟合。鉴于 3 次 B 样条良好的逼近性质,花冠外围轮廓线用 3 次 B 样条曲线表示,定义为

$$C_1(u) = \sum_{i=0}^m N_{i,3}(u)Q_i \quad (u \in [0,1]) \quad (1)$$

式中 Q_i ——控制点

$N_{i,3}(u)$ ——3 次 B 样条基函数

轮廓线控制点的选取与花柱类似,针对某一花开状态的图像,提取其二维特征点作为轮廓线控制点。为计算方便,设定样条曲线在 XOZ 平面内, P_i 的 Y 坐标设为 0。轮廓线控制点的位置可以交互设置,通过对控制点位置适当调整可以方便模拟出开花过程中轮廓线的不同形态。花盛开时的轮廓线如图 3a 所示。

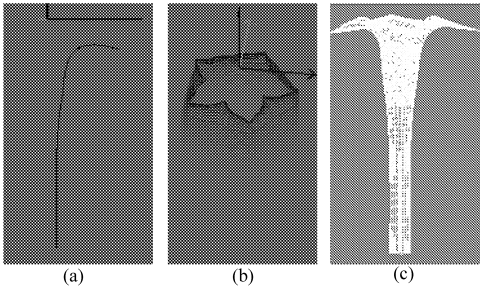


图 3 花冠的生成

Fig.3 Generation of crown

(a) 花冠轮廓线与控制点 (b) 花冠轨迹线
(c) 生成的花冠网格模型

2.2.2 花冠轨迹曲线的构造

相对于轮廓线,在三维空间中,花冠轨迹线是一组垂直于 Z 方向的空间曲线,由花冠顶端轨迹逐渐过渡到单位圆,并与轮廓线 $C_1(u)$ 上的点相对应。设 $P_k = C_1(u_k)$ 为轮廓线上的一点, $C'(\theta)$ 、 $C''(\theta)$ 分

别为顶端轨迹与单位圆,则其对应轨迹线

$$C(\theta,k) = \alpha_k C'(\theta) + (1 - \alpha_k) C''(\theta) \quad (2)$$

其中插值函数 $\alpha(x)$ 用指数函数 $e^{-\sigma x}$ ($\sigma > 0$, 为常数, $x \in [0, \infty)$) 表示,因此 $\alpha_k = \alpha(k) = e^{-\sigma k}$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), σ 为参数,控制过渡过程的快慢。 σ 越大,顶端轨迹以越快的速度趋于单位圆。

花冠顶端轨迹由顶端形状决定。为详细描述花开过程中花冠顶端从未开裂到最终展成平面的过程,顶端轨迹 $C'(\theta)$ 用参数曲线表示为

$$\begin{cases} x = R(\theta; c_1, c_2) \cos \theta \\ y = R(\theta; c_1, c_2) \sin \theta \\ z = H(\theta; c_3, c_4) h_0 \end{cases}$$

($\theta \in [0, 2\pi]$; $c_i \geq 0$ ($i = 1, 2, 3, 4$); $c_1 + c_2 \leq 1$)

式中, h_0 是顶端高度值即 Z 坐标, R 、 H 是极坐标下的参数函数,分别控制顶端轨迹 Z 方向的投影与波动幅度。

$$R(\theta; c_1, c_2) = c_1 + c_2 |\cos(5\theta/2)|$$
$$H(\theta; c_3, c_4) = \frac{c_3 + e^{c_4(|\cos(5\theta/2)| - 1)}}{1 + c_3}$$

R 可以为分段函数,在 R 中, c_2/c_1 值越大,顶端轨迹越细长,裂片越明显,反之,轨迹越趋于圆(图 4a); 在 H 中, c_4/c_3 值越大,顶端轨迹波动幅度越明显,反之,波动幅度越平缓并趋于平面(图 4b)。由此可见, c_i 为顶端轨迹的形状控制参数。通过调节 c_i 的值可以生成不同形状的顶端轨迹。

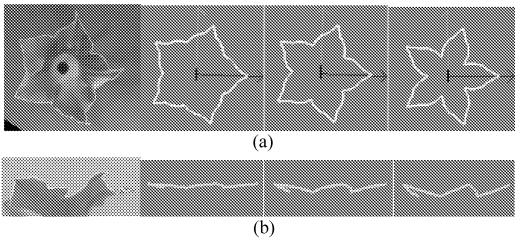


图 4 参数 c_i 对顶端轨迹的影响

Fig.4 Effects of parameter c_i to top trajectory

(a) 从左到右 c_2/c_1 依次增大 (b) 从左到右 c_4/c_3 依次增大

顶端轨迹与插值函数确定后,利用式(2)便能生成花冠轨迹线,对应轮廓线点的从上而下,由顶端轨迹逐渐过渡到单位圆(图 3b)。

2.2.3 花冠曲面的生成

将轮廓线的每一点沿对应轨迹曲线移动形成的曲面即为整个花冠曲面。具体生成算法如下:

输入:Margin 为轮廓线, c_i 与 σ 为轨迹线控制参数,
 Δh 为微调常数
输出:Surf 为花冠曲面
局部变量:m、n 为曲面纵横分段数
Begin
For i = 0 to m - 1 Do

```
r = fabs( Margin[ i ].GetX() );
a = exp( σ * i );
For j = 0 to n - 1 Do
    b = fabs( cos( 5 * PI * j / n ) );
    IF b = 1.0
        R = 1.0;
    Else
        R = c1 + c2 * b
    H = ( c3 + exp( c4 * ( b - 1 ) ) ) / ( 1 + c3 );
    r_1 = R * a + ( 1 - a );
    h_1 = H * a + ( 1 - a );
    Surf[ i ][ j ].SetX( r * r_1 * cos( j * 2 * PI / n ) );
    Surf[ i ][ j ].SetY( r * r_1 * sin( j * 2 * PI / n ) );
    Surf[ i ][ j ].SetZ( ( Margin[ i ].GetZ() + Δh ) * h_1 - Δh );
End for
End for
End
```

输入具体参数值,便能获得不同开放状态的花冠曲面模型。图 3c 展示花盛开时的花冠几何模型。

2.3 花萼的几何建模

烟草花萼形态结构与花冠相似,同样采用类似花冠的方法进行构造。与花冠不同,花萼模型的轨迹线中 $R = 1.0$,即只有 3 个控制参数: c_3 、 c_4 、 σ 。

图 5 中花萼模型参数分别为 $c_3 = 1.5$ 、 $c_4 = 1.0$ 、 $\sigma = 0.2$,在曲面生成算法中的微调常数 $\Delta h = 1.0$ 。

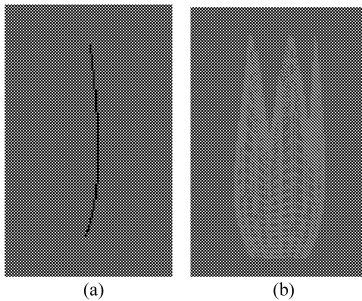


图 5 花萼模型的生成

Fig. 5 Generation of the calyx

(a) 花萼的轮廓线与控制点 (b) 生成的花萼网格模型

3 烟草花模型渲染与合成

为了实现模型可视化,需要对烟草花各个部分进行真实感绘制。其中,雌蕊的花柱、雄蕊的花丝、花冠、花萼的上下部分颜色变化明显,采用上、下两端的颜色插值方法进行渲染。

设模型上、下两端的颜色分别为 C_T 、 C_B ,以多边形为渲染单元,经实验发现,采用指数函数作为权函数较适合描述烟草各器官颜色的过渡,由此得到第

k 段单元的颜色为

$$C(k) = C_T e^{-ck} + C_B (1 - e^{-ck}) \quad (k = 0, 1, \dots, n)$$

式中 n 为网格纵向分段数, $c > 0$ 为常数,改变 c 可控制各器官颜色过渡的快慢。其他部分,如柱头、花药、花托分别用单色渲染。各部分渲染结果如图 6 所示。

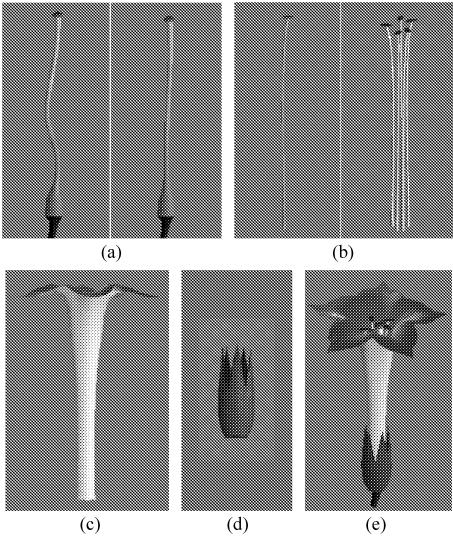


图 6 各部分渲染结果与合成模型

Fig. 6 Rendering results of each parts and the complete model

(a) 雌蕊与花柄 (b) 雄蕊 (c) 花冠 (d) 花萼 (e) 合成模型

最后,根据烟草花拓扑结构合成完整花朵模型。由于以上各器官间都是独立建模、独立渲染,且各器官不存在交叉,通过分析烟草花的形态,构建极坐标系下的花朵拓扑结构模型如图 7 所示。在花托(图中没有显示)上,各部分由里向外依次为雌蕊、雄蕊、花冠、花萼。实线与实体表示单个完整器官模型。虚线处的某一器官的位置坐标由相应半径和角度决定。图中雄蕊的位置坐标为 $(r \cos \theta, r \sin \theta)$ 。

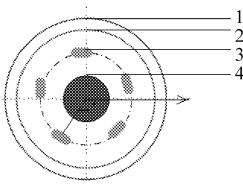


图 7 烟草花拓扑结构模型

Fig. 7 Topological structure model of tobacco flower

1. 花萼 2. 花冠 3. 雄蕊 4. 雌蕊

根据各部分在拓扑结构中的位置信息,拼接合成完整烟草花模型如图 6e 所示。

4 实验结果

烟草从现蕾到凋谢可以分为现蕾、含蕾、花始开、花盛开、凋谢 5 个阶段。在不同阶段,烟草花朵形态各不相同。为了证明方法的有效性,文中对烟草花含蕾、花始开、花盛开过程中的 4 个状态进行了模拟。通过调整花朵各部分的控制点、控制参数、颜色,获得了各状态的模型如图 8b、8d 所示。与实际

花朵(图 8a、8c)相比,该方法建立的模型在视觉方面能很好地模拟前者,真实感较强。实验表明,该方

法能有效模拟烟草花部分的形态与颜色变化,为烟草花开动画的模拟提供了可行性。

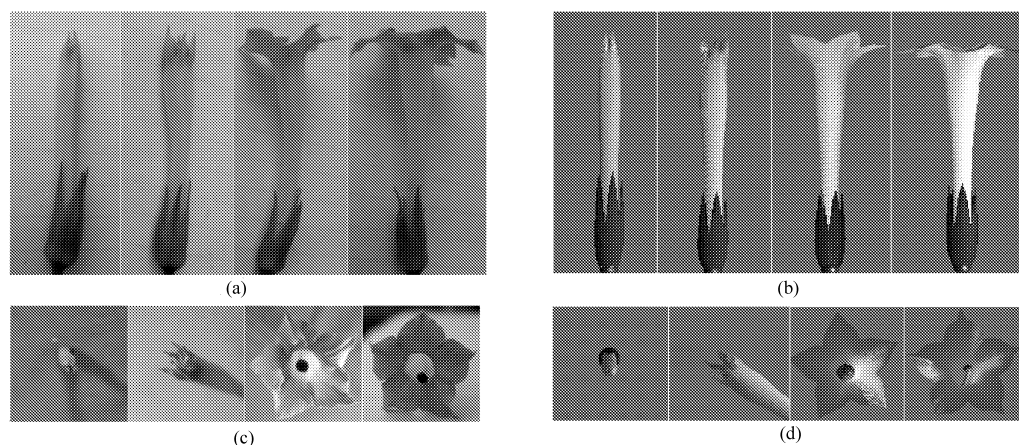


图 8 实验结果

Fig. 8 Experiment results

(a) 真实花朵正视图 (b) 花朵模型正视图 (c) 真实花朵俯视图 (d) 花朵模型俯视图

5 结束语

提出了一种基于球 B 样条曲线与参数曲面的烟草花朵建模方法。该方法用球 B 样条曲线表示雌蕊、雄蕊,通过调节控制球位置获得模型的变形;用参数曲面的生成方法,通过构造轮廓线与轨迹线,

生成了无缝光滑的花瓣与花萼模型,并可以通过调节控制点、控制球及相应的参数改变花朵对应部分的形态。通过实验可以看出,该方法能较好地模拟烟草花整体的形态与颜色变化。由于烟草属于茄科植物,也为其他茄科植物的花朵建模提供了新的方法。

参 考 文 献

- 1 Przemyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer. The algorithmic beauty of plants[M]. New York: Springer-Verleg, 1991.
- 2 Qin Peiyu, Chen Chuanbo. Simulation model of flower using the integration of L-systems with Bezier surfaces[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2006, 6(2A): 65 ~ 68.
- 3 廖桂平,李锦卫,欧中斌,等. 基于参数 L-系统的油菜花朵与花序生长可视化研究[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 150 ~ 155.
Liao Guiping, Li Jinwei, Ou Zhongbin, et al. Visual growth of flower and inflorescence of rapeseed (*Brassica napus* L.) based on parametric L-system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(4): 150 ~ 155. (in Chinese)
- 4 苏红波,郭新宇,陆声链,等. 苹果花序几何造型及可视化研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 272 ~ 276.
Su Hongbo, Guo Xinyu, Lu Shenglian, et al. Geometry modeling and visualization of the apple inflorescence[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(2): 272 ~ 276. (in Chinese)
- 5 陆玲,王蕾,杨勇,等. 基于平面变形的植物花瓣可视化造型[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 87 ~ 91.
Lu Ling, Wang Lei, Yang Yong, et al. Visualization modeling on plant petal based on plane deformation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 87 ~ 91. (in Chinese)
- 6 陆玲,杨学东,王蕾. 半透明植物花朵可视化造型研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 173 ~ 176.
Lu Ling, Yang Xuedong, Wang Lei. Research on visualization model for translucent flower[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3): 173 ~ 176. (in Chinese)
- 7 Takashi Ijiri, Shigeru Owada, Makoto Okabe, et al. Floral diagrams and inflorescences: interactive flower modeling using botanical structural constraint[J] // ACH Transactions on Graphics-Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, 2005, 24(3): 720 ~ 726.
- 8 Takashi Ijiri, Shigeru Owada, Takeo Igarashi. Seamless integration of initial sketching and subsequent detail editing in flower modeling[J]. Computer Graphics Forum-EUROGRAPHICS 2006 Proceedings, 2006, 25(3): 617 ~ 624.
- 9 Ding Zhan, Xu Shuchang, Ye Xiuzi, et al. Flower solid modeling based on sketches[J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2008, 9(4): 481 ~ 488.

- 8 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- 9 Dorigo M, Maniezzo V, Colorni A. Antsystem; optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 1996, 26(1): 29 ~ 41.
- 10 詹士昌,徐婕,吴俊. 蚁群算法中有关算法参数的最优选择[J]. 科技通报, 2003, 19(5): 381 ~ 386.
Zhan Shichang, Xu Jie, Wu Jun. The optimal selection on the parameters of the ant colony algorithm[J]. Bulletin of Science and Technology, 2003, 19(5): 381 ~ 386. (in Chinese)
- 11 杨檬,宋建社,曹继平,等. 蚁群优化算法应用研究概述[J]. 计算机仿真, 2009, 26(6): 200 ~ 203.
Yang Meng, Song Jianshe, Cao Jiping, et al. A survey of modeling, algorithms and applications of ant colony optimization [J]. Computer Simulation, 2009, 26(6): 200 ~ 203. (in Chinese)
- 12 Dorigo M, Maniezzo V, Colorni A. Ant system optimization by ant colonies cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 1996, 26(1): 29 ~ 41.
- 13 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于自动视觉检测的棉花异性纤维分类系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 177 ~ 181.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. AVI system for classification of foreign fibers in cotton[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 177 ~ 181. (in Chinese)
- 14 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于改进遗传算法的棉花异性纤维目标特征选择[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 173 ~ 178.
Yan Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Feature selection for cotton foreign fiber objects based on improved genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 173 ~ 178. (in Chinese)
- 15 Bonabeau E, Dorigo M, Theraulaz G. Inspiration for optimization from social insect behavior[J]. Nature, 2000, 406(6): 39 ~ 42.
- 16 孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002.

(上接第 167 页)

- 10 宋成芳,彭群生,丁子昂,等. 基于草图的花开建模与动画[J]. 软件学报, 2007, 18(增刊1): 45 ~ 53.
Song Chengfang, Peng Qunsheng, Ding Ziang, et al. Sketch -based modeling and animation of floral blossom[J]. Journal of Software, 2007, 18(Supp.1): 45 ~ 53. (in Chinese)
- 11 郭月清. 烤烟栽培技术[M]. 北京:金盾出版社,1992.
- 12 Wu Zhongke, Zhou Mingquan, Wang Xingce. Interactive modeling of 3D tree with ball B-spline curves [J]. The International Journal of Virtual Reality, 2009, 8(2): 101 ~ 107.
- 13 Wu Zhongke, Seah Hock Soon, Zhou Mingquan. Skeleton based parametric solid models: ball B-spline curves [C] // Proceedings of 10th IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2007: 421 ~ 424.