

基于信息融合的植物生长数字化构建研究^{*}

唐卫东¹, 刘昌鑫¹, 李萍萍², 卢章平³, 朱平¹

(1. 井冈山大学 信息科学与传媒学院, 江西 吉安 343009; 2. 江苏大学 现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013; 3. 江苏大学 图形技术研究所, 江苏 镇江 212013)

摘要: 植物生长数字化是利用虚拟植物技术实现植物生长动态模拟的重要基础。通过实验观测提取特征信息,对植物生长信息与环境信息进行有机融合。依据植株拓扑变化规则及器官形态变化,建立植物形态发生模型。在植物生长信息重构基础上,提出植物生长数字化构建技术,即通过模型变换并基于信息融合将植物生长信息转换为直观的数字化信息。通过实例验证,表明该方法能有效地模拟植物在不同外部环境作用下的动态生长。

关键词: 信息融合; 植物生长; 数字化

中图分类号: S126; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)01-0174-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.01.052

Study on digital construction of plant growth based on information fusion

TANG Wei-dong¹, LIU Chang-xin¹, LI Ping-ping², LU Zhang-ping³, ZHU ping¹

(1. School of Information & Multi-media Science, Jingtangshan University, Ji'an Jiangxi 343009, China; 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment & Technology for Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China; 3. Institute of Graphics Technology, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: It is important basis for digital plant growth to dynamically simulate the development process of plant using virtual plant technology. The features could be extracted from the experimental results, then the plant growth information and environmental information could be fused. According to the topological rule of plant and morphological change of organs, the morphological models of plant could be built up. It proposed the digital construction technology of plant growth based on information reconstruction of plant growth, which could change plant growth information to visual digital information based on information fusion with series of models translation. The experiments demonstrate that the presented method is effective in dynamically simulating the plant development under the interaction with the environment.

Key words: information fusion; plant growth; digital

0 引言

随着数字农业水平的不断提高,现有植物生长模型已难以满足现代农业发展的需求,而作为数字农业核心部分的虚拟植物,则逐渐受到国内外相关学者的关注。虚拟植物技术是将植物生长信息进行重构以便实现植物生长的计算机模拟,是近年来随着信息技术和计算机水平不断提高而迅速发展新领域。有关如何构建反映植物学规律的植物生长数字化模型,则是虚拟植物研究领域的前沿课题^[1-3]。国内外学者提出了一些构建植物数字化模型的方法,如 L 系统及其扩展理论、函数迭代系统、A-系统、参考轴技术、双尺度自动机、结构功能模型等^[1,4-6]。上述方法虽然能模拟植物的外观形态变化,但因简化建模过程而经常忽略植物受外部环境的影响,从而无法真实模拟植物生长发育过程。而且,植物生长不仅是一个系统变化过程,还是一个不断进行信息融合的过程,如植物形态结构信息与生态生理信息。为此,本文通过提取试验观测数据并在信

息融合基础上,依据植株拓扑及器官形态变化,提出一种反映植物学规律的植物生长数字化构建方法以模拟植物真实生长过程,从而为现代农业生产与管理提供决策和理论依据。

1 数据处理与信息融合

1.1 信息采集与特征提取

通常,与植物生长相关的信息主要是生物信息和环境信息。生物信息主要包括植物的生理状态(蒸腾速率、光合作用速率等)、器官生长量(茎粗、株高等)等。其中光合作用速率、蒸腾速率等信息由光合测定仪获得,茎粗等信息可由植物生理生态仪采集获得,株高则可采用位移传感器采集获得。环境信息主要由植物生长的温度、湿度、光照等构成,这可根据当地气象数据并通过信息测定传感器获得。

采集的原始信息由于数据粗糙或信息之间缺乏内在关系而无法反映植物生长机理,为此,需要对原始数据进行处理以便为植株生长的计算机动态模拟奠定基础。处理过程主要包括:

收稿日期: 2009-04-05; **修回日期:** 2009-05-14 **基金项目:** 江西省教育厅 2009 年度青年科学基金资助项目(GJJ09591);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060299003);2008 年度江西省教育厅科技计划资助项目(GJJ08417)

作者简介: 唐卫东(1974-),男,江西吉安人,副教授,博士,主要研究方向为虚拟植物技术、信息可视化、计算机图形学、温室环境控制等(metwd@163.com);刘昌鑫(1963-),男,教授,主要研究方向为信息可视化;李萍萍(1956-),女,教授,博导,主要研究方向为现代设施农业、温室控制与管理等;卢章平(1958-),男,教授,博导,主要研究方向为计算机图形学等;朱平(1955-),男,教授,主要研究方向为计算机图形学。

a)应用数据挖掘方法对试验观测数据进行分析 and 预处理,通过植物生长的定量化处理,提取反映植物不同生长阶段的特征信息,如植株拓扑结构与器官形态信息。

b)采用遗传算法对这些特征信息进行筛选和优化组合,去掉次要的和重复的信息,由此获得植物不同生长阶段的形态参数与生理生态参数。

c)根据不同参数类型采用合适的数据结构有序地组织这些信息,在此基础上建立植物生长参数库,为构建植物生长数字化模型奠定基础。

1.2 信息融合

除了植物与外部环境之间的相互作用,植物在其生长过程中发生的拓扑结构、器官形态及生理生态变化也是同时进行并相互影响。为了获得与植物生长相关的系统信息,将植物生长信息及环境信息进行有机融合。图 1 所示为各类信息处理与特征提取及其融合过程,由此通过信息融合获得植物数字化基本信息。

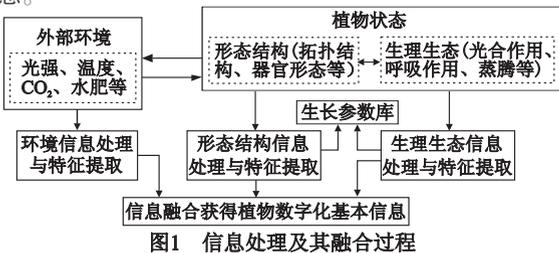


图1 信息处理及其融合过程

由于植物生长与外部环境之间的信息交互具有明显的时空性,为此,采用模糊理论或神经网络方法进行信息融合,将按时序获得的实验观测信息依据一定准则进行分析综合以供调用,同时利用模型库(如植物生长模型、产量模型)、数据库(如植物生长参数库)和专家库(如专家经验知识)等基本信息库为融合基础进行特征信息的关联和评判,从而为有效构建植物形态发生模型与数字化模型奠定基础。

2 植物形态发生模型

2.1 植株拓扑变化

通常,植株拓扑结构随植物类型及其生育阶段而变化。为了掌握植株拓扑变化规律,除了确定植物类型,还需构建反映不同生长阶段特性的植株拓扑变化规则。如图 2 所示,分别为单轴分枝和合轴分枝类型植物的拓扑变化过程。

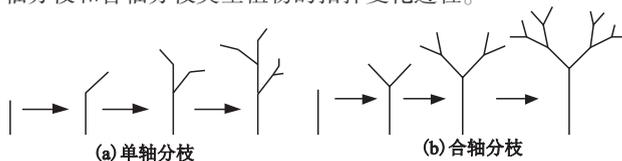


图2 植株拓扑变化过程

植株拓扑变化通常采用 L 系统(L-system)或其扩展形式进行描述^[7],而为了反映植物生长过程与外部环境因子的作用关系,可以采用开放式 L 系统(open-L system)建立植物生长模型。在开放式 L 系统中,可以根据植物的形态及生理特性建立相应的生长模型,从而生成不同的植株形态结构。以下是一个由开放式 L 系统生成的简单模型,模型中常用字符(如 +、-、[,]、? 等)的含义请参阅文献[4,6,7]:

$$\omega: A(2,8);$$

$$p_1: A(l, \omega) : \omega < 15 \rightarrow F(l) [+ A(l, \omega + 1)] [- A(l, \omega + 1)] B(h,$$

$$j) ? E(r);$$

$$p_2: B(h, j) > ? E(r) : r < 8 \rightarrow C;$$

$$p_3: ? E(r) \rightarrow \varepsilon;$$

$$p_4: C > \varepsilon \rightarrow 0;$$

上述模型描述了植物生长及其与外部环境的信息交互动态过程:植物生长从顶芽 A 开始,在限定的生理年龄以内,长出节间 F、新的顶芽 A 和侧枝 B(产生式 p_1);当 B 在分生较快的顶芽组织作用下,而外部环境 $E(r)$ 又无法满足其生长条件时,则会出现生长停滞和变老(产生式 p_2); p_3 表示植物生长与外部环境之间信息交互中断; p_4 表示植物器官的死亡。模型中的参数 l, ω, h, j 分别表示各器官在生长过程中的变化特性,参数 r 用来传递植物生长与外部环境之间的有关数据信息。

2.2 器官形态变化

器官形态不仅因植物类型及器官类型而异,还与器官所处的生育阶段有关,且器官形态通常可以采用与其形体相关的几何形态参数(本文也称为参变量)进行描述。不妨以椭圆形叶片为例说明器官形态变化过程,假定该类型叶片完全展开,且其参变量主要由沿叶脉方向的长半轴 a 、沿叶宽方向的短半轴 b 及叶片厚度 h (通常假定不变)等构成,如图 3 所示。

根据实验所得到的各参变量观测值,以气象因子 t 为自变量构建各参变量函数,即

$$a = f(t) \tag{1}$$

$$b = g(t) \tag{2}$$

通过实验观测提取反映植物不同生长阶段的特征信息,如各参变量随外部环境作用的变化因子,利用该特征信息可以动态调节叶片形态变化过程,如图 4 所示。

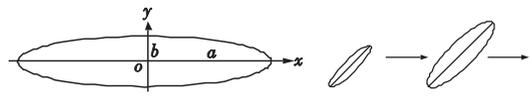


图3 叶片的几何形态参数描述 图4 叶片形态变化过程示意图

采用类似方法可获得其他类型器官的形态参数及其变化过程,在此不再赘述。由于植株同类器官形态具有相似性,各器官形态又可由其形体参变量表示,为此,各器官形态变化可通过相应形体参变量的变化来描述。于是,根据不同生育阶段植物生长特性,通过定期试验观测得到植物形态结构与生理生态作用关系,确立植物的拓扑变化规则,利用所建立的反映不同生长阶段植株拓扑结构及器官形态变化的生长参数库,对各主要器官在不同生育阶段的形态变化进行定量化处理,再依据植株拓扑变化规则构造植物的形态发生模型。

3 植物生长数字化构建

3.1 信息重构

为了实现植物生长的计算机模拟,需在信息融合基础上采用虚拟植物技术对植物生长信息进行重构,即对植物生长过程进行数字化表达,以将抽象的植物生长信息转换为直观的数字信息。而为了真实再现植物生长过程,依据虚拟植物模型构建理论,在生成植株形态结构时需要将包含植物生长机理的信息与植株拓扑信息及器官形态信息进行结合^[7,8]。为此,在计算机上模拟植株的形态结构变化时,需要按照植株的拓扑变化规则及各器官的形态变化规律重构相关生长信息。

为使重构信息既反映植物生长规律,又得以在计算机上再现,信息重构过程主要包括:

a)信息映射处理。依据植物形态发生模型,利用由试验观测及植物不同生育阶段特性所提取的植物生长参数库的形态信息,基于图形技术并根据植株结构和各器官形态将植株拓扑信息及器官形态信息映射处理为点、线、面等几何图形信息,再采用相关的数据结构组织与存储这些信息,以供调用。

b)信息归一化处理。对植株各器官在不同生长阶段的几何图形信息进行归一化处理,依据器官生长特性,基于 Nurbs 技术与器官图形化函数模块构建归一化的器官图形库。

由于植株在不同生长阶段器官形态变化的相似性,在对植株生长进行动态模拟时,通过调用归一化的器官图形库再采用平移、缩放、旋转等几何变换方法便可快速获取植物不同生长阶段的图形图像信息。如图 5 所示,为归一化的椭圆形叶片在植株不同生长阶段被调用前后的示意图。其他归一化的器官也可同时被调用,方法类似,在此不再赘述。

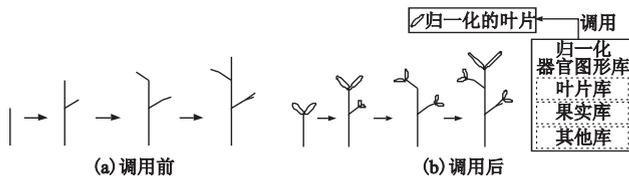


图5 植株调用归一化器官前后过程示意图

3.2 数字化构建技术

为了连续动态模拟植物生长过程,植物生长数字化模型的构建主要是生成植株形态的几何模型及其显示模型。为此,依据植物形态发生模型,在信息重构基础上,由植株拓扑变化规则并基于植物生长参数库与器官图形库,构建植株形态的几何模型;利用植物生长过程的连续性,结合器官纹理、阴影及光照模型构建植株拓扑结构与器官形态变化的显示模型。图 6 为植物生长数字化构建流程。

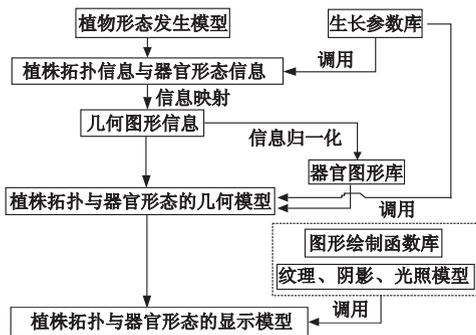


图6 植物生长数字化构建技术流程

4 验证与分析

采用 Visual C++ 为开发平台,结合开放式图形程序库 (OpenGL) 提供的核心函数库与实用库函数,开发了一个植物生长数字化原型系统。针对植物生长特点及外部环境因子的作用,本系统设计了一个基本属性对话框,由该对话框进行交互设计,修改植物各器官属性,如叶片类型、叶与茎的夹角、分枝方式等,外部环境相关变量则通过加载数据文件获得,如图 7 所示。

通过改变植物有关属性及外部环境条件后,得到如图 8 所示的系统模拟结果。根据图 8(a)的植株形态及器官变化逐渐出现枯萎现象,表明植物所处的环境不适宜其生长,只有获得适宜的环境条件才能使植物正常生长。如图 8(b)所示,植株形态及器官一直保持良好的生长趋势。



图7 植物形态及外部环境属性配置对话框

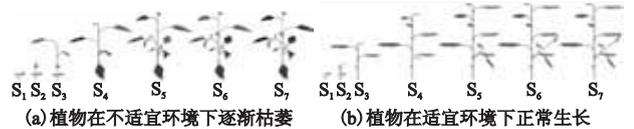


图8 植物生长数字化模拟结果

由以上植株生长过程不难发现,从植物的幼苗阶段(S_1)开始到其发育成熟阶段(S_7),若给定适合植物生长的光照、温度、水分及养分等条件,则在这些外部环境因子作用下,植物的形态结构(如主干、各分枝及叶片等)按照一定的规律发生变化。

5 结束语

通过实验观测数据的处理及信息融合,对植株拓扑变化规律及器官形态变化进行了分析,并构建出植物的形态发生模型,由此在信息重构基础上提出一种反映植物生长机理的植物生长数字化构建方法以模拟植物真实生长过程。经实例验证表明,本文建立的模型不仅在很大程度上反映了植物学规律,也为今后深入研究植物受各种环境因子的作用奠定理论基础。

鉴于植物类型和形态结构的复杂性,植物与外部环境之间的作用关系需要靠长期而大量的实验统计获得,如植物几何形态及生理生态特性随各环境因子(光照、温度、水分、养分等)的变化规律。因此,针对不同的具体植物,应用本文方法需要考虑到很多因素,这也是植物生长数字化构建中的难点,需要靠长期试验观测和工作积累才能逐步加以解决。

参考文献:

- [1] 胡包钢, 赵星, 严红平. 植物生长建模与可视化——回顾与展望[J]. 自动化学报, 2001, 27(6): 816-835.
- [2] GUO Yan, LI Bao-guo. New advances in virtual plant research[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(11): 888-894.
- [3] 唐卫东. 基于生长模型的虚拟植物技术研究——以北固山湿地优势植物芦苇为例[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
- [4] MITCH A, PRUSINKIEWICZ P, THEODORE D. Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees; the L-PEACH model[J]. New Phytologist, 2005, 166(3): 869-880.
- [5] FOURCAUD T, BLAISE F, LAC P, et al. Numerical modeling of shape regulation and growth stresses in trees PART II: implementation in the AMAPpara software and simulation of tree growth[J]. Trees Structure and Function, 2003, 17(1): 31-39.
- [6] PRUSINKIEWICZ P. Art and science for life: designing and growing virtual plants with L-systems[J]. Acta Horticulturae, 2004, 630: 15-28.
- [7] 唐卫东, 刘昌鑫, 李萍萍, 等. 基于 Open-L 系统及递归表示的虚拟植物模型[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 167-170.
- [8] 李萍萍, 唐卫东, 卢章平. 基于构造体系的植物生长定量化研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 126-130.