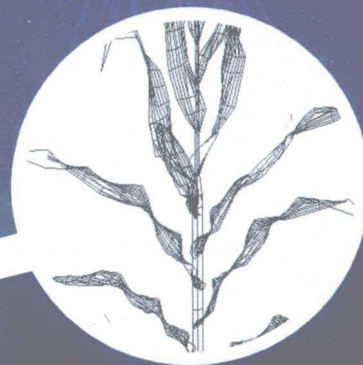
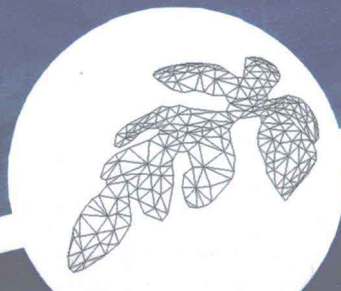
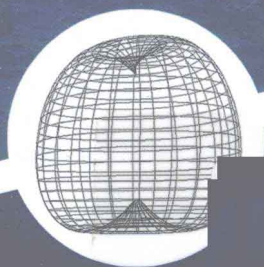




农林植物生长系统 虚拟设计与仿真

赵春江 郭新宇 陆声链 著



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书围绕构建数字植物理论技术体系开展了农林植物生长系统虚拟设计与仿真研究,主要包括植物形态结构数据的采集、植物形态几何建模和交互设计、三维植物模型的真实感绘制技术、植物生长过程的可视化仿真、基于物理的植物变形和运动模拟、日光温室和土壤结构三维设计与展示、植物系统虚拟场景绘制和实时漫游等内容。

本书内容翔实、案例具体、系统全面,具有较强的实用性和前瞻性,可作为农业信息技术方向的高年级本科生和研究生的参考用书,也可供从事本方向的科研和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

农林植物生长系统虚拟设计与仿真/赵春江,郭新宇,陆声链著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029226-1

I. 农… II. ①赵… ②郭… ③陆… III. 植物生长-计算机仿真-基本知识
IV. Q945.3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 199214 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 10 月第一次印刷 印张: 24 3/4 插页 12

印数: 1—3 200 字数: 565 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

数字植物是数字农(林)业的重要内容。开展数字植物研究,应用数字技术对农林植物及其生长环境进行三维形态的交互设计、几何重建和生长发育过程的可视化表达,进而形象生动地再现各种条件变化对农林植物生长发育过程和生产目标的影响,帮助人们进行三维可视交互分析、科学计算和预见性地决策,对农林生态系统调控、超高产作物株型设计、科学管理措施制定和农林科技教育培训等具有重要理论和实际价值。

数字植物是农(林)业信息学的重要研究方向。国际上从农林植物的细胞、组织、器官、个体、群体和生态系统等不同尺度开展了广泛研究,在理论方法体系、关键技术、专用设备和应用实践上取得了突破性进展。我国对数字植物的研究始于 20 世纪 90 年代,在农业信息化高速发展的大背景下,特别是随着现代信息手段的不断提升,数字植物的研究应用快速发展,在典型农林植物形态设计、高产株型分析等方面取得了一批重要成果。但我国数字植物的研究与国际同类研究相比还有一定差距,今后需要进一步加强数字植物的系统性、原创性和基础性研究,注意引进先进的研究方法和技术手段,不断提高科学研究水平;同时要努力提高研究成果的实用性,切实解决农林业发展中的实际问题。

国家农业信息化工程技术研究中心是国内较早开展数字植物技术研究的单位之一,组建了由农学、计算机图形图像和计算数学等专业人员组成的优秀科研团队,在国家自然科学基金项目、国家 863 计划项目、国家科技支撑计划项目等的支持下,开展了扎实、富有成效的工作。针对国内外数字植物研究现状和生产实际需求,设计了系统的研究方案,从基础研究做起,引入现代研究手段,经过十年的努力,在农林植物和环境三维形态建模、交互设计和可视化仿真技术方法方面取得了重要研究进展,研究成果达到了国际先进水平。《农林植物生长系统虚拟设计与仿真》就是作者从事数字植物研究所取得成果的系统总结。

《农林植物生长系统虚拟设计与仿真》具有较高的学术水平。该书提出了参数化植物器官建模方法,模型参数具有较明确的农学意义,可根据作物品种特征或生长模型生成;提出了基于品种遗传特征的植物三维形态交互式设计方法,为认知品种特性、进行株型育种和栽培提供了有效手段;通过引入基于物理的运动仿真技术,解决了植物萎蔫、向性运动的模拟问题。此外,该书还探索了土壤孔隙及土体结构三维建模方法等。

《农林植物生长系统虚拟设计与仿真》采用大量的第一手实验数据和研究结果,内容翔实、案例具体、系统全面,具有较强的实用性,对于从事数字植物和农林植物生长系统虚拟仿真研究的科技工作者具有较高的参考价值。

值此书出版之际,我愿推荐给广大读者,以促进我国数字植物研究的学术繁荣与发展。

中国工程院 院士
北京林业大学 教授



2010年10月10日

前 言

随着信息技术的迅速发展,信息科学与传统自然科学的交叉融合成为科技创新的有效途径。信息科学在传统学科的科学研究和科技成果应用,特别是在信息获取、存储、传输、处理、控制和实施等方面提供了强大的技术手段。生物信息学研究借助计算机强大的信息处理能力得到迅猛发展,从分子水平揭示生命本质即结构与功能的关系成为可能;地球空间科学和医学借助计算机仿真模拟技术,建立了“数字地球”和“数字人”科学研究理论体系和技术平台,成为解决本学科领域重大科学问题的有效工具。计算机虚拟设计和仿真技术在军事、建筑、工业等领域得到了广泛的应用,为作战指挥模拟、建筑物虚拟展示、车船驾驶训练、飞机等工业产品虚拟制造等提供了不可替代的技术手段。随着信息科学、生命科学与农业科学的进一步交叉融合,特别是三维数字化技术设备的发展,计算机虚拟设计和仿真技术在农业领域逐步得到应用,并成为研究农业重大科学问题的重要手段。

当前,我国农业正向信息化、数字化、精准化和智能化方向发展。农林植物作为农业生产的重要对象,需要人们更加深入地认知农林植物生命系统和农业生产系统的本质,而数字植物研究将深刻改变人们对农林植物生命系统和农业生产系统的传统认知方式。通过数字化技术,以交互式三维可视化方式研究分析农林植物的形态结构、生育过程和对环境措施的反应,对植物生命系统进行数字化表达、生长建模、过程模拟、可视化计算分析,对农林植物及其生长环境进行形态结构的三维虚拟设计与可视化仿真,实现对农林植物生命系统结构与功能的认知,揭示农林植物生命过程的本质特征。开展数字植物研究,突破核心关键技术,构建协同科学实验和成果共享平台,建立完善的数字植物技术体系具有重要的理论与实用价值。

农林植物的生命过程是通过系列复杂的生理过程实现的,而农林植物丰富多样的形态结构往往是植物复杂生理过程的外部表现。实现农林植物三维形态结构的精确描述、过程模拟、可视化表达、计算分析,以及对农林植物生长系统各要素的状态、发展演变过程进行定量计算、评价、模拟和预测,是数字植物研究的重要内容。围绕着农林植物的三维形态结构数据获取、几何建模、生长过程模拟以及运动仿真等,国内外研究者取得了一系列研究成果,已经开始为农业科学研究和生产服务,但与实际需要仍然存在较大的差距。数字植物是一个多学科交叉研究领域,加强植物学、生物力学、信息科学等多学科的交叉融合,促进不同专业领域研究人员的交流和合作,积极探索先进信息采集与处理软硬件技术在农业领域的应用,将有利于提高数字植物研究的系统性、科学性和实用性,是今后数字植物研究发展的趋势。

基于对以上问题的分析认识,本书作者于2001年开始着手组建一支由农学、计算数学、计算机图形学、机械设计等多学科交叉的数字植物研究团队,并将数字植物作为国家农业信息化工程技术研究中心的重要研究方向,采取理论方法研究、关键技术开发和实际应用三个环节相互衔接、逐步递进的技术路线,瞄准株型育种、高产栽培、农技推广、虚拟景观设计和动漫培训等重大应用需求,在国家自然科学基金、国家863计划、国家科技支撑计划、国家农业科技成果转化资金、北京市自然科学基金等项目的支持下,经过十年的研究探索,在农林植物和环境三维形态建模方法、交互式虚拟设计和可视化仿真技术研究、系统开发和推广应用实践等方面取得了重要研究进展。《农林植物生长系统虚拟设计与仿真》就是我们研究团队十年来研究成果的系统总结,从数字植物科学内涵、数据获取设备与方法、虚拟设计与仿真关键技术、软件工具与平台设计和应用开发五个方面进行了详细论述。

在我们团队开展数字植物的研究过程中,我们所指导的王功明、杨亮、魏伟、熊瑛、苗腾、王雪、钱婷婷、苏红波、刘畅、乔桂新、王芸芸、田原、青克乐、齐格和赵丽丽等多位研究生直接参与了部分研究工作,为本书提供了良好的基础素材;在本书的具体写作过程中,我们科研团队成员肖伯祥、温维亮、吴升、孟军等给予了大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。这里还要特别感谢科技部、国家自然科学基金委员会、北京市自然科学基金委员会、北京市财政局和北京市农林科学院在研究经费和科研条件方面的支持。特别感谢国家科学技术学术著作出版基金的资助,使本书得以出版。

数字植物是一个崭新的研究领域,目前还处于不断发展之中,《农林植物生长系统虚拟设计与仿真》只是数字植物研究的阶段性成果,仍有很多科学问题需要系统研究,而且研究数字植物的许多技术方法也还在不断完善发展之中。鉴于作者知识水平有限,书中内容和观点难免存在不妥之处,恳望广大读者批评指正。

作 者

2010年10月10日

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 虚拟现实与虚拟农业	1
1.1.1 虚拟现实及其发展历史	1
1.1.2 虚拟农业	2
1.2 数字植物及其科学内涵	4
1.2.1 数字植物提出的背景	4
1.2.2 数字植物的概念及内涵	5
1.2.3 数字植物的发展阶段	6
1.3 植物生长系统的虚拟设计与仿真	6
1.3.1 植物生长系统虚拟设计与仿真的内涵	6
1.3.2 植物生长系统虚拟设计与仿真的基本研究问题	7
1.3.3 植物生长系统虚拟设计与仿真的主要技术与方法	9
参考文献	19
第 2 章 植物形态结构数据的采集	22
2.1 基于图像的数据采集	22
2.1.1 植物三维形态结构数据采集	22
2.1.2 植物器官颜色和纹理数据采集	27
2.2 基于三维数字化的数据采集	29
2.2.1 三维数字化仪的技术原理和应用	29
2.2.2 三维激光扫描仪的技术原理和应用	31
2.2.3 植物变形和运动的数据采集	38
参考文献	38
第 3 章 植物形态几何建模和交互设计	40
3.1 计算机图形建模基础知识	40
3.1.1 多面体模型	40
3.1.2 曲面模型	41
3.1.3 应用于植物形态模拟的主要曲面建模方法	42
3.2 植物器官三维形态建模	47
3.2.1 基于参数化的植物器官建模	47
3.2.2 基于骨架的植物器官几何建模	51
3.2.3 基于实测数据的植物器官曲面建模	62

3.3 植物形态结构的交互式设计	75
3.3.1 基于参数的植物器官三维形态交互式设计	76
3.3.2 基于拉普拉斯的植物器官网格曲面交互设计	77
3.3.3 基于交互式骨架模型的根系三维形态设计	81
3.3.4 植物植株形态的交互式设计	89
3.4 三维植物造型的表面细节建模技术	94
3.4.1 基于脉序骨架的植物叶脉几何建模	94
3.4.2 叶片锯齿轮廓生成	98
3.5 讨论	102
参考文献	103
第4章 基于图像的植物形态三维重建	105
4.1 概述	105
4.2 图像采集和三维信息获取	106
4.2.1 立体视觉	106
4.2.2 相机标定	108
4.2.3 特征匹配	113
4.2.4 三维信息的获取	115
4.3 植株三维形态测量与重建	116
4.3.1 叶片的测量与建模	116
4.3.2 植株骨架的提取与测量	123
4.4 基于图像的植物形态重建系统设计与开发	131
4.4.1 相机标定	132
4.4.2 图像处理	132
4.4.3 模型显示功能	132
4.4.4 叶片重建	136
4.4.5 植株骨架重建	137
4.4.6 三维测量单元	139
参考文献	139
第5章 三维植物模型的真实感绘制技术	141
5.1 真实感图形的基本概念	141
5.2 光照处理	142
5.2.1 局部光照模型	142
5.2.2 面绘制模型	143
5.2.3 全局光照	144
5.2.4 OpenGL 的光照模型及应用	144
5.3 纹理映射	146
5.4 植物器官表观颜色仿真	149
5.5 植物造型表面绒毛生成	151

5.5.1 绒毛分布的生成	152
5.5.2 绒毛的几何表示和放置	153
5.5.3 参数控制	154
5.5.4 结果示例和讨论	156
5.6 三维植物群体实时阴影生成	158
5.6.1 Z-pass 算法	158
5.6.2 阴影的实现过程	158
5.6.3 阴影算法描述及效果图	159
5.7 植物冠层光分布计算模型及其应用	161
5.7.1 植物冠层光分布计算主要方法	162
5.7.2 基于辐射度的作物冠层光分布计算系统的设计与实现	164
5.7.3 使用嵌入式辐射度算法进行散射光效用评价	169
参考文献	174
第 6 章 植物生长过程的可视化仿真	177
6.1 基于生长模型的农作物生长可视化仿真	177
6.1.1 玉米形态结构及器官几何模型构建	178
6.1.2 玉米形态模拟模型	178
6.1.3 实例分析及模拟系统实现	181
6.2 基于关键帧的作物生长三维动画模拟	182
6.2.1 玉米骨架模型	183
6.2.2 植株尺度模型上的参数关键帧技术	185
6.2.3 器官尺度模型上的参数关键帧技术	187
6.2.4 从骨架模型到植株模型	188
6.2.5 结果与讨论	189
6.3 基于马尔可夫模型的果树枝条生长仿真	192
6.3.1 苹果树的分枝特性	192
6.3.2 基于随机过程的苹果树分枝模型的建立	192
6.3.3 果树形态发展的实时模型	194
6.3.4 实验结果和讨论	197
参考文献	200
第 7 章 基于物理的植物变形和运动模拟	202
7.1 概述	202
7.2 基于质点-弹簧系统的植物器官变形模型	203
7.2.1 质点-弹簧模型及其解法	203
7.2.2 植物器官变形模型	205
7.2.3 模拟结果和讨论	207
7.3 植物叶片卷曲和萎蔫过程模拟	210
7.3.1 基本思想	210

7.3.2	相关研究	212
7.3.3	双层质点-弹簧系统驱动的叶片运动模型	213
7.3.4	基于双层质点-弹簧系统的叶片模型	215
7.3.5	叶脉骨架驱动的叶片变形模拟	223
7.3.6	总结与讨论	230
7.4	园艺植物藤蔓攀援特性建模和攀援行为模拟	231
7.4.1	相关工作	231
7.4.2	植物攀援行为的基本知识	233
7.4.3	藤蔓植物攀援行为模拟	233
7.4.4	模拟结果和讨论	239
7.4.5	小结	242
	参考文献	242
第8章	植物系统虚拟场景绘制和实时漫游	245
8.1	植物群体漫游中的碰撞检测和处理	245
8.1.1	基于空间散列法的虚拟植物碰撞检测算法	246
8.1.2	植物群体冠层实时碰撞处理	251
8.2	雨雪天气的实时模拟	256
8.2.1	相关工作	257
8.2.2	基于粒子系统的下雪模拟	257
8.2.3	雪的堆积	260
8.2.4	实验结果与分析	263
8.3	虚拟温室环境的实时漫游	265
8.3.1	日光温室 LOD 模型	265
8.3.2	视点的漫游及碰撞检测	266
	参考文献	272
第9章	植物三维形态交互式设计软件的设计规范	275
9.1	植物三维形态交互式设计软件需求分析	275
9.1.1	植物三维形态交互式设计任务目标	275
9.1.2	植物三维形态交互式设计软件需求分析	277
9.2	植物三维形态交互式设计软件的评价指标	279
9.2.1	植物三维形态交互式设计的评价目标	280
9.2.2	植物三维形态设计功能评价指标	281
9.2.3	植物三维形态设计技术评价指标	282
9.2.4	综合评价模型	283
9.3	植物三维形态交互式设计软件的设计模式与开发规范	284
9.3.1	植物三维形态交互式设计软件的设计模式	284
9.3.2	植物三维形态数据结构、数据格式及数据库	285
9.3.3	植物三维形态交互式设计软件功能模块	286

9.3.4 植物三维形态交互式设计流程规范	288
9.3.5 植物三维形态交互式设计软件开发规范	289
9.3.6 植物三维形态交互式设计软件市场前景	290
参考文献	291
第 10 章 农作物生产场景虚拟仿真平台的设计与开发	292
10.1 背景分析	292
10.2 设计目标和平台需求	293
10.3 平台组成	294
10.3.1 总体结构及功能	294
10.3.2 主要功能简介	295
10.4 系统实现及关键技术	296
10.4.1 插件接口定义和管理	297
10.4.2 场景组织和绘制	298
10.4.3 环境数据接口	299
10.4.4 动画格式重用	300
10.4.5 自然现象模拟	301
10.4.6 场景动画	301
10.5 应用示例	301
参考文献	304
第 11 章 农林植物虚拟设计与仿真	305
11.1 西瓜三维形态设计与仿真	305
11.1.1 西瓜的形态特征	305
11.1.2 西瓜主要器官的几何建模	306
11.1.3 基于知识的西瓜植株拓扑结构生成	309
11.1.4 植株形态交互式生成	310
11.1.5 西瓜植株形态生长过程模拟	313
11.1.6 西瓜三维形态交互式设计软件的设计与开发	316
11.2 小麦三维形态设计与仿真	318
11.2.1 小麦地上部器官的几何造型	318
11.2.2 小麦植株三维形态设计与生长模拟软件系统的开发	321
11.2.3 应用示例	323
11.3 苹果树三维形态设计与生长模拟	324
11.3.1 苹果树器官几何造型建模	324
11.3.2 苹果树形态生长过程的可视化模拟	334
参考文献	334
第 12 章 日光温室虚拟设计	335
12.1 虚拟温室研究现状	335
12.2 日光温室交互式设计	336
12.2.1 日光温室的基本结构	336

12.2.2	温室结构的参数化建模	337
12.2.3	日光温室的交互式设计	338
12.2.4	三维附属组件的导入	339
12.2.5	系统实现和结果	340
12.3	日光温室采光量的实时计算及可视化	341
12.3.1	计算模型	341
12.3.2	可视化计算	343
12.3.3	算法实现与结果	345
	参考文献	347
第 13 章	土壤结构虚拟设计	348
13.1	基于 Koch 曲线的土体孔隙三维可视化仿真	348
13.1.1	三维 Koch 曲线建模	348
13.1.2	土体孔隙结构的可视化建模	350
13.1.3	土体孔隙结构的可视化计算应用	352
13.2	基于粒子系统的土壤可视化仿真研究	354
13.2.1	模型假设	354
13.2.2	土壤粒子系统可视化建模	354
13.2.3	模型实现和实验结果	361
13.3	粒子系统的优化技术	363
13.3.1	绘制效率优化	363
13.3.2	计算复杂性优化	365
13.3.3	粒子数量优化	366
13.3.4	实验结果和讨论	367
13.4	基于面向对象八叉树的土壤结构虚拟漫游碰撞检测	369
13.4.1	面向对象八叉树基本数据结构	369
13.4.2	基于面向对象八叉树的虚拟漫游碰撞检测	371
13.4.3	实验结果	373
	参考文献	375
第 14 章	总结与展望	377
14.1	存在的挑战	377
14.2	进一步的研究重点	378
14.2.1	植物生长建模和可视化研究	378
14.2.2	多尺度仿真集成问题研究	379
14.2.3	实时虚拟互动体验技术研究	380
14.2.4	网络环境下异构模型、方法的共享关键技术研究	380
14.2.5	虚拟化科研环境构建	381
14.2.6	面向应用的开发	381

第 1 章 绪 论

“农林植物生长系统”是由“天气-土壤-管理措施-农林植物”构成的多层次开放的农田生态系统。植物的生长过程是一个复杂的系统过程,既受地域性、季节性和生物性的限制,又受到人为管理措施的影响。植物生长系统内部各要素之间的关系是复杂的非线性关系。植物生长系统的复杂性,使得对系统的建模和预测都十分困难。近年来,随着信息技术的飞速发展,人们纷纷借助于信息技术来提高对产品生产系统的管理和决策能力。其中,虚拟设计(virtual design)就是一种被广泛应用的技术。虚拟设计是随着科学技术的发展,特别是计算机辅助设计(CAD)技术的发展,而开始广泛地应用于企业的生产与制造之中的一种多学科交叉技术。虚拟设计的主要思想是在真正生产产品之前,利用计算机建立产品的虚拟模型或形成过程模型,并在计算机上进行产品的性能分析或生产过程模拟,提前发现生产中可能存在的问题,减少实际产品开发的试验时间,从而提高产品设计一次性成功的概率,缩短产品开发周期,降低生产成本,并提高产品质量。

植物生长系统的复杂性和虚拟仿真技术在工业领域的成功大大激发了人们对虚拟仿真在农林植物生长系统中的应用预期。借助于虚拟仿真技术在产品开发中所具有的周期短、成本低、交互性强等优点,虚拟仿真技术预期将对农林植物生长过程的管理、预测和控制提供一种新式的技术手段。

1.1 虚拟现实与虚拟农业

1.1.1 虚拟现实及其发展历史

虚拟现实是在计算机图形学、计算机仿真、人工智能、人机接口技术、多媒体技术以及传感器技术的基础上发展起来的交叉学科和高新技术。具体而言,虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统,它利用计算机技术生成一个逼真的且具有视、听、触等多种感知的虚拟环境,用户通过使用各种交互设备与虚拟环境中的实体相互作用,使之产生身临其境感觉的体验和信息交流。与传统模拟技术相比,其主要特征是:操作者能够真正进入一个由计算机生成的交互式三维虚拟环境中,并与虚拟环境产生互动,进行视觉、触觉和听觉等方面的交流。因此,它具有多感知性、沉浸感、实时交互性等特点。

虚拟现实已有几十年的发展历史。早在 1965 年,美国科学家 Sutherland 就首次提出了包括具有交互图形显示、力反馈设备以及声音提示的虚拟现实系统的基本思想。此后,围绕虚拟现实系统的研究探索不断展开和深入。1966 年,美国 MIT 的林肯实验室正式开始了头盔式显示器的研制工作;20 世纪 80 年代,美国国家航空航天局(NASA)及美国国防部组织了一系列有关虚拟现实技术的研究,并取得了令人瞩目的研究成果,从而引起了人们对虚拟现实技术的广泛关注。进入 90 年代,迅速发展的计算机硬件技术与不断

改进的计算机软件系统相匹配,使得基于大型数据集合的声音和图像的实时动画制作成为可能;人机交互系统的设计不断创新,新颖、实用的输入输出设备不断地进入市场。而这些都为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。目前,虚拟现实技术的应用领域和交叉领域非常广泛,几乎到了无所不包、无孔不入的地步,在作战指挥模拟,飞机、船舶、车辆驾驶训练,飞机、导弹、轮船与轿车的虚拟制造,产品设计,建筑物的展示与参观,手术培训,以及游戏等方面的应用和产业的形成都有强烈的市场需求和技术驱动。国内虽然从20世纪80年代才开始虚拟现实的研究,但发展十分迅速,尤其在军事、飞行训练、建筑及工业设计等领域得到了广泛的应用。我国也非常重视这方面的研究,虚拟现实技术近10年来都是973计划、863计划、国家自然科学基金等项目的重要专题。目前,国内著名的科研院所和高等院校,如中国科学院、北京大学、清华大学、浙江大学等都纷纷成立了专门的虚拟现实实验室,从虚拟现实的基础理论研究、应用开发到集成环境与工具研制等各个方面开展工作。

1.1.2 虚拟农业

虚拟农业是虚拟现实技术面向农业领域的应用,它借助于相关计算机软硬件设备,将农业生产的对象与过程数字化和可视化,从而把极为复杂且周期很长的生命科学研究放在定量的时空坐标系统中进行分析,既可以极大地缩短研究周期,又可以直接得到定量的实验结果和虚拟体验的感性认识,因此被称为“把农业带入信息时代的主要工具”。虚拟农业无疑具有划时代的意义,在农业科研、教学、生产规划、农业资源配置、商品流通、农机设计与制造等方面具有广阔的应用前景。

1.1.2.1 辅助科研实验

虚拟农业旨在用计算机建立能客观反映现实农业生产和生活规律的虚拟模型,以便部分地替代在现实世界难以进行,或者费时、费力和费钱的实验。用计算机设计出虚拟作物、畜、禽、鱼等,然后实际培育出能与虚拟品种相媲美的优良品种,从遗传学上操纵品种的培育。虚拟植物就是应用虚拟现实技术模拟植物在三维空间中的生长发育,并以可视化的方式反映植物的形态结构规律,从而将土壤中的物质吸附、排放、迁移过程,动植物生长过程,遗传物质表达、同化、异化过程等变为计算机虚拟的现实,可以用来进行一系列虚拟实验,借此研究各种胁迫条件、人工干预条件对这些过程的影响。例如,可以计算出植物每一叶片接收到的光辐射量,也可以研究植物群体的光分布情况;通过合理优化作物的株型,模拟其截获光的能力与光合产量形成能力,从而为获得超级作物的株型提供理论依据;另外,考虑水分在植物体空间的传输阻力、植物群体内的风速等因素,可以计算出植物蒸腾的空间分布,从而实现对农田蒸散的精确研究;利用虚拟植物技术,可以非常直观地对农田、森林等复杂的生态系统进行研究,发现传统研究方法和技术手段难以观察到的规律;此外,还可以利用虚拟植物确定最佳栽培方式。目前,虚拟植物能够很好地实现对植物地上部分形态结构的模拟,可以满足园林设计、遥感等应用领域的需求。但在虚拟植物与环境的相互作用和植物根系虚拟方面,目前的研究还相对薄弱,难以达到指导实际农业生产需要。

1.1.2.2 教学应用

虚拟现实技术将使教育在创造性和有效性方面取得突破性的进展,老师能把现实世界带到他们的教室里,借助于计算机、立体投影设备、虚拟交互设备,配合多媒体软件和三维数据库,学生可以利用虚拟系统学习各种植物的结构,能看到、听到和控制他们在屏幕上观察的角度,非常自然地在其中漫游;通过改变环境条件,能够看到植物及生态环境发生的变化。这样就使教学过程更形象、直观、生动,极大地增强了教学效果,激发了学生的学习兴趣。

1.1.2.3 农业生态景观模拟

农业生态景观模拟在城市规划、产业布局、土地利用、环境修复、住宅建造等方面具有重要的应用价值。应用虚拟现实建模语言可以构建不同规模、不同地貌类型的土地景观模型,可以模拟不同管理措施、不同种植方案下的生态演化过程和结果,而无需在现实中真正栽种植物并等待数年才可以看到实际效果。该技术对造林方案的制订、森林管理等也具有巨大的应用价值。

1.1.2.4 农机设计与制造

随着科学技术的发展,对农机系统的设计与开发技术要求越来越高,而且由于农机的工作环境比较复杂,在系统建立之前很难对其作出恰当的事前评估,如果能在机械设计时,对机械运动方案以及各类传动机械进行加工前的计算机模拟仿真,对其整个工作过程和性能加以综合分析,将极大地提高农机设计的成功率。农业机械 CAD 是目前提高农业机械产品设计水平的有效途径。三维 CAD 系统的强大立体设计和分析功能可用于农业机械产品及关键部件的开发及产品的优化设计。首先通过 CAD 技术建立各个零部件的三维模型,再给各个零件赋予不同的材质参数,包括动力学参数及运动学参数,然后应用虚拟现实技术模仿机械的运动,测试产品在不同环境条件下的运行情况。该技术把人和计算机以一种直觉而自然的方式加以统一,极大地提高了人们的工作效率,提高了设计成功率。特别是复杂的大型收获机械非常需要这种虚拟仿真技术,它不但可以在机构运动学上加以仿真,还可以通过有限元分析、优化设计等方法对机构的动力学加以分析、仿真,对各构件参数进行优化。

1.1.2.5 农业技术推广与科普

随着计算机图形学、虚拟仿真和网络技术的发展与成熟,以及网络宽带的不断提高,科学文化知识和成果以数字影视、动画、游戏的形式进行传播已经成为科学知识普及、科技成果推广和进行技术培训的最佳选择。

特别是我国农业从业人员知识层次普遍偏低、农业技术推广和农业教学手段相对落后,对新观念理解、新知识获取、新技术掌握以及新信息接受的能力极为薄弱,科技成果无法有效地转化为现实生产力,新技术、新方法、新理念无法植入农民的思想和行动中,这些

严重制约了科学技术的推广和进步,阻碍了地方产业结构调整、产业化经营和居民增收,影响了农村的精神文明建设。利用虚拟现实技术将农业知识开发成易于被农户接受的动画和游戏,在传播农业知识的同时,还可带来娱乐休闲等新的体验。它能够借助于网络和信息技术等现代手段,打破时空限制进行传播,受众可以随时随地接受知识。同时,多媒体、虚拟现实技术等手段的引入,使得科技推广和科普形式更加生动活泼,互动性强,有利于有效地吸引受众,加强传播效果。从而促进农业科技知识传播,推动科学和技术在农村的快速推广,加强公众对农业科技的理解,提高农民科学素质,使我国农村更好地走向科学发展的道路。

1.2 数字植物及其科学内涵

1.2.1 数字植物提出的背景

随着信息技术的迅速发展,信息科学与传统自然科学的交叉融合成为科技创新的有力途径。信息科学提供了信息获取、存储、传输、处理和实施等关键技术,为不同学科的科学的研究提供了强大的技术手段、软件平台和工具。借助于计算机强大的信息处理能力,生物信息学取得了显著进步(顾坚磊和周雁,2008);在地球和空间科学、医学等领域,已经非常广泛地借助于计算机仿真或模拟来开展研究工作(赵沁平,2009)，“数字地球”(路甬祥,2007)和“数字人”(钟世镇,2005)等研究专题得到高度重视,其理论体系和技术平台日益完善,被认为是解决本学科重大科学问题的基础信息处理平台和集成应用工具。当前,我国农业科学研究和生产方式已经向数字化、可视化、精准化和智能化转变,农林植物作为农业科学研究的重要对象和载体,综合运用数字化技术研究农林植物生命和生产系统、构建数字植物技术体系十分必要。因此,探讨数字植物的科学内涵、基础研究问题、支撑技术体系和实现途径,对于促进数字农业的研究和学科融合有着重要意义。

植物不仅具有丰富多样的外部形态结构,而且有着异常复杂的生理过程和功能表达。近年来,随着生命科学与信息科学的进一步交叉融合,将植物结构和功能数字化,实现植物形态结构的精确描述、可视化表达、定量分析,以及对植物系统内部各要素的状态、发展演变过程进行定量计算、评价、模拟和预测已经成为可能,并成为现代农业科学的一个重要发展方向。正如 Vos 等指出的(Vos et al., 2007),计算机模拟已经成为探索生物系统运行规律及验证假设的前所未有的强有力工具。国内外许多研究者在数字植物研究方面已经进行了许多有益的探索,如植物生长建模(郭焱和李保国,2001; Prusinkiewicz, 2004)、基于作物和环境机理关系的过程模拟(曹卫星等,2006)、交互可视化(Deussen et al., 2002; 郭新宇等,2007; 赵春江等,2008),以及运动特性仿真(陆声链等,2008)等工作,在细胞、组织、器官、个体、群体和生态系统等不同尺度上都取得了阶段性进展。如 1.1 节介绍,这方面的研究一般称为“虚拟植物”。目前,实现对植物三维形态结构和生理功能的并行模拟成为植物建模的主要发展趋势(Hu et al., 2003; Guo et al., 2006; Fourcaud et al., 2008),而体绘制、体建模技术的应用将促进植物建模从外向内、由表及

里拓展,生物力学、人工智能等理论技术的引入则为揭示植物生命规律提供了新的思路 and 工具。而农业科研人员在解析环境-技术措施-作物生理生态过程的机理关系上也取得了丰硕成果,建立了一系列农学机理模型、知识模型和知识规则,为描述作物品种的遗传特征、反映作物和环境的相互关系以及进行有目的的栽培管理调控提供了科学理论、技术体系和方法。这些都为数字植物的研究奠定了良好的基础。但是,目前数字植物研究还仅仅处于起步阶段,大量研究主要是围绕“点”来展开的,在系统化、实用化等方面还有待拓展和深化。

本书从学科基础和支撑技术的角度出发,阐述了数字植物的实质内涵和科学意义,分析了数字植物的基本研究问题,提出了支撑数字植物的技术体系的基本构成和研究重点,以期为深化数字植物这一跨学科的研究应用提供有益的参考(赵春江等,2010)。

1.2.2 数字植物的概念及内涵

数字植物包含两方面的含义,狭义的数字植物是指通过计算机技术将植物数字化,在计算机上重构成看得见、可交互操作的虚拟植物模型;广义的数字植物是一个开放式的信息服务和共享平台,该平台通过对植物生命系统和农业生产系统中所涉及的结构要素、生产要素中的各对象及对象属性、行为和相互的关联进行数字化、可视化表达,有效集成利用设备、数据、信息、模型和计算资源,实现对植物生命系统和农业生产系统行为的感知和认知,形成农业科研工作者、生产管理者和教育培训工作者开展科学研究、新品种培育、种植规划、科普教育等的支撑平台。本书将从广义的角度论述数字植物的支撑技术体系。数字植物是植物科学、虚拟现实技术、人工智能和科学计算方法的高度综合,它紧密结合互联网技术的发展,将是农业科学研究的新兴前沿领域。数字植物反映了农业科学从定性描述到定量分析和可视化表达的转变,它将使人们更加深入地认知植物生命系统和农业生产系统的本质,深刻地改变人们未来农业科学研究活动和认知植物的方式。

植物的可视化、虚拟化和可控化,是植物科学与信息科学等学科交叉点上的前沿科学领域,数字植物的研究方法包含了定性描述与定量描述相结合、局部描述与整体描述相结合、确定性描述与不确定性描述相结合、数字分析与图形仿真相结合等方法。显然,数字植物是数字农业中重要的基础知识平台和支撑技术,具有广泛的应用前景,其作用和意义主要体现在以下几个方面:

(1) 数字植物将改变农业科研和实验的方式。它为农业科研人员提供数据采集、计算、分析、模拟和仿真的关键技术和工具平台,改变传统基于田间实验、实体测量的单一实验手段,实现对农业生产过程的数字化、可视化计算分析,使过去认为不能或不易进行的、规模庞大或成本高昂的植物实验在计算机上进行,从而为株型设计、作物种植规划、产量预测、环境变化模拟、生态进化预测等提供全新的技术手段,缩短新品种的试验时间,减少农业生产实验的成本。

(2) 数字植物将拓展农业知识的认知、传播和教育方式。通过三维可视化、虚拟体验等技术,能够形象地将复杂的植物生理过程和植物形态在计算机上展示出来,借助于数字头盔、数据手套、力反馈设备等,用户能够以虚拟交互的方式身临其境地参与其中,使其成