

# 分形可视化组件的设计与应用<sup>\*</sup>

陈宁涛<sup>1</sup> 王能超<sup>2</sup>

(华中科技大学计算机学院 武汉430074)<sup>1</sup> (华中科技大学并行计算研究所 武汉430074)<sup>2</sup>

**摘要** 开发分形可视化软件具有重要的理论意义和应用价值。研究了分形可视化理论和组件化软件开发原理,设计了基于COM技术的分形可视化组件框架,开发了一个分形可视化组件,并分析了组件客户的类型及其使用方法。最后,给出了应用该组件的一个例子。

**关键词** L系统,迭代函数系统,COM,分形可视化

## Design and Applications of Fractal Visualization Component

CHEN Ning-Tao<sup>1</sup> WANG Neng-Chao<sup>2</sup>

(School of Computer, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)<sup>1</sup>

(Parallel Computing Institute, Huazhong University of Science & Technology Wuhan 430074)<sup>2</sup>

**Abstract** It is theoretical important and application valuable to develop fractal visualization software. This paper elaborates the theory of fractal visualization and the principle of developing component software. Based on COM technique, the authors design the framework of fractal visualization component and implement a fractal component. After analyzing the types of the client and the relevant invoking methods, an instance is presented to use the component.

**Keywords** L systems, Iterated function system, Component object model, Visualization

## 1 引言

可视化的成效在于有助于研究人员从繁杂的计算与抽象的数据中快速提取形象而丰富的信息,从而更好地获得对问题的洞察与见解。在一个可视化应用系统中,图形用户界面提供了与计算的交互作用,使得研究人员可以控制整个可视化进程。可视化算法的任务是把计算过程或计算结果中的数据集合转化为图形(或图像),因此可视化应用系统的软件实体核心是图形用户界面与可视化算法。

从数学的土壤中产生的分形充满了各种被数学家们称为“怪异”的现象。在计算机产生之前,人们一直对它产生神秘和敬畏。计算机的问世改变了一切。一旦与计算机结合,数学就焕发了活力。计算机分形图形的错综、美丽和富于表现,不仅唤起了科学世界的想象力,同时也使人感受到它们与真实世界之间深奥的关系。许多人称分形为艺术,甚至很多人孜孜不倦地为之奋斗终生。而这一切都是分形可视化的结果。因此,分形的可视化不仅仅是一项工作,而且是研究分形的必须的一部分。分形的可视化为分形理论的研究提供了最直观的形象,大大促进了分形科学的发展。为数学家和艺术家开发通用的分形可视化软件是计算机工作者的任务。而组件化是软件开发的一个方向,由于组件式软件具有实现简单、开发速度快、跨平台二进制共享等优点,把这种开发方式应用到分形可视化领域是分形可视化软件开发的一个新方向。

本文按照组件对象模型(COM, Component Object Model)技术设计和开发了一个分形可视化组件,并阐述了组件客户的使用方法。

## 2 分形可视化方法

分形理论基础,特别是分形在几何性质上的自相似性,为计算机进行分形图的绘制开辟了广阔的天地。分形图形可视

化方法很多,经典的分形可视化方法主要有两种:基于字符串替换算法的L系统和基于离散数值点运算的迭代函数系统(IFS)。这两种方法推动了分形理论和分形图像压缩理论的发展。

### 2.1 L系统

Lindenmayer 于1980年提出了一种分形曲线的构造模式,即著名的 Lindenmayer System(L-system),或称 Parallel String-Rewrite Systems,它由一个原子与一个产生式规则集组成,而这种产生式规则决定了原子的复写特征<sup>[1]</sup>。

早期的L系统简称为DOL系统。前缀D0代表确定性,与上下文无关(context free)。通过加上几何形态信息,诸如线段的长度和线段的转角等,DOL系统利用“乌龟行走式解释算法(turtle interpretation)”,可模拟分形几何图形。随机L系统克服了确定性L系统只能生成规则分形图形的局限,可构造随机的分形拓扑结构。参数化L系统使L系统能够模拟时延信息<sup>[2]</sup>。

L系统的分形图绘制即是产生式规则字符串替换原子的过程。比如,原子是F,产生式规则是 $F \rightarrow F+F--F+F$ 。指定迭代次数,用字符串 $F+F--F+F$ 替换每一个F。迭代一次,当前字符串就是 $F+F--F+F$ 。再迭代一次,当前字符串变为: $F+F--F+F+F+F--F+F--F+F--F+F+F+F--F+F$ 。迭代指定次数后,用类似于乌龟爬行的模型解释字符串。F表示按照当前方向画一条指定长度的线段,+表示在当前方向的基础上顺时针旋转指定角度,-表示在当前方向的基础上逆时针旋转指定角度。

### 2.2 迭代函数系统(IFS)

IFS是美国佐治亚理工学院的M. F. Barnsley提出的一个分形可视化系统<sup>[3~5]</sup>。IFS是分形绘制的典型方法,通过若

<sup>\*</sup>基金项目:国家自然科学基金(70271069)资助。陈宁涛 博士研究生,主要研究方向为分形与混沌理论及可视化、并行计算等。王能超 教授,博士生导师,研究方向为演化算法,快速算法,并行计算、科学计算可视化、复杂性科学等。

干仿射变换,将整体形态变换到局部。早期 Barnsley 与 Demko 应用 IFS 方法生成了自相似性极强的蕨类植物叶片<sup>[3]</sup>,之后 Barnsley 等发展了再现迭代函数系统(recurrent IFS)方法<sup>[6]</sup>。该方法在自相似性生成方面更为灵活,可以体现分形局部之间的不同自相似性。1991年 Prusinkiewicz 与 Hammel 发展了一种称为语言约束式迭代函数系统(language-restricted IFS)方法<sup>[7]</sup>。

IFS 方法的魅力在于它是分形迭代生成的“反问题”,根据拼接定理(collage theorem),对于一个给定的图形(比如一幅照片),求得几个生成规则,就可以大幅度压缩信息。IFS 的理论包括以下几个方面的内容:仿射变换、收缩映射、双曲迭代函数系、IFS 吸引集存在唯一性等。

分形几何学认为,分形图形具有自相似性或者自仿射性。将其局部放大后会发现与原图是相似的,只不过存在一些比例放大缩小,图形旋转或平移等。也就是说局部是整体的一个小复制品。将这种复制归纳为仿射变换,即实现几何变换的公式,用此公式可以按比例将图形放大缩小,可以将图形旋转或者平移,有时甚至可以使图形产生一些畸变。将某个仿射变换作用于一个图形即可以产生它的一个复制品。对于分形图形来说,其局部是整体的一个小复制品,局部可以看作是原图的一个仿射变换图形。于是可以将原图分解为几部分,每一部分都看作是原图在不同仿射变换下的复制品。这种分解与尺度无关,也就是说将原图放大后仍然可以对局部图进行类似分解。所以找到了这些描述图形复制过程的仿射变换之后,可以说把握了该图形的总体信息,可以由此得到分形图形各个层次上的细部<sup>[8]</sup>。

### 3 COM 关键技术<sup>[9]</sup>

COM 是 Microsoft、DEC 及其他一些公司支持的一种软件结构的“工业标准”。但绝不是只有这一种标准。COM/DCOM/COM++、CORBA、JavaBean/EJB 等等都是这一类标准。COM 为 Windows 提供了一个统一的、可扩展的和面向对象的通信协议。这种协议负责将一个软件模块同另一个连接起来,而不再参与其余的事务。连接建立以后,两个模块就可以通过接口结构进行通信,除了需要很少的几个 COM 通

用函数用来启动通信进程之外,接口不再需要其他任何静态或动态的连接入口,也不需要地址进行固定编码。对于需要和其他程序通信的 Windows 程序来说,COM 接口是理想的选择。

#### 3.1 COM 组件和 COM 接口<sup>[10]</sup>

一个 COM 接口同 C++ 类的公共接口非常相似,它可以描述方法和属性,以及把内部实现细节完全封装起来。然而,COM 接口与 C++ 不同,COM 采用了一种与语言无关、位置透明的方式完成这一功能。COM 组件可以有多个接口,而 C++ 只能把一个大的接口展示给用户,COM 提供了把一个组件的功能分割到多个接口里的能力,每一个接口都把一个小的、准确定义的功能集展示出来。然后,使用组件的客户可以直接与所需的功能块打交道。图1是组件内部接口和组件之间通过接口通信的例子,其中(a)图是内部接口,(b)图是组件间通过接口通信。

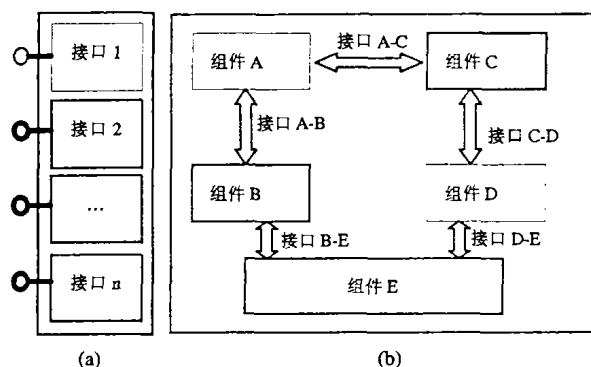


图1 组件内部接口和组件间接口通信

#### 3.2 分发接口和自动化<sup>[9,11]</sup>

从上面可以看出,COM 客户和 COM 组件之间的通信是通过接口直接完成的。现在介绍客户控制组件的另外一种方法,即自动化(以前称为 OLE 自动化)。许多应用如 Microsoft Word 和 Microsoft Excel 以及一些解释性的语言如 Visual Basic 和 Java 都使用了这一方法。

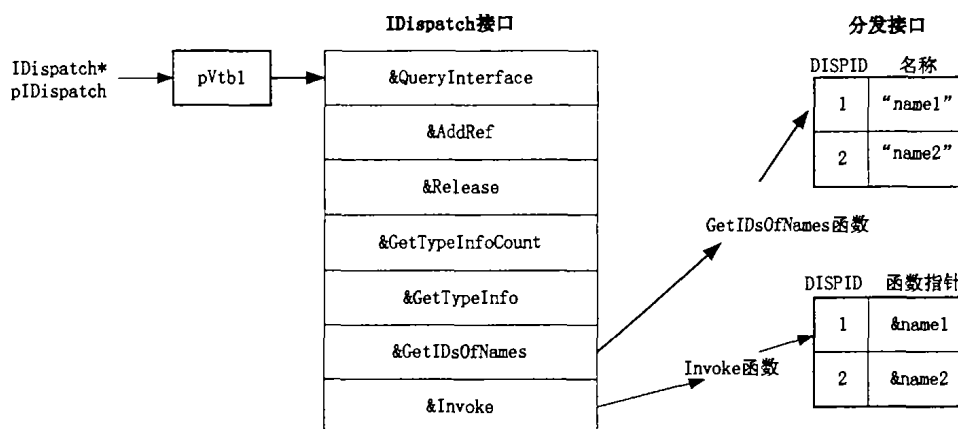


图2 IDispatch 分发接口原理图

自动化使得用解释性语言和宏语言访问 COM 组件更加容易,同时用这些语言编写组件也更为容易。自动化不是独立于 COM 的,而是建立在 COM 基础上的。自动化服务程序实际上就是实现了 IDispatch 接口 COM 组件,该接口有一个灵活的成员函数: *Invoke*,所有的模块间通信都是通过 *Idis-*

*path::Invoke* 函数完成。自动化控制器则是通过 IDispatch 接口同自动化服务器程序进行通信的 COM 客户。自动化控制器不会直接调用自动化服务程序实现的那些函数,而是通过 IDispatch 接口中的成员函数 *Invoke* 实现对服务器程序中函数的间接调用。IDispatch 接口通过使用分布式 COM

(DCOM)可以在网上对组件进行访问。图2是 IDispatch 分发接口原理图。本文组件的开发就是利用自动化技术进行的。

## 4 组件设计与实现

### 4.1 设计方案分析

本文组件的开发基于微软的 VC++6.0。利用此开发工具的组件设计方案有两种:ATL COM 和 MFC COM。两种技术都有其用途。ATL 的目标是为了简化小规模基于 COM 组件的开发。MFC 的作用是加快大规模的基于 Windows 的应用程序的开发速度,它通常带有大的图形工具接口(GUI)。ATL 和 MFC 在功能上有一些相同之处,主要是在对 OLE 和 ActiveX 的支持上表现得比较明显。因此,在开发基于 COM 组件时,如果该组件只有很少的显示部分或根本没有显示功能,那么,通常 ATL 将是不错的选择。而 MFC 与 ATL 互补,它支持大规模的图形显示功能<sup>[1]</sup>。而分形的可视化显然需要大量的显示功能。因此我们以 MFC COM 作为分形组件开发的首选。

根据分形作图的特点,L 系统是字符串的重写过程,IFS 是一系列点的绘制。因此,作图方案有两种:第一,在组件内部进行迭代计算并在组件内部做图;第二,在组件内部进行迭代计算,将计算结果返回给组件客户,由组件客户进行画图。显然第一种方案用 MFC 最佳,第二种方案更适合 ATL。而第二种方案给组件客户提出了很高的要求,因为客户必须对计算结果(字符串或一系列点集)进行解释来进行绘图,这显然违背组件模块化的规范。因此,我们选择了第一种做图方案。

对于 MFC COM 组件的创建,有进程内组件(DLL)和进程外组件(作为代理运行的 EXE 和 DLL)两种形式。我们创建的是进程外组件(EXE)。这种 EXE 组件处在另一个进程中,或者还可能运行在另一台计算机上。而对于代码的设计不用担心组件和客户的连接。因为 COM 通过它的远程结构管理细节工作,这通常会涉及到 RPC(Remote Procedure Call)。客户程序调用 RPC 中特殊的 DLL--代理(proxy),代理向存根(stub)发送一组数据流,存根位于组件进程的一个 DLL 中。当客户调用组件函数时,代理通过向另一个隐藏窗口中的组件发送消息来激活存根。在与数据流进行参数传递时进行参数转换的机制称为调度(marshaling)。

### 4.2 组件功能介绍

(1)绘图参数的确定 不管是 L 系统还是迭代函数系统的绘图,必须事先确定算法所需的产生式规则或者变换系数、迭代次数、初始点以及概率等信息,常将这些信息作为一个文本文件保存起来,当使用组件时通过客户端传给组件。

(2)分形图形的生成 组件接收到参数之后,自动调用相应的算法程序,生成相应的图形。

(3)图形变换功能 为了调整图形的效果,通过改变组件的相关参数,可以实现图形的变换功能,例如图形的伸缩、旋转、镜像、平移等。除此之外,还应能够实现颜色灰度和亮度的变化,从而产生视觉上的真实感。

(4)图形的保存功能 将生成的图形转换为 \*.bmp 格式的位图文件,支持图片的本地保存功能。

### 4.3 类的定义

根据组件的功能定义了下述类:L 系统绘图类,IFS 系统绘图类,图形控制类。下面分别介绍每个类的主要属性和方法。

•L 系统绘图类 ①属性:原子字符串,产生式规则字符串集合,缩放因子,旋转角度,概率(可选,与产生式规则对应),迭代次数,绘图初始位置。②方法:属性获取函数,属性设置函数,绘图算法。

•IFS 系统绘图类 ①属性:仿射变换集合,概率向量(可

选,与仿射变换对应),迭代次数,绘图初始位置。②方法:属性获取函数,属性设置函数,绘图算法。

•图形控制类 ①属性:伸缩因子,旋转角度以及方向,平移参数,颜色和亮度参数,图形文件名及路径名。②方法:属性获取函数,属性设置函数,图形处理算法。

### 4.4 组件的实现步骤

1. 运行 Appwizard 生成一个单文档工程:FractalComponent;

2. 向工程中添加自动化支持;

3. 利用 ClassWizard 向工程中添加3个新类:CLSystem-s, CIFS, CimageControl 分别对应上述三个类的定义,要说明的是这3个类的基类都是 CcmdTarget,因为该类包含了 IDispatch 以支持自动化;

4. 分别为3个类添加属性和方法;

5. 在3个类的实现文件(\*.cpp)中添加方法的实现代码;

6. 将3个类中所对应的绘图工作全部放在视图类的 OnDraw 成员函数中处理;

7. 运行程序一次以进行组件的注册。

这样设计出的程序既可以用作单独的应用程序,也可以用作自动化组件。

## 5 组件客户

由于组件类型是自动化组件,则组件客户必须支持自动化。在自动化通信时,有明确的“主从”关系。主就是自动化客户,而从则是自动化组件。在客户开始交互时,它需要建立组件对象,这有两种情况:加载新的组件和连接已运行的组件对象。然后客户调用组件中的接口功能,并在完成时删除那些接口。

### 5.1 VBA 客户

VBA (Microsoft Visual Basic for Application)包括 Microsoft Word, Microsoft Access 和 Excel 在内的大多数 Microsoft 应用程序的编程标准。由于所有这些应用程序都支持自动化,这意味着它们可以连接到其他自动化兼容的组件上去,包括用 C++ 和 VBA 编写的组件。调用方法是 Set Fractal = CreateObject("FractalComponent"),释放组件对象是 Set Fractal = Nothing。

### 5.2 MFC 自动化客户

MFC 的自动化客户所对应的组件驱动类都从 COleDispatchDriver 继承,因为该类提供了好几个成员函数包括 InvokeHelper、GetProperty 和 SetProperty 根据连接到组件的指针调用 Invoke。COleDispatchDriver 对象含有 IDispatch 指针。

### 5.3 Web 客户

其组件使用方法类同 VBA 客户,所不同的是 Web 客户是在网页上调用组件,因此需要编写脚本语言来调用组件。利用框架 ASP(Active Server Pages)+ VBScript + 微软的 IIS (Internet Information Server)可以方便地构架基于服务器组件的应用程序。

## 6 一个应用例子

图3为组件应用的一个例子,其中客户端提供分形计算需要的参数,通过通信网络传输给组件,组件根据不同的参数类型调用 L 系统绘图算法或者 IFS 系统绘图算法,计算完成后将结果图形传输给客户端。需要说明的是,其中通信网络可以是局域网或者广域网甚至没有网络(对于本地客户)。绘制的图形在客户端显示,而组件客户可以是上述3种类型。其中龙曲线参数说明如下:45表示转角,X 表示公理, $X \rightarrow X + YF$

+与 $Y \rightarrow -FX - Y$ 表示产生式规则集;Barnsley 羊齿叶参数说明如下: $w$ 表示仿射变换公式, $a, b, c, d, e, f$ 表示变换矩

阵参数, $P$ 表示每个变换的概率。

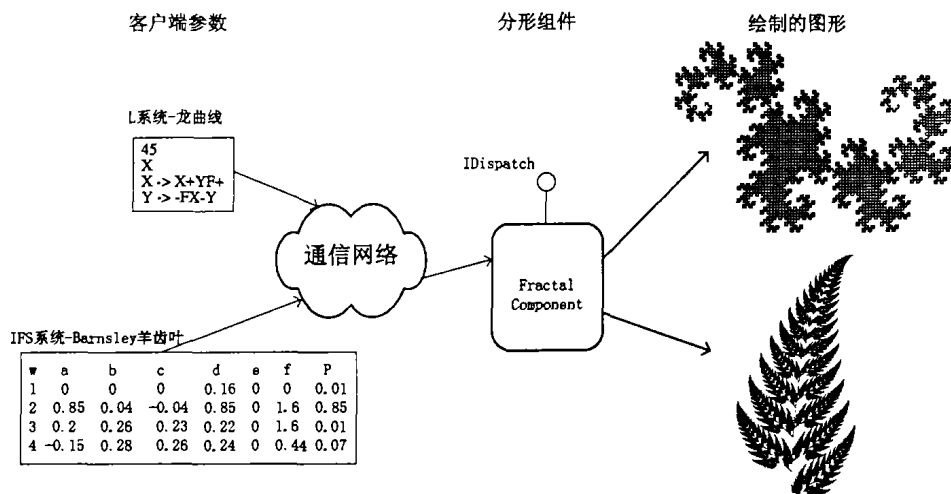


图3 分形组件应用框架

**结束语** 分形的可视化为分形理论的研究提供了最直观的形象,大大促进了分形科学的发展。组件化是软件开发的一个方向,由于组件式软件具有实现简单、开发速度快、跨平台二进制共享等优点,把这种开发方式应用到分形可视化领域是分形可视化软件开发的一个新方向。本文在深刻研究了分形可视化理论的基础上着重讨论了基于COM技术的分形可视化组件的设计思想和实现过程,并分析了组件客户类型及其使用方法,最后给出了其应用实例。当然,本文只是给出了分形可视化组件开发的一个框架,要使其走向实用化还有很多工作要做,比如组件的健壮性,组件的人性化,组件的可交互性,组件的安全性等等因素。对于大型分形图形的计算机生成需要海量的迭代次数,分布式并行分形组件的开发是比较理想的选择。

## 参考文献

- 1 Dickau RM. Two-dimensional L-systems. <http://forum.swarthmore.edu/advanced/robertd/lsys2d.html>. 1996

- 2 Prusinkiewicz P, Lindenmayer A, Hanan J. Developmental models of herbaceous plants for computer imagery purpose. *Computer-Graphics*, 1988, 22(4): 141~150
- 3 Barnsley M F, Demko S. Iterated function systems and global construction of fractals. *RSocLondonSer*, 1985(A399): 243~275
- 4 Barnsley M F. *Fractal Everywhere*. Boston: Academic Press Professional, 1993
- 5 Barnsley M F. *Fractal Functions and Interpolation*. *Constructive Approximation*, 1986, 2: 303~329
- 6 Barnsley M F, Elton J H, Hardin D P. Recurrent iterated function systems. *Constructive Approximation*, 1989, 5: 3~31
- 7 Prusinkiewicz P, Hammel M. Automata, language, and iterated function systems. In: *Fractal Modeling in 3D Computer Graphics and Imagery*, J C Hart, F K Musgrave eds., ACM SIGGRAPH, Course Note C14, 1991. 115~143
- 8 Barnsley M F, Demko S G. Iterated function systems and the global construction of fractals. In: *The Proc. of the Royal Society, London ser*, 1985, A399: 243~275
- 9 Kruglinski D J, Wingo S, Shepherd G 著, 希望图书创作室译. *Programming Visual C++ 6.0 技术内幕(第五版)(修订版)*. 北京: 希望电子出版社, 2002
- 10 Armstrong T, Patton R 著, 董梁, 等译. *ATL Developer's Guide*, 2nd Edition. 北京: 电子工业出版社, 2000
- 11 Rogerson D 著, 杨秀章, 江英 译, 潘安民 审教. *COM 技术内幕*. 北京: 清华大学出版社, 2000

(上接第126页)

## 5 虚拟农业的应用前景

虚拟农业是一种技术手段,将会象虚拟现实一样会得到很大的发展。我们认为初期阶段,不需要虚拟农业都保持很高的真实性。实际上完美的真实性对于目前的认知水平是不现实的,因此首先应对虚拟农业对象研究的目的进行认知分析,并作为虚拟的基础。采用由粗到细,由浅入深的方式逐步完善,同时虚拟农业研究应形成虚拟农业技术的理论和方法。因而它在精确农业(Precision Farming)和持续农业(Sustainable Agriculture)中具有广泛的应用前景。

(1) 虚拟农业研究是一项很有价值的技术,可以缩短农业领域重大项目研究的时间,节约经费,有很好的推广价值。比如,在几秒内计算机就模拟作物的整个生长周期,不必用很长时间实地种植作物,进行观察分析。

(2) 虚拟农业可以促进农业领域的基本理论研究,更强调实践检验,反过来推动虚拟农业技术的发展,进而推动农业科技进展。

(3) 可以获得作物生长过程中的各参数的动态数据,一改传统农业中难于量化研究的局面,为精确农业提供依据。

(4) 结合现代生物技术,为作物株型设计和基因型改良提供指导。为大幅度提高作物产量,需培育超级作物品种,如

超级杂交稻。而育种学家注意到,为获得超级品种需优化作物株型,使人们进一步加深对作物生理的研究和对作物生命的理解。

(5) 通过虚拟分析害虫在作物群体三维空间中的藏匿和觅食规律,确定最佳的喷药时间和方式,降低成本、减少环境污染。

(6) 应用虚拟植物(农作物)生长技术在虚拟农田环境系统中进行虚拟实验,可部分替代在现实世界中难以进行或虽能进行但费时、费力、昂贵的试验。

(7) 可建立虚拟农场,与其他智能化农业软件系统(如专家系统)联结,使学生和农民在计算机上种植虚拟作物和进行虚拟农田管理,有利于教学和农业科技推广。

## 参考文献

- 1 石元春. 迎接农业的新技术革命. *中国科学报*, 1997-5-2
- 2 郭炎, 李保国. 虚拟植物的研究进展. *科学通报*, 2001, 46(4): 273~280
- 3 陈沈斌, 孙九林. 虚拟农业与虚拟现实—科学数据库潜在的应用领域. <http://www.pcvr.com.cn>, 2003
- 4 靳润昭, 王兆毅. 虚拟现实及其在农业上的应用. *天津农学院学报*, 2001, 8(2)
- 5 Holt D A, Sonka S T. *Virtual Agriculture: Developing and Transferring Agricultural Technology in the 21st Century*. <http://www.ag.uiuc.edu/virtagl.html>, 2003
- 6 高亮之. 数字农业与我国农业发展. *计算机与农业*, 2001(9, 10)
- 7 王道波, 周晓果, 张广录. 虚拟农业技术及其应用. *农业网络信息*, 2004(3)