

森林生态系统仿真 原理、方法及应用

丛沛桐 祖元刚 著
王瑞兰 付玉杰



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书依托国家自然科学基金重大项目“中国关键地区生物多样性保育研究”课题和“九五”国家科技攻关项目“三江平原低山丘陵区林农复合系统综合发展技术模式研究”,以中国科学院东灵山生态系统定位站、黑龙江省依兰县试验林场、东北林业大学帽儿山实验林场等为研究基地,选取东灵山辽东栎林、三江平原蒙古栎次生林、甘草、北五味子等物种为研究对象,以大量野外和室内实验数据为基础,依据 SIMULINK 系统仿真平台及仿真技术,采用人工神经网络仿真技术、生态场仿真技术、CTM 仿真技术、森林资源地理信息等技术,针对辽东栎林群落演替、生物多样性的连续分布、生态亚系统自组织行为模拟、植物根系层圈仿真、种群内和种群间生态干涉、森林资源信息管理及 WEBGIS 等问题进行了专项研究。

本书可供林业、农业等部门的科研及教学人员使用,也可做为大专院校相关专业的教师、研究生和本科生教学及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

森林生态系统仿真原理、方法及应用/丛沛桐等著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014973-4

I. 森… II. 丛… III. 森林-生态系统-系统仿真-研究 IV. S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009115 号

责任编辑:韩学哲 梁淑文/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 3 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005 年 3 月第一次印刷 印张: 7 3/4

印数: 1—1 000 字数: 145 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

为保持人类所处生态环境的健康和谐与生态资源的可持续利用,国际地圈生物圈计划(IGBP)于1992年启动了旨在促进全球变化与陆地生态系统关系研究的核心计划“全球变化与陆地生态系统”(GCTE)。1998年,美国副总统戈尔(Al Gore)提出数字地球的概念,数字地球计划由此诞生。作为数字地球计划研究内容的重要组成部分,数字生态系统研究的重要性日益突出,在生态信息数据采集、可视化表现,数字化分析等方面具有广阔的研究前景。

目前,人类对于生态系统在时间和空间上演变的预测能力是有限的,一方面是由于生态系统本身的复杂性所致,同时也与研究方法的选择有直接关系。系统仿真技术的诞生为生态系统的深层次研究注入了活力,随着数字地球计划的付诸实施,生态系统仿真的研究活动日趋活跃,可望成为生态系统领域新的增长点。

本书以大量野外和室内实验数据为基础,共收集数据近2万个,采集标本200多份,对24个主要优势种群进行了测定,调查20m×20m样地38块。依据SIMULINK系统仿真平台和系统仿真技术,采用人工神经网络仿真技术、生态场仿真技术、CTM仿真技术、GIS技术,针对辽东栎林群落演替、生物多样性的连续分布、生态亚系统自组织行为模拟,植物根系层圈仿真、种群内和种群间生态干涉和森林生态系统信息管理等问题进行了专项研究。

本书共分7章,第1章介绍了生态系统和系统仿真的概念、研究进展;第2章简要介绍了生态系统仿真的原理、方法和SIMULINK仿真平台;第3章结合实例重点介绍人工神经网络在生态系统仿真过程中的应用,包括生物多样性和北五味子结实量评估等仿真研究;第4章依据植物生态场的研究进展,进行辽东栎林生态场仿真的应用性研究;第5章应用CTM技术分析了群落演替的过程;第6章以森林生态系统健康评价为目的,介绍了生态系统健康评价的体系和方法,还针对次生林生态系统功能进行了数值评价;第7章介绍了GIS技术在森林资源信息管理中的应用。

祖元刚编写第1章和第2章的部分章节,王瑞兰编写第7章的第1、2节,并进行了书稿校对,付玉杰编写第5章,其余章节由丛沛桐完成,并负责统稿。

衷心感谢天津师范大学学术著作出版基金的鼎立资助。

本书出版还得到教育部森林植物生态学重点实验室和天津师范大学地理信息系统实验室的大力支持以及国家自然科学基金重大项目(39893360),国家“九五”科技攻关课题(96-004-02-05),国家自然科学基金(50379036)等项目的支持。李翠

霞、史军、周传艳、程志光、于晓梅、栾海燕、聂江力和朱雪琴等同志也付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

丛沛桐
2003 年秋

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 系统与生态系统	1
1.1.1 生态系统的结构与功能	2
1.1.2 生态系统的时空特性	3
1.1.3 生态系统的整体性	3
1.1.4 生态系统服务功能	4
1.2 生态系统仿真研究现状及动态	6
1.2.1 系统仿真的概念	6
1.2.2 系统仿真过程	6
1.2.3 系统仿真分类	7
1.2.4 系统仿真语言	9
1.2.5 系统仿真的应用领域	10
1.2.6 生态系统仿真研究进展	10
1.2.7 生态系统仿真核心技术	13
1.2.8 生态系统仿真与数字地球	14
1.2.9 本书研究内容	14
1.3 计算生态学与生态系统仿真	15
2 生态系统仿真原理与方法	17
2.1 SIMULINK 生态系统仿真平台	17
2.1.1 SIMULINK 平台功能	17
2.1.2 SIMULINK 仿真资源	18
2.2 SIMULINK 仿真过程	19
2.2.1 生态系统仿真与人工智能	19
2.2.2 生态系统模块封装	20
3 神经网络仿真技术及应用	23
3.1 神经网络概述	23
3.1.1 神经网络研究历史	23
3.1.2 神经网络应用	25
3.1.3 神经网络的优点	25
3.2 神经网络仿真技术	26

3.3	人工神经网络仿真应用	28
3.3.1	根据植物地上茎叶图像仿真植物地下根系图像	28
3.3.2	生物多样性指数仿真技术	33
3.3.3	生态系统的自组织行为	38
3.3.4	北五味子结实量模拟仿真技术	42
4	生态场仿真技术	49
4.1	生态场概述	49
4.2	生态场研究进展与问题	50
4.3	植物生态场计算方法研究	51
4.4	生态场图件绘制	52
4.5	生态场仿真模拟结果分析	52
4.5.1	辽东栎生态场特征及生态学行为模拟	68
4.5.2	胡枝子种群生态场特征及生态学行为模拟	69
4.5.3	大叶白蜡种群生态场特征及生态学行为模拟	69
4.5.4	大叶白蜡-胡枝子种群间生态干涉势及生态学行为模拟	69
5	CTM 生态模型仿真技术	71
5.1	CTM 模型概述	71
5.2	CTM 模型的数学过程	72
5.3	辽东栎林群落演替的马尔可夫过程	72
5.3.1	演替影响因子分析	72
5.3.2	辽东栎林群落演替跃迁图	73
5.3.3	跃迁过程	74
5.4	演替模拟	74
5.4.1	数据处理	74
5.4.2	模型建立	75
5.4.3	模拟预测	75
6	森林生态系统健康评价	77
6.1	森林生态系统健康评价	77
6.1.1	健康评价方法	77
6.1.2	人工神经网络技术在生态系统健康评价中的应用	78
6.1.3	研究实例	79
6.1.4	结果分析	81
6.2	次生林效应带生态功能数值评价研究	82
6.2.1	效应带营林技术	83
6.2.2	效应带生态功能数值评价方法	83
6.2.3	研究区概况	83

6.2.4	开拓效应带生态功能数值评价	84
6.2.5	结论与分析	89
7	森林资源地理信息技术	91
7.1	概述	91
7.1.1	森林资源信息管理	91
7.1.2	地理信息系统在森林资源信息管理中的应用	92
7.2	基于 MO 的帽儿山林场森林资源地理信息系统开发	92
7.2.1	研究区概况	93
7.2.2	地理信息系统构建	93
7.2.3	讨论与分析	95
7.3	帽儿山林场森林资源网络地理信息系统构建	96
7.3.1	WebGIS 的原理与方法	96
7.3.2	森林资源 GIS 空间数据库的建立	97
7.3.3	帽儿山林场森林资源信息的辅助决策分析	98
7.3.4	讨论与分析	100
7.4	GIS 与 ANN 整合技术	100
7.4.1	技术方案	100
7.4.2	MO 与 Matrixvb 双组件技术体系	100
7.4.3	森林资源蓄积量预测方法	101
7.4.4	帽儿山森林资源结构特征及动态	101
7.4.5	帽儿山森林资源蓄积量预测	102
7.4.6	讨论及分析	104
7.5	基于 GIS 的水环境-生态环境耦合技术	104
7.5.1	技术手段	105
7.5.2	耦合参数确定	105
7.5.3	讨论与分析	107
7.5.4	结论与建议	108
	主要参考文献	110

1 绪 论

1.1 系统与生态系统

系统是指彼此间相互作用、相互依赖的事物有规律地联合的集合体,是一个有序的整体。由于自然界事物之间相互关联,因此,以系统的观点研究事物之间的内在属性具有普遍意义。

系统的特点在于整体性与相关性,系统是由许多要素或子系统组成的,各个组成部分不可独立存在,通过相互组合实现特定的功能,完成专门性的任务,构成一个完整的有机体。

系统内部各元素属性和活动方式的集合称为系统的状态,它与时间、空间和系统内各关联要素的分布有关,研究系统的目的就是要揭示系统状态以及这种状态在空间上的分布和时间上的延续,而系统模型成为研究系统状态的有效工具和手段。

系统并不是孤立存在的,尤其在自然环境中,封闭的系统几乎是不存在的,一个系统都或多或少地与外界发生物质、能量与信息的交流。系统状态的变化也是由这些因素控制的,因此,对一个系统的边界与环境的认识直接影响到对系统内部的了解,并进而影响研究成果的精度和质量。

系统的边界是封闭的条带或立体形态,由边界划定了系统的分布区域,并包围了系统所有的研究对象和要素。位于系统边界以外的部分也对系统的行为产生深刻影响,这些因素构成了系统的环境。数学模型中的定解条件就是边界上的环境对系统产生影响的具体的数学关系式,因此,边界是环境的集中体现,环境是边界变动的内在因素和基本动力。

边界与环境的划分是人们出于研究方面的需要而人为界定的,实际的自然系统大多没有边界,或不易确定边界,划定边界的目的是人们仅关注于研究区内系统的行为,同时也是出于研究的方便。在一些特定的情况下,尤其是边界条件易于确定时,系统内变量的状态分布的规律性大大增强,研究的可靠性会大幅度提高。

根据研究对象的不同,可划分出的系统种类繁多。由于生命运动是自然界和人类社会中最复杂的运动形式,因此,有关生命特征的描述都是复杂性行为,生态系统是复杂系统中最为典型的系统之一。

生态系统(ecosystem)是指在一定的时空中共同居住着的所有生物(即生物群落)与其环境之间由于不断地进行物质循环、能量流动和信息传递过程而形成的统一整体。由于生命在进化过程中形成了特殊的结构和层次,经常表现出独特适应

环境的功能,成为科学研究领域中广泛关注的热点。与人类生存密切相关的全球变化、荒漠化、水土流失以及生物多样性等问题都归于生态学的研究范畴。地球上的森林、草原、荒漠、海洋、湖泊、河流等,不仅它们的外貌有区别,生物物种和群落构成迥异,由生物与非生物构成了一个相互作用、相互依赖的统一整体。森林中的乔木、灌木、草本等绿色植物借助叶绿素,充分利用日光能将二氧化碳、水和矿物质合成为有机物质,昆虫、鼠、鹿等草食动物就依赖这些绿色植物而生存,食草动物又成为瓢虫、鼬、虎等食肉动物的物质和能量来源。通过这些营养和其他联系,森林中的各种生物和非生物结合为一体,在长期的物种和生态系统功能进化过程中,系统各成员之间在功能上力求协调、趋同和进化。

1.1.1 生态系统的结构与功能

根据系统的定义,地球上生态系统的数量和种类是十分庞大的,而这些千差万别的生态系统都是由系统的结构和功能决定的。一个生态大系统(包括动物、植物、微生物)主要的结构和功能可以划分为四种基本成分:第一是非生物的环境,包括碳、氮、氧等无机物和温度、光照等生活条件;第二是生产者,主要是绿色植物,是从简单的无机物制造有机物的自养生物;第三是消费者,主要是动物,直接或间接依赖于生产者所制造的有机物的异养生物;第四是分解者,也是异养生物,但其作用与生产者相反,是把复杂的有机物分解为简单的无机物,它是生态系统中不可缺少的基本成分。根据环境性质和景观特征,生态系统可分为陆地生态系统,淡水生态系统和海洋生态系统等。陆地生态系统根据它们的组成结构特性,分为森林、草原、荒漠、山地等自然生态系统,以及农田、城市、工矿区等人工生态系统;淡水生态系统则包括了湖泊、河流、水库等;海洋生态系统则分为海岸、河口、浅海、大洋及海底等。森林生态系统的分布格局和种群动态等生态学特征塑造了森林生态系统的结构,使之具有防风固沙、涵养水源、蓄积木材、群落更新和演替、能量吸收和转移等系列功能。因此,生态系统的结构是功能实现的基础和前提,功能是结构的表达方式和体现。研究生态系统首先应从结构入手,根据结构预测系统的功能,也可以通过系统已经表现出的功能反演系统的结构,结构和功能是一个有机联系的整体。

生态系统的功能是十分丰富的,提供了人类生活的物质基础和环境基础。物种的丰富度和多度是描述生态系统物种丰富程度的重要指标。生态系统中物种的数量将影响生态系统的稳定性并构成某些生态过程本底值,物种比例搭配也在一定程度上影响到生态系统进一步演化的趋势。随着新的外来物种的入侵和濒危物种的灭绝,物种数量会不断增加、减少,这种特性导致了生态系统的千变万化和丰富多彩。

物种的多度是衡量生态系统中物种比例的指标,有优势种、常见而数量不多的

物种以及数量很少的物种之分,物种的数量在一定程度上决定了它们在生态系统中的贡献。多度最大的物种,在生物量、生产力、养分和水分循环中占有重要比重。可以预见,系统中优势种的灭绝与多度少的稀有物种丢失相比,会对生态系统的某些过程产生更大的影响。物种功能的探讨也是十分重要的,如果物种间具有相似功能,这些物种可归属于同一功能群,而功能群对单一物种的依赖程度较低,对生态系统功能的影响较小。在生态系统中生产者、消费者和分解者 3 个主要组分中都可划分出不同的功能群,如根据植物生活型、生活史策略、叶子的结构、根系的深度、共生体、气体交换特征、光周期的敏感性和抗水性等特性,可把有共同特性的一些物种归属于同一功能群;又如在生态系统中植物和植物器官的空间排列,具有水平和垂直的结构,如林冠的顶部、灌木丛、下木层、土表植物、根系在土壤中占有不同深度的植物,均可形成相应的功能群;植物的物候学特征也可作为划分功能群的标准:如幼苗与成熟个体,夏季一年生植物与冬季一年生植物,演替早期的物种与演替后期的物种。此外,还可根据生理特性分为 C_3 、 C_4 、CAM 植物功能群等。

1.1.2 生态系统的时空特性

生态系统通常与特定的时间和空间相联系,反映了生物的地理分布特性及空间结构形态,如水平结构、层次结构、以及水平与层次结合的多维空间结构。每个层次都具有一定的生态条件,栖居着一定的生物群,具有发育、繁殖、生长和衰亡等生物有机体的特征。由此,生态系统可分为幼龄期、成长期和成熟期等阶段,从而形成生态系统的“演替”。经历了一个生命的生长过程后,或者简单重复生命过程,或是产生进化和演替。这种特征对研究生态系统的生物生产力,对外界条件变化的适应性,以及被损伤后的再生力或修复力都是重要的。当环境或生境有明显变化时,生态系统的适应性就明显地表现出来,并且在生长过程中实现进化。生命的进化是在一个生态系统中完成的,该系统的各个成员或组分或多或少地对物种的进化产生影响,同时实现生态系统内的代谢。生态系统的代谢是通过生产者、消费者和分解者三个不同营养水平的生物类群而完成的,这三个生物类群是生态系统得以完成物质循环的基本结构。

1.1.3 生态系统的整体性

生态系统具有多要素、多层次的综合特征,包含着复杂的信息传递与反馈机制。它的整体功能并非各部分功能的简单相加,而是通过极其精巧的物质循环、能量流动、信息传递途径有机联络并发挥作用,一般都会表现出整体功能大于部分功能之和的特征。

在一个生态系统内部又包含了众多的子系统,从而形成了系统的结构与层次。

正是由于子系统的存在,生态系统受损后其功能可以恢复和重建。

1.1.4 生态系统服务功能

在生态系统水平上生态系统的功能主要包括能量的固定、分配与消耗、养分的获得、保持、归还和流失,水分的获得、分配和平衡,生产力和生物量等等。生态系统功能还有系统的内部功能,主要有物种之间的特有相互关系,如系统内各营养级之间生物捕食与被捕食的关系,植物、动物与微生物之间的关系,以及生物之间的互惠共存关系等,这些生物之间相互作用的过程也称之为群落过程(community processes)。生态系统的动态也是重要功能之一,无论长期还是短期系统动态,都将主动反馈系统的适应能力和状况。群落的演替及林窗动态是生态系统动态的组成部分,生态系统的抗性及其可恢复性是系统的重要功能,也是生态系统维持和更新的原动力。某些生态系统对生境变化或人为干扰具有较强的抵抗能力,或在生境改变后具有较强的可塑性或恢复能力,这些均与系统的结构、组成系统的物种多样性及遗传多样性密切相关。由于生态系统是由大小不同、种类各异的生物物种组成,在生物与外界环境的作用下形成了系统内的小气候,外缘物种对小气候的反馈会有明显的不适应(表 1.1)。

1996 年,美国一份“以科学为基础的生态系统管理报告”全文系统地论述了生态系统管理的定义、目标、管理要素、基本科学规范、步骤和行动等,在这一份报告中,生态系统服务(ecosystem service)的概念首次提出并得到阐述,引起生态学界的广泛重视。生态系统的服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,它不仅为人类提供了食品、医药及其他生产生活原料,还创造与维持了地球生命支持系统,形成了人类生存所必需的环境条件。生态系统服务功能的内涵可以包括有机质的合成与生产、生物多样性的产生与维持、气候调节、营养物质储存与循环、土壤肥力更新与保持、环境净化与有害有毒物质降解、植物花粉传播与种子的扩散、有害生物控制、减轻自然灾害等诸多方面。

人类社会的发展过程与生态系统服务功能密切相关,自然生态系统为人类的生存和社会的发展提供了持续、可观的产品和各种服务。游牧时代人类靠采集自然生态系统中的植物果实和猎杀动物为生;农牧时代人类通过对自然生态系统的垦殖获取粮食而生活;工业时代对生态系统各类资源的依赖有增无减;特别是近代以来,经济发展、科技进步和人口增长对自然生态系统构成了巨大压力,许多生态系统服务的能力正在降低,因为提供这些服务的生态系统正被转为它用或遭到破坏。约 43%的可用陆地表面已经因沙漠化、盐碱化、乱砍滥伐和水土流失等而退化,甚至某些生态系统已失去了其基本服务功能。因此,生态系统服务及其保护策略的研究是当今生态学的热点和前沿课题。Rees 从生态经济学角度开展了“生态支撑点”(ecological footprint)的研究,Cairds 提出了关于受损生态系统的恢复与

修补的研究。根据 Westman 的估计,由全球自然生态系统提供的产品和服务的总价值每年超过 33×10^{12} 美元,接近全世界年国民生产总值的 2 倍,尽管这种评估方法有待完善,但服务价值的估算有助于向现行政策体系中融入生态系统服务的思想,力图在人类未来的产品和发展中考虑环境成本。

表 1.1 生态系统服务功能一览表

服务	生态系统功能	举 例
气候调节	大气化学成分调节	CO ₂ /O ₂ 平衡, O ₃ 防紫外线, SO ₂ 水平
气候调节	全球温度、降水及其他由生物媒介的全球及地区性气候调节	温室气体调节, 影响云形成的 DMS 产物
干扰调节	生态系统对环境波动的容量衰减和综合反应	风暴防止、洪水控制、干旱恢复等生境对主要受植被结构控制环境变化的反应
水调节	水的储存和保持	向集水区、水库和含水层供水
控制侵蚀和保持沉积物	生态系统内的土壤保持	防止土壤被风、水侵蚀, 把淤泥保存在湖泊和湿地中
土壤形成	土壤形成过程	岩石风化和有机质积累
养分循环	养分的储存、内循环和获取	固氮, N、P 和其他元素及养分循环
废物处理	易流失养分的再获取, 过多或外来养分、化合物的去除或降解	废物处理, 污染控制, 解除毒性
传粉	有花植物配子的运动	提供传粉者以便植物种群繁殖
生物防治	生物种群的营养动力学控制	关键捕食者控制被食者种群, 顶位捕食者使食草动物减少
避难所	为常居和迁徙种群提供生境	育雏地、迁徙动物栖息地、当地收获物种栖息地或越冬场所
食物生产	总初级生产中可用为食物的部分	通过渔、猎、采集和农耕收获的鱼、鸟兽、作物、坚果、水果等
基因资源	独一无二的生物材料和产品的来源	医药、材料科学产品, 用于农作物抗病和抗虫基因

1.2 生态系统仿真研究现状及动态

1.2.1 系统仿真的概念

“仿真”一词译自英文 simulation, 仿真是通过对系统模型的试验来研究一个已经存在或正在设计的系统。计算机仿真则是指借助于计算机、用系统模型的方法对真实系统或设计系统进行过程模拟及动态追踪, 以达到分析、研究、设计系统的目的, 因此计算机仿真也称为数学仿真。

计算机仿真是近 30 年发展起来的一门综合性强的新兴技术, 涉及到系统分析、控制理论、计算方法和计算机技术等众多交叉学科知识。随着数字计算机软硬件技术的发展和成熟, 数字计算机仿真得以迅速发展。计算机仿真精度高、重复性好、通用性强, 在某些专业领域开展有针对性的系统仿真研究, 提高了深度开发的可行性和操作性, 也是一项高度集成的科学试验活动, 在系统科学研究中发挥着越来越重要的作用。

人类在征服自然、改造自然和推动社会进步的过程中, 面临着自身能力、能量的局限性, 因而一直致力于发明和创造, 代替人或帮助人完成复杂任务, 或通过计算机来模拟事物变化过程。相对而言, 工业管理规范化并易于控制, 随机因素被控制在一个较低的水平; 对于复杂的生态系统就比较困难。尽管如此, 无论是在分子还是生态系统乃至景观水平, 有关生态系统仿真都是令人感兴趣的课题, 因为, 生态学的研究领地十分宽泛, 而有关生态学的研究显得过于支离破碎, 进行系统性和完整性研究的重要性日益突显, 这也是有必要开展此方面研究的一个重要原因。

1.2.2 系统仿真过程

系统仿真的过程就是建立系统模型并通过模型在计算机上的运行进行检验和修正, 使模型不断趋于完善的过程。

基本过程如图 1.1:

(1) 建立仿真模型, 将数学模型转换成能被数字计算机接受的离散化模型, 为建立仿真模型, 可以采用数值积分法, 或者离散相似法。

(2) 编写仿真程序, 可以采用专门的仿真语言, 编写计算机程序, 进行实时仿真。

(3) 检验模型, 将系统仿真结果与实际生态系统的信息输出进行对比, 并修改系统结构或仿真算法。

(4) 仿真结果输出。

系统仿真在很大程度上既是一种数值计算技术, 也是一种逻辑推理机械化的

手段,需要有较强的专业技术知识。目前的生态系统仿真研究尚无统一的模式,将系统工程仿真技术应用到生态系统中就显得不协调,需要有专业性的研究。

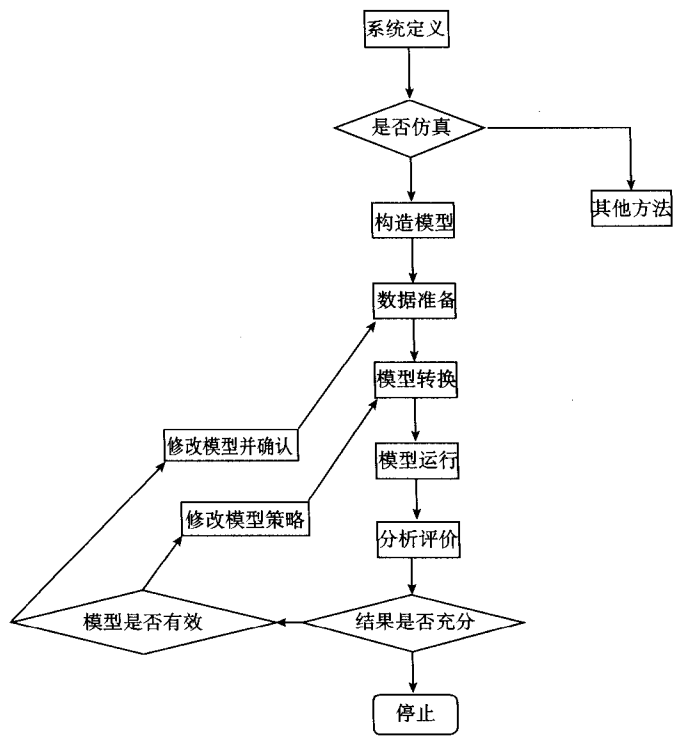


图 1.1 系统仿真过程流程图
(引自《系统仿真概论》)

1.2.3 系统仿真分类

主要是根据系统模型的特性进行分类,一般划分为连续系统仿真和离散系统仿真(图 1.2)。



图 1.2 生态系统类型示意图
(引自《系统仿真概论》)

1 连续系统仿真

连续系统是系统的状态随时间连续变化的系统,这类系统的特性可以用微分

方程或一组状态方程来描述,如植物的生物量是一个连续积累的过程,适于采用连续系统仿真技术。系统类型的界定更多的是为了满足实际计算工作的需要,如植物的呼吸速率和光合速率只能是离散型的间断值,因此,也可以将连续系统处理成离散系统。

生态系统具有高度非线性属性和各种特殊的生化功能,如植物间的它感作用,生态干涉、生态位占据等效应均与植物种类有关,因此,生态系统与非生命系统相比,变量的维数多出1维,计算的复杂程度将以几何级数递增。并且对于绝大多数的生态系统问题,都不适合于采用确定性的数学方程进行描述。信号控制等领域中已成熟的系统仿真技术并不适合于模拟生态系统的过程和行为,为此,在仿真结构图的基础上采用非线性科学技术模拟森林生态系统的行为、结构和功能是一种比较切实可行的方法。

仿真过程中,将系统中各环节的传递函数以矩阵的形式输入,系统连接关系以矩阵的形式建立模型的基本结构,在此基础上,仿真程序就能采用依据输入数据计算系统的响应。采用参数直接输入的方式,便于模拟过程的调整。

2 离散系统仿真

系统的状态变化只在离散时刻发生,而且往往又是随机的,这样的系统称为离散系统。离散系统通常规模庞大、结构复杂,需要采用仿真技术进行研究。

多数生态系统是一个离散系统,至少其中的离散成分多于连续的成分。生态系统的种群爆发和突发生态环境恶化现象就是比较典型的例子。

离散系统仿真模型一般由以下几个部分组成:

①系统状态:由一组系统状态变量构成,描述不同时刻的系统状态;②仿真时钟:提供仿真时间的当前时刻变量,描述系统内部的时间变化;③时间表:在仿真过程中按时间顺序所发生的事件类型和时间对应关系表;④统计计数器:用于控制与存储关于仿真过程中的结果,设计工作单元进行统计。

3 连续-离散系统仿真

对于一个典型的生态系统(如森林生态系统),完全是连续或离散的情况是不多见的,多数生态系统都是连续-离散混合系统,既包含有连续的成分也包含有离散的成分。

生态系统总体上属于离散事件系统,它们的数学模型要用一组逻辑条件及流程图来表现,例如,样地种子萌发的种类和数量是随机的,与种子产量、鼠类捕食有关,很难全部查清种子的数量分布地域;植物在生长过程中,环境因子的变化也是随机性的,病虫害等突发因素也是事先难以预料的,但是,植物在一定的生态环境中的生长过程是可以预测的。处在一定地理区域与环境中的植被从先锋群落到顶级群落的演替规律是一种必然的趋势,概率方法可以模拟此类随机生态过程。

1.2.4 系统仿真语言

虽然目前的高级程序语言都可以用于系统仿真的研究,但是,采用诸如(C, FORTRAN)高级程序语言编制的系统仿真程序,不但要详尽描述系统的初始条件和边界条件,而且在每一个运算过程中,应充分表述系统的结构和状态,是一个完全“白箱”和内部结构清晰的模型,而这一点对于大多数系统仿真来说不现实。也正基于此,系统仿真更侧重于开发功能模块和专业性模块,缩减中间过程和程序开发时间,在具体仿真过程中,用户只需掌握必要的参数和基本仿真流程,就可完成复杂的系统仿真任务,达到事半功倍的效果。这种高效的程序化、标准化工作也易于加速生态系统研究的进程,特别当物种数量较多时,其优势更加明显。

计算机仿真语言开发初期,仅局限在大型机上使用,而且价格昂贵。随着 PC 机性能的提高和普及,仿真语言的移植和开发得到迅速普及和推广。从 20 世纪 60 年代开始,出于各种不同的目的,人们开发了许多专用计算机仿真语言。比如,用于连续系统仿真的语言有 CSSL(continuous system simulation language),CSML(continuous system modeling language)和 DYNAMO(dynamic models)。用于离散系统仿真的语言有 CSL(control and simulation language)和 GPSS(general purpose simulation system)等。

对于复杂的系统来说,还需要一些专业性强的系统仿真语言给予支持,如 IDIMS(inventory and distribution of item in a multi-echelon system)就是进行多项目分级库存管理系统仿真语言。

目前,还没有专门用于生态系统仿真的语言,在 MATLAB 平台上支持的 SIMULINK 系统仿真语言是一个适合于在 PC 机上进行生态系统仿真的软件包。SIMULINK 系统仿真软件包目前已广泛应用于医学和工业及通讯系统领域中, SIMULINK 软件包提供了一个图形用户界面功能和大量的专用模块,如线性系统和非线性动力系统仿真模块等,主要用来仿真系统的动态和变化过程。SIMULINK 系统仿真工具软件包最大特点是可以直接利用 MATLAB 平台上创建的数学建模和系统分析工具,如控制系统工具箱(control system toolbox)、模糊逻辑工具箱(fuzzy logic toolbox)、神经网络工具箱(neural network toolbox)、信号处理工具箱(signal processing toolbox)和统计工具箱(statistics)等 32 种,并且随着 MATLAB 软件的升级,系统仿真工具箱数量不断增加,已能够满足大多数系统仿真的需要。由于 MATLAB 平台的开放性,对于一些特殊的生态系统功能,如植物它感作用,可以开发专用模块内嵌成系统模块,模拟生态习性。由此可以不断扩展、丰富生态系统仿真模块及功能。

1.2.5 系统仿真的应用领域

系统仿真是一项应用技术,利用计算机及其他设备来研究、设计、模拟和分析系统功能,具有较强的专业性和特殊性。仿真技术的发展首先是与控制工程、系统工程及计算技术的发展密切联系在一起的。由于控制工程和系统工程的发展促进了仿真技术的广泛应用,同时计算机的出现以及计算技术的发展,为仿真技术的应用提供了强有利的手段和工具。

1 控制系统和管理系统的仿真

仿真技术现在已成为系统分析、研究及人员训练不可缺少的重要手段,为工程界及企业界带来巨大的社会效益和经济效益。使用仿真技术可以降低研究成本,提高系统试验、调试及训练过程的安全性、重复性和可视性,从而达到系统的最佳研究状态,取得最佳效果。

2 制造和集成系统仿真

制造业在国民经济中占有最大的比重,制造和系统集成往往是相互联系在一起的。由于制造业对自动化程度的要求较高,因此,采用系统仿真对系统的设计和运行过程中可能出现的状态可以进行有效的评价。

3 通讯与信息系统

随着通讯和信息产业的迅速发展,通讯技术的研究水平不断提高,采用系统仿真技术模拟信号传输的研究增多,高清晰度和高精度信号传输在设计上很大程度上得益于方便、快捷的系统仿真。

生态系统是一个高度复杂的生命与环境系统,严格意义上的生态系统仿真需要有专门的生态系统仿真模块支持,从这个意义上讲,现有的生态系统仿真还不够规范和实用,即便如此,目前的一些生态系统仿真研究工作仍然是具开拓性并具有示范功能。

1.2.6 生态系统仿真研究进展

一个生态系统与外界总是不断进行物质的循环、能量的流动和信息的交流,这也是生态系统与非生命物质之间的本质区别。生态系统仿真的目的就是根据系统之间的内在联系属性,通过大量数据及信息来推断和解译系统的其他特征和其他部分,从而达到从已知研究未知的目的。

美国生态学家 H. T. Odum 在生态系统理论的基础上借鉴了工业控制理论和