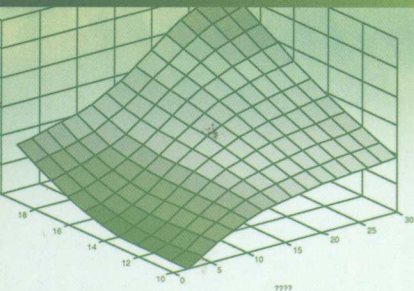


S

森林生长的

人工神经网络建模

黄家荣 任谊群 高光芹 著



 中国农业出版社

森林生长的人工神经网络建模

黄家荣 任凉群 高光苕 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

森林生长的人工神经网络建模 / 黄家荣, 任谊群,
高光芹著. —北京: 中国农业出版社, 2006. 12

ISBN 7-109-11315-9

I. 森... II. ①黄... ②任... ③高... III. 森林-
植物生长-人工神经网络-建立模型 IV. S718

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 143082 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 李文宾

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 9.5

字数: 232 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

◆资助本书出版的项目

1. 河南农业大学博士基金项目“基于 GIS 和 ANN 的人工林空间相关生长模型研究”
2. 河南省科技攻关项目 (0624050007) “基于 ‘3S’ 和人工神经网络的天然林动态模拟系统开发研究”
3. 河南农业大学重点学科森林经理学科与森林保护学科建设基金

· 内 容 提 要 ·

本书系作者近年来应用神经网络探讨森林生长建模技术的研究专著。作者以马尾松人工林为研究对象,用神经网络建模技术对各类森林生长模型进行了全面、系统的研究,其研究内容如下:

第一章 森林生长模型与神经网络应用研究综述,根据国内外近25年200多篇研究文献,对森林地位指数模型、森林密度指数模型、全林分生长模型、径阶分布模型、单木生长模型等各类森林生长模型的研究历史与现状以及神经网络在森林生长建模中的应用研究进行了全面述评。

第二章 材料、理论与方法,论述材料的调查、处理、分析方法,简介神经网络的理论基础,论述森林生长神经网络模型的构建、训练和性能分析等方法。

第三章 林分地位指数和密度指数神经网络模型,是本文主体模型的基础模型,因为主体模型的输入都需要地位指数和密度指数。此章前两节分别研究单形地位指数模型和多形地位指数模型,第三节研究密度指数模型。

第四章 全林分生长神经网络模型,是主体模型之一,按模型建立—模型训练—模型性能分析的一般建模过程进行研究。模型性能分析包括仿真效果分析、拟合精度分析、检验精度分析以及回归分析。

第五章 林分结构神经网络模型是主体模型之二,重点研究直径分布的模拟与预测之后,研究树高分布、直径树高二维分布的模拟。

第六章 单木生长的空间相关分析与竞争指标,是主体模型之三的基础部分,在用协方差函数与相关函数进行单木生长的空间相关分析的基础上,进行各类单木生长的竞争指标研究。

第七章 单木生长的人工神经网络模型,是主体模型之三的模型部分,研究与各类竞争指标相应的单木生长模型。

第八章 林分生长与收获预测,研究基于各类林分生长模型的林分生长与收获预测,并考虑各类生长模型之间的连接。

第九章 结论,是全书的结尾,论述各类模型的研究结论,提取研究的创新点。

前 言

系统建模, 包括线性系统建模和非线性系统建模。对于线性系统的建模, 人们已经进行了深入的研究, 并总结出一套成熟的方法, 可以建立具有较高可靠性的模型。然而在现实中, 非线性普遍存在, 而线性模型只是对非线性的一种简化和近似。对于非线性系统的建模, 要比线性系统复杂得多, 利用传统建模方法难以得到性能良好的非线性模型。人工神经网络在非线建模方面具有明显的优势, 它能对任意非线性映射进行任意逼近。与传统非线性建模方法不同的是, 人工神经网络建模不受非线性模型的限制。它依据研究对象或系统的输入输出数据对, 通过学习得到一个描述系统输入输出关系的非线性映射。给定一个输入, 即可得到一个输出, 不需要知道输入、输出之间存在什么样的数学关系。这是目前非线性系统建模中一种引人注目的新途径。

由森林生长理论可知, 非线性、复杂性是森林生长系统的本质特征。但从森林生长模型的研究综述中可以看出, 我们以往由于受技术条件的限制, 在研究森林生长模型时, 主要是采用“简化、依赖、间接”的方式进行。简化, 即将复杂的非线性关系简化为线性或简单的非线性, 将未知或不确定的结构简化为已知的结构。其

结果是使所建模型难以精确模拟现实的森林生长系统。依赖,即在简化之后,用一个或一组现存的数学函数或现存的生长方程(如 Richards 函数)来表达森林生长量与森林生长影响因子的关系。但由于现实森林生长受多因素影响的复杂性,这种依赖于现存数学函数或生长方程的常规模拟技术,常使对森林生长的模拟和预测结果难以达到令人满意的效果。间接,即由于常用于森林生长模型研究的现存数学函数多是一元(自变量)函数,如幂函数、指数函数、Richards 生长方程、Weibull 分布函数、密度效应模型等,当要同时考虑多因子对森林生长的影响时,常规技术通常是先用以上这些一元模型表达森林生长量与其中一个因子的关系,然后再将其他因子引入一元函数的参数,从而构成多元森林生长模型。这种间接引入法往往使建模者显得力不从心,所建模型的预估效果并不理想。

根据以上分析,本研究的建模理念是:非线性、复杂性是森林生长系统的本质特征,要用非线性、复杂性的建模技术进行森林生长动态模拟,以建立性能良好的非线性森林生长模型。人工神经网络具有如上所述的非线性系统的建模优势,可作为森林生长动态模拟的一套新技术。基于该建模理念,本书主要以马尾松人工林为研究对象,用人工神经网络建模技术对地位指数模型、密度指数模型、全林分生长模型、林分结构模型、单木生长模型等进行全面、系统的研究,旨在为森林生长模拟探讨一套新的建模技术,为完善、改进我国森林建模

技术提供有益借鉴。这对提高森林资源的经营水平具有重要的理论和现实意义,对森林生长模型的研究和应用具有重大意义,对林业学科的建模具有理论意义。

作 者

2006 年 12 月

目 录

1 森林生长模型与人工神经网络应用研究综述	1
1.1 森林生长模型的研究综述	1
1.1.1 地位指数模型的研究	3
1.1.2 林分密度指数模型的研究	5
1.1.3 全林分生长模型的研究	7
1.1.4 径阶分布模型的研究	12
1.1.5 单木生长模型的研究	17
1.2 人工神经网络的应用研究综述	20
1.2.1 人工神经网络的发展与现状	20
1.2.2 人工神经网络在森林生长模型研究中的应用	22
2 材料、理论与方法	27
2.1 基础材料	27
2.1.1 研究地区自然条件	27
2.1.2 基础数据	28
2.2 神经网络理论基础	42
2.2.1 生物神经元与人工神经元	42
2.2.2 生物神经网络与人工神经网络	44
2.2.3 BP神经网络及其算法	46
2.3 研究方法	48
2.3.1 模型构建方法	48
2.3.2 模型训练方法	55
2.3.3 模型性能分析方法	57

2.4 本章小结	60
----------	----

3 地位指数与密度指数神经网络模型

3.1 单形地位指数模型	62
3.1.1 模型构建	62
3.1.2 模型训练	64
3.1.3 模型精度分析	67
3.1.4 地位指数计算	68
3.2 多形地位指数模型	71
3.2.1 模型构建与训练	71
3.2.2 模型性能分析	74
3.2.3 地位指数神经网络逆模型与地位指数计算	78
3.3 密度指数模型	83
3.3.1 Reineke 的林分密度指数模型	83
3.3.2 林分密度指数神经网络模型	86
3.4 本章小结	88

4 全林分生长神经网络模型

4.1 模型建立	93
4.2 模型训练	93
4.3 模型性能分析	96
4.3.1 仿真效果分析	96
4.3.2 拟合精度分析	102
4.3.3 检验精度分析	103
4.3.4 回归分析	105
4.4 林分断面积生长神经网络模型构建	107
4.5 本章小结	108

5 林分结构神经网络模型

5.1 直径分布模拟	110
------------	-----

5.1.1	模型建立	110
5.1.2	模型训练	111
5.1.3	结果分析	113
5.2	直径分布预测	119
5.2.1	模型构建	120
5.2.2	模型训练与优选	122
5.2.3	模型精度分析	130
5.3	树高分布模拟	136
5.3.1	树高曲线模型	137
5.3.2	树高分布模型的建立与训练	138
5.3.3	结果分析	141
5.4	直径树高二维分布模拟	143
5.4.1	模型构建	143
5.4.2	模型训练	144
5.4.3	结果分析	147
5.5	本章小结	148

6 单木生长的空间相关分析与竞争指标

6.1	单木生长的空间相关分析	152
6.1.1	协方差函数分析	153
6.1.2	相关函数分析	163
6.2	单木生长的竞争指标	170
6.2.1	相对直径竞争指标	170
6.2.2	冠幅面积竞争指标	173
6.2.3	泰森多边形类竞争指标	176
6.2.4	缓冲区类竞争指标	182
6.3	本章小结	193

7 单木生长的人工神经网络模型

7.1	以相对直径为竞争指标的单木模型	199
7.1.1	模型构建	199

4 森林生长的人工神经网络建模

7.1.2	模型训练	200
7.1.3	模型性能分析	201
7.2	以冠幅面积为竞争指标的单木模型	204
7.2.1	模型建立	204
7.2.2	模型训练	205
7.2.3	模型性能分析	210
7.3	基于泰森多边形的单木模型	211
7.3.1	模型建立	212
7.3.2	模型训练	212
7.3.3	模型检验	215
7.4	基于缓冲区的单木模型	216
7.4.1	以 BBR 为竞争指标的单木模型	217
7.4.2	以 BDBR 为竞争指标的单木模型	221
7.5	本章小结	225

8 林分生长与收获预测

8.1	基于全林分生长模型的预测	229
8.1.1	全林分生长模型的改造	229
8.1.2	林分现状测算	231
8.1.3	林分预测计算	231
8.2	基于径阶分布模型的预测	241
8.2.1	林分直径分布频率预测	241
8.2.2	林分生长与收获预测	246
8.3	基于单木胸径生长模型的预测	250
8.4	本章小结	256

9 结论

9.1	方法研究结论	259
9.2	地位指数与密度指数模型的研究结论	259
9.3	全林分生长模型的研究结论	260
9.4	林分结构模型的研究结论	261

9.5 单木生长模型的研究结论	263
9.6 林分生长与收获预测的研究结论	265
9.7 研究的创新点	267
致谢	269
参考文献	270

1

森林生长模型与人工神经网络应用研究综述

本书的主题涉及森林生长模型的研究和人工神经网络的应用研究,因此本章对森林生长模型的研究和人工神经网络在森林生长模拟中的应用研究进行综述。

1.1 森林生长模型的研究综述

森林生长模型是一种特殊的数学模型。数学模型是将现象的特征给以数学描述的一个或一组数学关系式,它是现实世界的本质反映或科学抽象(姜启源,1993;雷功炎,1999)。由数学模型的概念不难得到森林生长模型的概念,它是对森林生长量或收获量随各种影响因子的变化规律给以数学描述的一个或一组数学关系式。影响森林生长的因子很多,但起主导作用的是林龄、立地、密度等3个综合因子。以 Y 表示森林生长量或收获量,以 A 表示林龄,以 S 表示地位指数或其他立地质量指标,以 D 表示密度指标,则森林生长模型的概念可用一般数学表达式表达:

$$Y=f(A, S, D) \quad (1-1)$$

这是 Mackinney (1937) 和 Schumacher (1939) 提出的森林生长模型的基本形式。

森林生长模型的研究,从德国林学家 Reaumur (1921) 首次发表收获表至今已有 280 余年的历程。而生长与收获预估的现代数量化研究,从 Mackinney 和 Schumacher (1939) 用多元回归分析建立可变密度收获模型以来,才有 60 多年的历史。从回

归技术开始应用之后,森林生长与收获预估的研究才摆脱了图解法。特别是舒马克(1959)用的多元回归,进一步证实完善的统计技术比编制收获表所用的单纯图解法好。回归技术的显著优点是,既提供收获表,又提供“收获公式”。但是,在数量化研究的初期,森林生长模型与森林收获模型的研制是分开各自独立进行的,致使连续定期生长估计总值加上起始量未必等于用收获模型计算的森林总材积。是巴克曼(1962)和克卢特(1963)互不相干地同时应用微积分研究森林的生长和收获,才解决了生长量总和与最终收获间不一致的问题,开创了森林生长与收获研究的新纪元。之后,森林生长与收获的研究就不再分开,先确定生长模型,通过积分得到收获模型;或先确定收获模型,通过微分得到生长模型,使二者保持一致性。正因为这种一致性,我们现在没有必要分别称为森林生长模型和森林收获模型,而把二者都统称为森林生长模型。近30年来,随着电子计算机的飞跃发展,使森林生长模型的研究工作又进入了一个新的阶段。在研究同龄林生长模型的同时,也开展了异龄林、混交林生长模型和经营模型的研究,提出了各式各样的森林生长模型。近年来,在异龄林生长与收获预测研究中,同时采用单木和林分水平的途径开发了一种综合模型。模拟方法,不仅从经验途径发展到基于生态过程的机理途径,而且将诸如非线性林分表预测、马尔可夫链、矩阵模型、人工神经网络模型等多种技术组合在一起应用。新的计算机技术的综合应用(面向规划和用户界面友好)、可视化技术以及GIS在异龄林空间模拟和森林景观中的应用等是目前正在进行的研究课题。我国在森林生长模型方面的研究远远落后于国外,20世纪50年代才比较系统地编制了某些主要树种的生长过程表(收获表)。此后,由于历史的原因,这方面的研究工作基本停止。80年代以来,由于森林经营集约度的逐渐提高,这方面的研究又重新引起林业工作者的重视而逐渐开展起来,在90年代研制了落叶松、杨树、红松、油松、杉木、马尾松等主

要树种的生长模型和经营模型，并已广泛应用于林业生产。国内近 20 多年有关森林生长模型的研究文献就有 900 多篇。在国外，从 60 年代中期开始的 10 年中，诞生了一大批各种各样的以单木为基础的模拟模型。从 70 年代中期开始，这些模型广泛应用于不同类型的森林中。到 80 年代后，这种发展速度已经大大减慢，而倾向于对这些模型进行一些修改和充实。与国外相比，我国的研究整整落后 20 年。

森林生长模型的数量繁多，形式多样，为了便于比较分析，有些学者曾根据模型的构造原理、构造方法和模型的特点对森林生长模型进行过不同形式的分类。如根据是否依据生物学理论或假设而将林分生长模型分为经验模型和机理模型。Munro (1974) 根据模拟对象和结构特征，将林分生长模型分为全林分生长模型和单木生长模型两类。Davis (1986) 根据他的分类原则，先将林分生长模型分为全林分模型、径级模型和单木模型三大类，然后再将各类进一步细分，以形成一个广泛的统一体。我国采用了 Munro (1974) 和 Davis (1986) 的分类方法，直接将模型分为全林分生长模型、径阶分布模型和单木生长模型三类（孟宪宇，1995）。研究某一树种（如马尾松）的每一类林分生长模型时，都需要确定林分的年龄、地位指数、密度指标等主要输入变量的观测值。林分的年龄，在林分调查时确定，而林分的地位指数和密度指标需要用相应的模型进行计算。因此，在进行三类林分生长模型研究之前，一般都要先进行地位指数模型和林分密度指标模型的研究。本书把地位指数模型和密度指标模型作为三类林分生长模型的基础模型。

1.1.1 地位指数模型的研究

地位指数模型，又分单形地位指数模型与多形地位指数模型。按常规技术建立单形地位指数模型（梁标等，1983；林业部规划院等，1984；严仁发，1989），是根据林分优势木平均高

(H) 与年龄 (A) 的相关关系, 选用如下常用回归模型:

$$\lg H = a + b (1/A) \quad (1-2)$$

$$\lg H = a + b [1/(A+K)] \quad (1-3)$$

$$H = a + b \lg A \quad (1-4)$$

$$H = a + bA + c \lg A \quad (1-5)$$

$$\lg H = a + b \lg A \quad (1-6)$$

以及单分子 (Mitscherlich) 式、里查兹 (Richards) 式等拟合于林分优势木平均高与年龄的相关数据后, 通过相关系数比较和 F 检验等方式进行模型优选, 以确定导向曲线模型。然后以导向曲线为基础, 按比例法、标准差法等方法展开经验式, 以绘制地位指数曲线和编制地位指数表。严仁发 (1989) 用贵州马尾松人工林资料研究的导向曲线模型为:

$$\lg H = 1.60411 - 10.19964 [1/(A+3)] \quad (1-7)$$

林杰等 (1981) 研究的闽北马尾松人工林地位指数导向曲线模型为:

$$H = 2.4755 - 9.7393 \lg A + 14.1893 \lg^2 A \quad (1-8)$$

梁标等 (1983) 研究的广东大岭山林场马尾松人工林地位指数导向曲线模型为:

$$\lg H = -0.022 + 0.9061 \lg A \quad (1-9)$$

由于单形地位指数模型是基于不分地位指数级的一条平均导向曲线展开的, 其缺点是人为掩盖了同一树种在不同立地条件下林分生长过程的差异。基于不同立地条件下林分平均优势高生长过程的多形地位指数模型可克服单形地位指数模型的这一缺陷。按常规技术建立多形地位指数模型 (Trousdel, K. B. et al, 1974; 骆期邦等, 1989; 丁贵杰, 杨世逸等, 1991; 温佐吾, 杨世逸, 1991), 是先用诸如 Richards 生长函数的生长模型拟合各地位指数级的林分平均优势高生长过程, 然后根据各地位指数级的生长模型的参数随地位指数级的变化趋势, 从常见的数学函数中寻找相近的关系式表达参数与地位指数的关系, 从而将地位指