

基于 GIS 和改进 BP 神经网络的天然白桦林健康评价

施明辉^{1,2}, 赵翠薇¹, 郭志华², 刘世荣³

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001;

2. 中国林业科学研究院 湿地研究所, 北京 100091; 3. 中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘 要: 结合样地调查及白桦林生态系统相关数据, 基于 GIS 技术平台, 利用改进 BP 神经网络模型, 对长白山白河林业局两江林场进行健康评价。利用改进 BP 神经网络研究复杂的森林生态系统健康状况具有强大优势, 运用 Levenberg-Marquardt 优化算法比传统的 BP 神经网络及其它改进算法迭代次数少, 收敛速度快, 精确度高。评价结果显示: 两江整个林场的森林大体处于一般健康状态, 占总面积 22.43% 的白桦林属于非常健康状态, 49.93% 的白桦林处于一般健康状态, 19.06% 的白桦林为亚健康状态, 而只有 8.59% 的白桦林是不健康的。其评价结果可为森林可持续经营和多功能利用提供理论支撑。

关键词: GIS; 改进 BP 神经网络; 天然白桦林; 健康评价; 长白山; 两江林场

中图分类号: S718.55⁺7; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0237-04

Assessment on Health of Natural *Betula platyphylla* Forest Based on GIS and BP Neural Networks

SHI Ming-hui^{1,2}, ZHAO Cui-wei¹, GUO Zhi-hua², LIU Shi-rong³

(1. College of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: On the bases of sample investigation and related ecosystem data collected by others, assessment on forest health of Liangjiang Forest Farm in Changbai Mountains was performed by the GIS platform and the improved BP neural network model. Improved BP neural network has great advantages in solving the complex forest ecosystem. Using Levenberg-Marquardt algorithm was effective than the traditional BP and some other improved methods, while it could converge much quickly and has high accuracy. Evaluation results show that the total area of 22.43% of Natural *Betula platyphylla* forest is very healthy, 49.93% of that is healthy, 19.06% of that is sub-healthy, while only 8.59% of which is unhealthy. The main purpose of this paper is to provide a solid theoretical support for forest health management and multifunctional use of forests.

Key words: GIS; improved BP neural network; natural *Betula platyphylla* forest; health assessment; Changbai mountains; Liangjiang forest farm

森林健康研究最早是 20 世纪 60 年代出现的, 它正在或已经成为林业科技中的一个新方向, 并得到越来越广泛地承认, 其评估理论和技术方法等在环境和生态系统科学领域是 21 世纪最重要和紧迫的任务之一^[1]。目前, 国内外用于森林健康评价的方法很多, 如: 主成分分析法、层次分析法、多元线性回归、健康距离法、模糊综合评价法及灰色关联度等, 但森林健

康评价至今仍缺乏一套切实可行的评价指标体系, 定量评价处于摸索阶段^[2]。

地理信息系统 (GIS) 能大大提高评价的精度和效率, 但在目前的森林健康评价工作中尚未得到广泛应用, 传统的基于 GIS 技术的森林健康评价存在一定的不足, 使评价缺乏对空间问题决策的支持能力, 阻碍了 GIS 在森林健康评价中的进一步应用^[3-5]。

收稿日期: 2010-11-27

修回日期: 2011-03-05

资助项目: 林业公益行业专项重大项目 (200804001); 林业公益项目 (201104006, 201104072); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD03A0406)

作者简介: 施明辉 (1985-), 男, 福建三明人, 硕士, 研究方向为土地评价与土地规划、森林健康评价。E-mail: shiminghui_2003@163.com

通信作者: 郭志华 (1965-), 男, 四川仁寿人, 研究员, 主要从事植被遥感、景观生态、生态环境监测与评价、湿地资源管理等研究。E-mail: guozhihua@126.com

BP 神经网络(Back Propagation Network)是一种多层前馈型神经网络,其神经元的传递是 S 型函数,输出量为 0~1 之间的连续量,它可以实现从输入到输出的任意非线性映射。当前,将人工神经网络技术广泛应用于森林生态系统的研究还比较少,在土地质量^[6]、水质^[7]及大气环境质量评价^[8]等领域相对较成熟。相信随着科技的发展,神经网络技术将趋向于微观与宏观功能的结合,并在智能化传感器、随机模式识别、实时知识处理、控制应用、最优化问题等方面克服现时的理论和技术障碍后,更广泛地应用到复杂系统的评价中。

正确的和科学的森林健康评价工作,既是构建现代林业生态建设理论体系的需要,也是维护森林生态系统健康的现实需求,又是吸收消化国际先进森林恢复和经营理念的必然过程,不仅可以为国家制定相关政策提供依据,还能为林业规划、合理开发利用资源提供数据资料,为投资者提供引导,为生产经营者提供决策依据。随着近年来 GIS 技术的发展,森林生态系统健康评价方法也得到很大提高,研究方法也逐步从定性化到定量化方向发展。本文探索利用地理信息系统(GIS)和改进 BP 神经网络来对白河林业局两江林场天然白桦林进行健康评价,为森林健康经营和多功能利用提供坚实的理论支撑。

1 研究区概况

白河林业局两江林场位于吉林省东南部,沿边朝鲜族自治州安图县二道白河镇北 0.5 km 处。地理坐标为东经 127°53′–128°34′,北纬 42°01′–42°48′。调查工作于 2001–2004 年开展,集中于长白山白河林业局北端的两江林场内。

2 研究方法

2.1 野外调查

调查选取 6 个样地,共计 140 个小班。调查内容包括:样地基本状况,如经纬度、胸径、树高、幼苗幼树株数、林龄、郁闭度、乔木盖度、立地类型等。森林病虫害是一种自然生物灾害,可用森林年均病虫鼠害发生面积与林分总面积之比反映,本文采用 5 点式随机抽样方法,根据调查总体的大小,按照一定的抽样方式,间隔一定的空间距离,抽出一定数量的样本,对所选定的样本要进行全面调查,将结果记录在小班卡上。森林火灾的监测可通过实地调查统计森林火灾的年发生次数、累计过火面积以及火灾的等级分布,将其分为 4 个等级:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ。

2.2 评价指标体系的建立方法

姬文元等^[9]首次提出森林小班水平上的森林群落健康评价指标体系,创造性地利用郁闭度、下木总盖度、地被物总盖度、幼树中建群种数量比例、更新等级、幼树幼苗生长情况、单位面积活立木蓄积量、建群种的平均胸径和建群种的平均树高共 9 项指标,结合小班资料进行森林群落健康评价。范敏锐等^[10]运用北京市“十五”森林资源二类清查数据,以北京市西山林场为例,从森林生态系统的完整性、稳定性、可持续性建立森林生态系统健康快速评价指标体系。使用层次分析法确定指标权重,运用综合评价模型对森林小班尺度上北京市西山林场森林生态系统健康状况进行了评价。而刘文军等^[11]通过对大青山天然白桦林的实地调查研究,从森林生态系统的结构和功能的角度出发,选用复合结构功能指标评价方法,在生态系统健康理论基础上,以生产力(P)、组织结构(O)和干扰(I)为综合评价指标,对大青山地区天然林森林生态系统的健康状况进行评价,建立一套相应的森林健康评价指标体系。

本文拟基于小班数据,对长白山白河林业局两江林场白桦林健康状况进行快速评价。森林健康快速评价(RAFH)突出的特点是指标简易可测、方法易于掌握、结果获取迅速,其首要问题是评价指标的确立^[10-12]。小班卡的数据涵盖整个研究区域,数据全面、完整,并且在表达形式上,各指标均为量化指标;在计算方法上,采用改进的 BP 神经网络方法,客观性强。

综上,本文根据大青山天然白桦林研究结果,将其结果作为学习样本,当作向量输入,以此构建长白山两江林场小班水平上的白桦林健康评价指标体系,选取胸径、乔木盖度、病虫害、火灾作为白桦林健康快速评价指标。

2.3 改进 BP 神经网络评价模型的建立方法

由于标准的 BP 网络学习算法存在与输入样本的顺序有关、收敛速度缓慢、易陷入局部极小等缺陷,于是采用基于 Levenberg–Marquardt 法的改进算法来对白河林业局两江林场的白桦林健康进行评价。Levenberg–Marquardt 法实际上是梯度下降法和牛顿法的结合,它的优点在于网络权值数目较少时收敛非常迅速。运用 Levenberg–Marquardt 优化算法比传统的 BP 及其它改进算法(如共轭梯度法、附加动量法、自适应调整法及拟牛顿法等)迭代次数少,收敛速度快,精确度高。因此,Levenberg–Marquardt 优化算法在 BP 网络学习中具有一定的优越性^[13]。

2.3.1 定义输入样本数据 将大青山天然白桦林健康评价的 9 个小班的胸径、乔木盖度、病虫害、火灾数

据作为 4 维向量输入。并对专家样本进行适当的扩充, 增加训练样本数据量, 提高了网络训练性能和泛化能力, 解决网络鲁棒性差, 实用性不强和过拟合等问题。

2.3.2 对森林健康评价结果进行编码 编码如表 1 所示。

表 1 调节器输出向量编码表

编号	健康级别	输出向量
I	非常健康	(1000)
II	一般健康	(0100)
III	亚健康	(0010)
IV	不健康	(0001)

输出向量为 4 维向量, 其中输出向量中的 1 位则代表相应的健康级别。接下来定义期望输出响应向量。

2.3.3 构建 BP 神经网络 长白山两江林场森林健康评价 BP 神经网络模型采用由输入层、隐含层和输出层构成的 3 层网络结构, 网络拓扑结构的确定主要是指输入层神经元个数、隐含层神经元个数和输出层神经元个数的确定。众所周知, 网络的泛化能力是非常重要的。因此, 训练网络不能将训练时间的消耗视为重要的因素, 而要应将泛化能力放到第一位。因此, 如果目标误差设置不当, 在训练没有收敛的情况下停止训练, 网络泛化能力就很差。特别是在采用 Levenberg- Marquardt 快速收敛算法时, 可能很快就能使网络训练误差达到目标训练误差要求, 但是网络还没有达到收敛, 此处, 将目标误差设为 0.001。网络参数如表 2 所示。

表 2 BP 神经网络参数

网络层数	各神经元数目	传递函数	训练算法
3	[10, 4]	{ 'logsig', 'purelin' }	'trainlm'

接下来对网络进行训练, 输入如下命令:

```
net= newff ( minmax ( P ), [ 10, 4 ], { 'logsig',  
'purelin' }, 'trainlm' ),  
net.trainParam. show= 100,  
net.trainParam. epoch= 2000,  
net.trainParam. goal= 1e- 3,  
[ net, tr]= train( net, P, t ),
```

2.3.4 定义验证样本和测试样本 通过定义验证样本和测试样本, 对网络进行验证和仿真。运用 BP 神经网络进行健康评价, 除了每次运行都具有一定的随机性外, 选择的神经元数目也会影响网络的诊断性能, 如神经网络隐含层的确定。仿真时, 先读取测试样本 ptest, 再在 matlab 命令空间输入 Result_test=sim(net, ptest) 命令进行仿真。

2.4 GIS 技术

GIS 优势在于它把计算机图形和数据库融于一

体, 将地理位置和相关属性有机地结合起来, 利用其强大的空间查询与分析功能, 通过各种假设分析来模拟区域内空间规律和发展趋势, 根据实际需要, 真实、准确、图文并茂的显示或输出给用户。本文采用的森林健康评价的主要方法是在资料收集整理的基础上, 建立评价指标体系、选取评价因子、确定评价单元, 然后构建改进 BP 神经网络模型进行训练仿真, 将结果通过属性连接导入数据库, 最后在 ArcMap 中通过属性选择(Selected By Attributes)、统计(Statistics) 等对长白山两江林场天然白桦林森林健康状况进行分析。

本文的数据分析、处理及制图在 Matlab7. 1 及 ArcGIS 9. 2 中完成。

3 结果与分析

3.1 训练验证曲线

对系统网络模型进行训练, 训练过程选择训练算法(trainlm) 进行计算。这是一种直接批处理训练的应用。泛化能力与很多因素有关, 其中训练也是一个重要的因素。图 1 为该网络的收敛曲线, 经过 25 次迭代, 网络达到目标误差为 0.001 的要求。如果网络没有收敛就被停止, 那么网络的泛化误差肯定很大, 同时鲁棒性非常差, 最明显的体现在不同初始权重产生的结果差异极大(初始权重敏感性)。

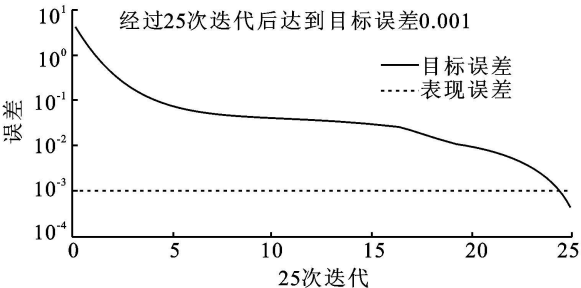


图 1 网络收敛曲线

3.2 白桦林健康状况

将改进 BP 神经网络模型进行模式识别出的代码对应等级导入数据库, 利用 ArcMap 制图所得长白山白河林业局两江林场天然白桦林健康状况示意图(图 2)。经统计计算, 两江林场白桦林 140 个森林小班, 总面积 1 007. 5 hm²。分为 4 级(非常健康、一般健康、亚健康、不健康)。其中非常健康的小班数 19 个, 面积为 226 hm², 占林场内白桦林总面积的 22. 43%; 一般健康的小班 56 个, 面积为 503 hm², 占林场内白桦林总面积的 49. 93%; 亚健康的小班 37 个, 面积 192 hm², 占林场内白桦林总面积的 19. 06%; 不健康的小班 28 个, 面积为 86. 5 hm², 占林场内白桦林总面积的 8. 59%。两江林场中, 处于一般健康的小班最多。

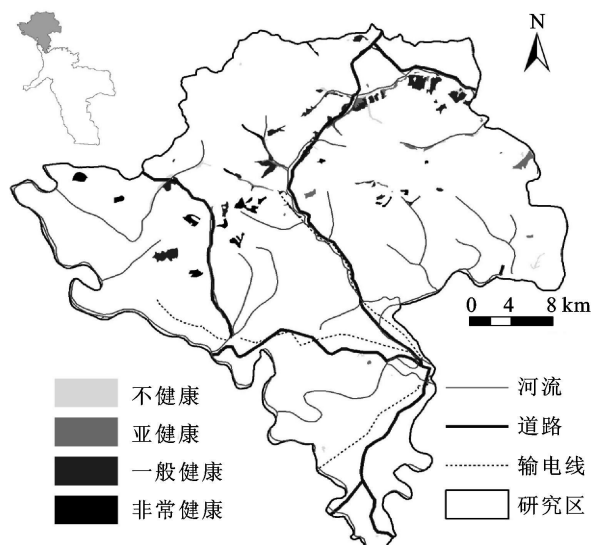


图 2 两江林场白桦林健康状况示意图

因此,两江整个林场的森林大体处于一般健康状态。占总面积 22.43% 的白桦林属于健康,49.93% 的白桦林处于较健康状态,19.06% 的白桦林为亚健康状态,而只有 8.59% 的白桦林是不健康的。

4 结论与讨论

(1) 用 GIS 和神经网络方法能较好地克服资料占有的不足以及经验方面的局限性对森林健康进行快速评价。运用 Levenberg-Marquardt 优化算法比传统的 BP 及其它改进算法(如共轭梯度法、附加动量法、自适应调整法及拟牛顿法等)迭代次数少,收敛速度快,精确度高。

(2) 实践证明,改进 BP 神经网络在解决森林生态系统这样复杂的系统很有优势,能根据大量的林业调查数据来进行生态系统健康评价,应用效果良好。训练方法采用 LM(levenberg-marquardt) 算法,进一步提高 BP 网路训练速度和训练精度。经过 25 次迭代,网络达到目标误差为 0.001 的要求。评价结果显示:两江整个林场的森林大体处于一般健康状态,占总面积 22.43% 的白桦林属于健康,49.93% 的白桦林处于较健康状态,19.06% 的白桦林为亚健康状态,而只有 8.59% 的白桦林是不健康的。

(3) 目前有关生态系统健康研究的一些基本问题尚未达成共识,而生态系统健康的跨学科性决定了生态系统健康研究需要生态学、环境学、医学、社会学以及经济学等领域研究人员的广泛合作^[14]。随着计算机技术和遥感技术的发展,将会展示更广阔的发展前景和紧密结合,今后的森林健康评价发展方向将是多学科多领域多源数据的融合^[15]。

(4) 虽然用 BP 神经网络进行森林健康评价会存

在一定的误差,如网络结构大小的选择,训练样本数的多少及其不确定性,训练算法的选择等,但总体而言,基于 GIS 和改进 BP 神经网络模型用于森林健康快速评价这一方法是确实可行的,不失为进行定量评价森林生态系统健康的一种良好方法。

参考文献:

- [1] Chen G, Yang Z F, Cui B S. New assessment method on forest ecosystem health-Integrated Composed Index (ICI) and its pilot application[C]// The Proceedings of the China Association for Science and Technology, 2004: 602-613.
- [2] 施明辉,赵翠薇,郭志华,等.森林健康评价研究进展[J].生态学杂志,2010,29(12):2498-2506.
- [3] Jaiswal R K, Mukherjee S, Raju K D, et al. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2002, 4: 1-10.
- [4] Phua M H, Minowa M. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia[J]. Landscape and Urban Planning, 2005, 71: 207-222.
- [5] Graymore M L M, Wallis A M, Richards A J. An Index of Regional Sustainability: A GIS-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability[J]. Ecological Complexity, 2009, 6: 453-462.
- [6] 王艳,宋振柏,吴佩林.基于 BP 网络的高新技术产业用地适宜性评价[J].水土保持研究,2008,15(4):252-254,270.
- [7] 刘登峰,齐实,韩小杰,等.缙云山不同土地利用类型地表径流水质评价[J].水土保持研究,2009,16(1):130-134.
- [8] 彭馥艳,丁辉,赵源.基于 RBF 网络的大气环境质量评价[J].水土保持研究,2006,13(5):158-159,163.
- [9] 姬文元,邢韶华,郭宁,等.川西米亚罗林区云冷杉林健康状况评价[J].林业科学,2009,45(3):13-18.
- [10] 范敏锐,吕锡芝,余新晓,等.森林生态系统健康快速评价研究[J].水土保持通报,2010,30(3):199-203.
- [11] 刘文军,铁牛,席青虎.大青山天然白桦林健康评价研究[J].现代农业科技,2009,4(10):10-11,14.
- [12] 甘敬,朱建刚,张国祯,等.基于 BP 神经网络确立森林健康快速评价指标[J].林业科学,2007,43(12):4-10.
- [13] 张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [14] 朱建刚,余新晓,甘敬,等.生态系统健康研究的一些基本问题探讨[J].生态学杂志,2010,29(1):98-105.
- [15] 孔红梅,姬兰柱.生态系统健康评价方法初探[J].应用生态学报,2002,13(4):486-490.