

基于 RBF 网络的大气环境质量评价

彭馥艳¹, 丁辉¹, 赵源^{2,3}

(1. 四川师范大学资源与环境学院, 成都 610066;

2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以大气环境质量标准为基础样本, 构建了径向基网络模型(RBF-ANN), 利用该网络对 6 个区域的大气环境质量进行了评价, 结果表明: RBF 网络简便有效, 可操作性强, 具有极快的收敛速度和分类能力, 能大大节约计算时间, 经与其它方法比较, 评价结果具有较高的精度和可信度, 并且 RBF 网络具有良好的泛化能力, 适用性广, 显示出良好的应用前景。

关键词: RBF 网络; 大气环境质量; 评价

中图分类号: X51

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0154-02

Application of RBF-ANN in Atmospheric Environmental Quality Evaluation

PENG Fu-yan¹, DING Hui¹, ZHAO Yuan^{2,3}

(1. Faculty of Resources and Environment, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: According to the basis of the atmospheric environmental quality standard, a Radial Basis Function Network can be constructed, which is one of the artificial neural network. The model is used to evaluate the atmospheric environmental quality of six regions. Practice shows that the result has better precision and reliability comparing with other methods. With its fast convergence speed and good classification capability, the RBF-ANN is convenient in operation and can save a lot of time. It has good extensive ability and takes on wide application foreground.

Key words: RBF-ANN; Atmospheric Environmental Quality; Evaluation

大气环境质量评价是城市生态环境质量评价的重要组成部分,也是当今研究的热点和焦点问题,先后出现了指数法^[1]、模糊数学法^[2,3]、灰色聚类法^[4]和物元分析法^[5]等多种分析方法。近年来,随着人工神经网络的迅速发展,这一理论也被逐渐引入到了大气环境质量评价中^[6-9],但目前采用的网络模型比较单一,主要是 BP 网络及其改进型,而对其它网络模型的研究不多,本文就 RBF 网络在大气环境质量评价的应用进行了探讨。

1 基本原理

径向基函数网络(Radial Basis Function Network, 简称为 RBF 网络)是前向型神经网络的一种类型,具有强大的矢量分类功能和快速计算能力,能以任意精度逼近任意非线性函数,被誉为“最适合于模式识别任务的神经网络”^[10]。RBF 网络由三层组成,第一层为输入层,第二层为隐层(径向基层),第三层为输出层,其结构如图 1 所示,信号从输入层传递到径向基层,在核函数的作用下产生局部响应,并在输出层形成线性输出。

隐层中的核函数是径向对称的,并且有多种类型,但最常用的是高斯函数,如下式所示^[11]:

$$u_j = \exp\left[-\frac{(X - C_j)^T(X - C_j)}{2\sigma_j^2}\right] \quad j = 1, 2, 3, \dots, N_h \quad (1)$$

式中: u_j ——第 j 个隐层节点的输出; $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ T ——输入样本; C_j ——高斯函数的中心值, σ_j ——标准化常

数, N_h ——隐层节点数。由上式可知,节点的输出范围在 0 ~ 1 之间,且输入样本愈靠近节点的中心,输出值愈大。

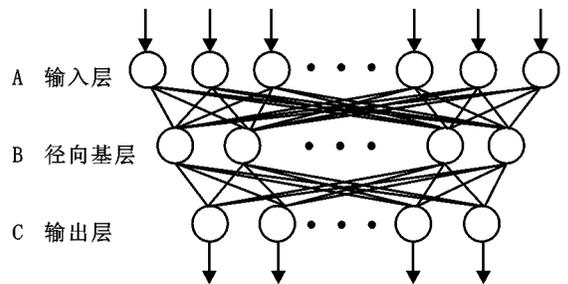


图 1 RBF 网络结构

RBF 网络的学习过程分为两阶段:第一阶段,根据输入样本决定径向基层各节点的高斯核函数的中心值 C_j 和标准化常数 σ_j ;第二阶段,在决定好隐层的参数后,根据样本,利用最小二乘原则,求出输出层的权值 W_i ^[11]。因此,网络的训练需要提供输入样本、目标样本以及径向基函数的分布系数。

2 研究实例

2.1 网络设计

训练样本的代表性直接影响神经网络的评价质量和泛化能力,这里以大气环境质量标准作为 RBF 网络的学习样本,选择了降尘、PM₁₀、SO₂ 和 CO 四个反映大气污染状况的不相

* 收稿日期: 2005-10-08

作者简介: 彭馥艳(1981-),女,四川成都人,硕士研究生,主要从事区域环境质量影响分析和评价方面的学习和研究。

容指标, 根据中华人民共和国国家标准《环境空气质量标准》, 将大气质量划分为如表 1 所述的五个等级。根据评价特点, 在 Matlab 环境下建立由 4 个输入单元和 1 个输出单元的神经网络结构, 目的是要通过神经网络对评价指标进行自主分析, 对 6 个待评区域(表 2^[5]) 的大气环境质量进行评价, 输出惟一的评价值, 将大气环境质量分成理想级、良好级、安全级、污染级、重污染级五个等级, 输出向量 $y = [1\ 2\ 3\ 4\ 5]$ 。

表 1 污染物指标与分级标准 mg/m^3

污染物指标	理想级	良好级	安全级	污染级	重污染级
降尘	6	12	20	40	80
PM ₁₀	0.1	0.15	0.25	0.5	0.9
SO ₂	0.1	0.15	0.25	0.5	0.9
CO	2	4	6	12	20

表 2 网络评价样本 mg/m^3

降尘	10.2	16.4	25.7	11.5	2.6	8.2
PM ₁₀	0.14	0.18	0.52	0.11	0.05	0.03
SO ₂	0.13	0.28	0.32	0.12	0.02	0.02
CO	4.2	5.5	5.8	2.8	1.8	0.9

2.2 样本规范化

为便于计算, 在网络训练前, 需要对表 1 和表 2 中的数据进行规范化处理, 方法如下:

$$\begin{cases} \overline{x_{ij}} = \frac{p_{ij}}{p_{\max}(i)} & i = 1, 2, 3, 4 \\ \overline{x_{ij}} = \frac{p_{ij}}{p_{\max}(i)} & p_{ij} < \overline{p_{\max}(i)} \\ \overline{x_{ij}} = 1 & p_{ij} \geq \overline{p_{\max}(i)} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\overline{x_{ij}}$ —— 指表 1 中数据经过处理后的值, $\overline{p_{ij}}$ —— 表 1 中的各个数据, $p_{\max}(i)$ —— 表 1 第 i 行的数据最大值, $\overline{x_{ij}}$ 表 2 中数据经过处理后的值, p_{ij} —— 表 2 中的各评价指标值。经过规范化的学习样本和训练样本列于表 3 和表 4。

表 3 规范化后的学习样本

污染物指标	理想级	良好级	安全级	污染级	重污染级
降尘	0.0750	0.1500	0.2500	0.5000	1.0000
PM ₁₀	0.1111	0.1667	0.2778	0.5556	1.0000
SO ₂	0.1111	0.1667	0.2778	0.5556	1.0000
CO	0.1000	0.2000	0.3000	0.6000	1.0000

表 4 规范化后的评价样本

降尘	0.1275	0.2050	0.3213	0.1438	0.0325	0.1025
PM ₁₀	0.1556	0.2000	0.5778	0.1222	0.0556	0.0333
SO ₂	0.1444	0.3111	0.3556	0.1333	0.0222	0.0222
CO	0.2100	0.2750	0.2900	0.1400	0.0900	0.0450

用 newrb 生成一个径向基网络, newrb 可自动增加 RBF 网络的隐层神经元, 直到均方差满足为止, 取均方差为 0.000 001, 分布系数为 1, 建立如图 1 所示的网络结构, 输入层神经元数为 4, 隐层神经元数为 5, 输出层神经元数为 1, IW{1, 1}、b{1, 1} 分别表示初始权值和阈值, LW{2, 1}、b

{2} 经过运算得到的新的权值矩阵和阈值矢量。

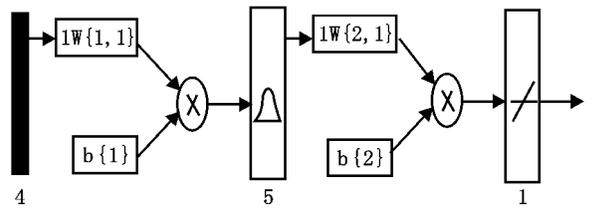


图 2 神经网络结构

2.3 实例评价

网络训练好后, 由 sim 命令对表 2 中待评区域的大气环境质量进行评价, 得到最终的评价结果:

$$y = [1.9086\ 2.7211\ 3.1002\ 1.5393\ 0.44968\ 0.42699]$$

数值介于 0~1 的大气环境质量属于 1 级(理想级), 1~2 属于 2 级(良好级), 2~3 属于 3 级(安全级), 3~4 属于 4 级(污染级), 4 以上属于 5 级(重污染级)。根据 RBF 网络的评价结果, 可知上述 6 个地区的大气环境质量由低到高依次为: > > > > > 。为检验其评价效果, 与其它评价方法^[5,12] 的结果进行了对比, 从表 5 中可见, 通过 RBF 网络计算出的区域大气环境质量与其它评价方法所得结果完全一致。

表 5 不同评价方法比较

评价区域	物元分析法	灰色聚类法	RBF 网络
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
2	2	2	2
1	1	1	1
1	1	1	1

3 结论

通过 RBF 网络在大气环境质量评价中的应用, 可以得到以下几点结论:

(1) 运用 RBF 网络只需以国家制订的空气质量标准为基础即可展开评价, 方法简单, 可操作性强, 并且在网络被训练好后, 就具有广泛的适用性, 可以推广到多个相关的评价实例中。

(2) 在评价中, 不仅可以得到大气环境质量的等级, 还能对属于同一等级的区域的大气环境质量做进一步比较, 计算结果具有客观性, 避免了权重分配等人为因素干扰。

(3) 与一般数学方法相比, RBF 网络拥有不需要建立研究对象数学模型的非线性信息处理能力, 运算速度极快, 节省了大量花费在数学建模和繁琐运算上的时间, 尤其在处理大批量数据的过程中更能体现其优越性。而与传统的 BP 网络相比, RBF 网络无论在逼近能力、分类能力还是学习速度上都优于前者, 是一种非常有应用前景的神经网络。

(4) RBF 网络是一种行之有效的评价手段, 在实际运用中, 如果将不同方法相互补充和综合运用, 能大大增强计算的科学性和合理性, 取得最佳的评价效果。

致谢: 胡燕博士对本文的写作给予了指导, 在此深表感谢。

参考文献:

[1] 张秀宝, 高伟生, 应龙根. 大气环境污染概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 185- 198.
 [2] 张弟鑫. 四川省城市大气环境质量的模糊识别[J]. 四川环境, 1988, 7(4): 81- 85.
 [3] 邓超冰. 模糊决策与大气环境质量评价[J]. 环境污染与防治, 1992, 14(4): 28- 30.
 [4] 杨继东. 灰色聚类法在大气环境质量评价中应用[J]. 大气环境, 1991, 6(5): 44- 47.
 [5] 冯利华, 胡希军, 黄中伟. 环境质量的物元分析[J]. 环境保护科学, 2001, 27(107): 35- 37.
 [6] 李祚泳, 邓新民. 大气环境质量综合评价的 B- P 网络模型[J]. 重庆环境科学, 1994, 16(8): 37- 40.

死地被物的积累量大,森林生态系统苔藓枯落物层持水能力较强,持水能力越强对降水的截留越多。一般情况,祁连山区大多数降雨不能使该层达到最大持水量。但为了确保森林具有强大的水源涵养和调节径流功能,必须注意保护好具有强大持水能力的苔藓枯落物层,同时,也要采取有力措施加强林下灌草植被的培育与保护,进一步提高森林生态系统的水文调节功能。

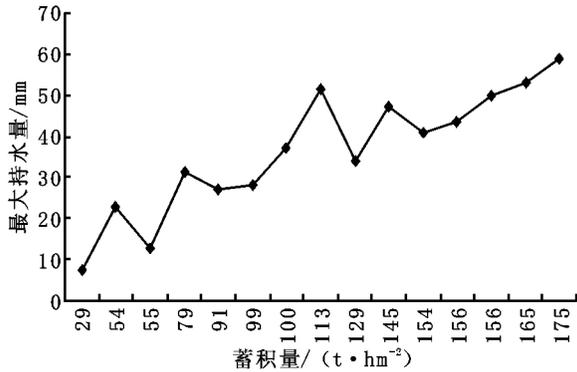


图4 青海云杉林苔藓枯落物层蓄积量与持水能力的关系

4.5 苔藓枯落物层水文功能及水分传输机制

苔藓枯落物层作为土壤与大气进行物质能量交换的重要界面,通过吸持降水、阻塞水分传输通道,参与土壤、植物、大气系统的水分循环,增加了水分分配在时间和空间上的变异性。森林苔藓枯落物层持水量动态变化在森林水文循环中的意义在于其对林冠下大气和土壤之间水分和能量传输的影响,特别是森林苔藓枯落物层持水性能的大小与森林流域产流机制密切相关,并受组成、林分类型、林龄、枯枝落叶分解状况、累积状况、前期水分状况、降雨特点(降水大小、强度高、历时长短)的影响,已经在研究中得到了证实。

水分在苔藓枯落物层的传输机制类似于林冠截留过程,其截留量与苔藓枯落物层的种类、储水能力有关,与林地单位面积苔藓枯落物层蓄积成正比。但苔藓枯落物层水分传输机理研究由于苔藓枯落物层厚度、分解特性、组成结构、前期含水量的时空变异及其模糊的边界层等特性,使其成为森林水文研究的一个难点和重点。目前,国内外对苔藓枯落物

层生态水文效益研究大部分是在人工模拟条件下进行的,由于天然降雨类型变化多端,导致人工模拟降雨条件下对苔藓枯落物层水文过程的研究结果与天然降雨情况仍有一定的差别,如在自然条件发现苔藓枯落物层在没有达到最大持水量时已经有水渗出,自然条件下的截留达不到室内测定的高限,主要是由于试验区大多数降水历时较短,且林地坡度较大,一般不会出现较长时间的浸水条件。因此,进一步加强苔藓枯落物层水文特性的野外测定是今后森林水文研究的一个重要方面。

5 结论

祁连山林区青海云杉林内苔藓枯落物分布与组成存在明显差异,15个样地平均厚度8.2 cm,厚度最大达13.7 cm,最薄仅1.5 cm,相差近10倍;苔藓枯落物中未分解成分较多,占总量的42.8%;半分解和已分解成分较少,分别占23.8%和33.4%;未分解成分在0.8~7.8 cm之间波动,半分解成分在0.7~2.9 cm之间波动,已分解成分在0.4~3.8 cm之间波动。

祁连山青海云杉林苔藓枯落物层水文特性在森林水文循环中的意义在于对林冠下大气和土壤之间水分和能量传输的影响。祁连山青海云杉林区基本无地表径流产生,这与苔藓枯落物层相对较厚有着密不可分的关系。苔藓枯落物层最大持水率因立地条件、海拔位置不同而有很大区别,低海拔波动幅度大于高海拔地区,造成的主要原因是低海拔地区人类活动频繁。

祁连山青海云杉林区的一个显著特征是苔藓枯落物比较厚,对于降水的再分配具有直接的作用,是森林涵养水源的重要作用层。该层持水作用是森林生态系统水分循环中的重要一项。西水试验区苔藓枯落物层蓄积量平均为113.4 t/hm²,其值在29.4~174.6 t/hm²范围内波动,最大最小相差145.2 t/hm²;苔藓枯落物层最大持水量平均为36.4 mm,测定值在7.6~59.1 mm之间变化;且苔藓枯落物层持水能力与其蓄积量呈正相关,随着苔藓枯落物层蓄积量增大其持水能力呈增加趋势。

试验流域苔藓枯落物层平均厚度为9.7 cm,穿透降水为178.7 mm,截留量为57.8 mm,占穿透降水的32.34%。

参考文献:

- [1] 张元明,曹同,潘伯荣. 干旱半干旱地区苔藓结构生态学研究综述[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1129- 1134.
- [2] 余新晓,于志民,等. 水源保护林培育、经营、管理、评价[M]. 北京:中国林业出版社, 2001. 263- 265.
- [3] 王兵,聂道平,郭泉水,等. 大岗山森林生态系统研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2003. 204- 206.
- [4] 张洪江,程金花,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性[J]. 林业科学, 2003, 39(5): 147- 151.
- [5] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文功能规律[M]. 北京:中国林业出版社, 1996. 160- 162.
- [6] 于志民,王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京:中国林业出版社, 1999. 37- 44.
- [7] 孙立达,朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1995. 276- 282.
- [8] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用的研究概况[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 109- 113.
- [9] 阎文德,张学龙,王金叶,等. 祁连山森林枯落物水文作用的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(2): 7- 14.
- [10] 常宗强,王金叶,常学向,等. 祁连山水源涵养林枯枝落叶层水文生态功能[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(增): 8- 13.
- [11] 程根伟,余新晓,赵玉涛,等. 山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M]. 北京:科学出版社, 2004. 112- 118.

(上接第155页)

- [7] 陈云浩,郭达志,杜培军. 遗传BP算法在大气环境综合评价中的应用[J]. 上海环境科学, 1998, 14(12): 17- 18.
- [8] 杨立民,许有鹏. 改进遗传神经网络方法在大气环境质量评价中的应用[J]. 环境科学研究, 1999, 12(2): 28- 31.
- [9] 熊德国,学福,富春. 燃煤型城市环境空气质量综合评价的模糊神经网络模型[J]. 中国矿业, 2004, 13(1): 55- 56.
- [10] 蒋德明,陈渭民,傅炳珊,等. 基于径向基函数网络的云自动分类研究[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 89- 95.
- [11] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助神经网络分析与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2003. 72- 74.
- [12] 冯利华,王基一,章明卓. 环境质量的灰色聚类分析[J]. 环境保护科学, 2000, 26(10): 37- 39.