

级联加法 TS 型 MLP 预警藻类污染

徐 华^{1,2} 薛恒新¹ 须文波²

(南京理工大学经济管理学院 南京 210094)¹ (江南大学信息工程学院 无锡 214122)²

摘 要 人工神经网络由于其很多的特点与优势,现已被广泛关注和运用。但是人工神经网络也存在学习过程易陷入局部极小、易出现震荡和网络存在冗余连接或节点等缺陷。针对这些不足,一种新的级联 MLP 神经网络 CATSMLP 比 ATSMMLP 有更好的鲁棒性和高度的解释性,并且是一个万能逼近器,而且 CATSMLP 克服了一般多层感知器网络随着中间层数增多鲁棒性降低的缺点。藻类的生长是湖泊等水体污染程度的一个直接表现形式。在某些情况下,甚至精密仪器都不能测出某些藻类污染物,因此需要好的方法越来越受到专家学者们的重视。将其首次用于藻类污染预警,仿真试验表明其用于环境污染防治等方面有很好的效果,值得推广应用。

关键词 级联 MLP,鲁棒性,解释性,叶绿素

中图分类号 TP403 **文献标识码** A

Cascade Adder TS-MLP Algae Pollution Warning

XU Hua^{1,2} XUE Heng-xin¹ XU Wen-bo²

(School of Economics and Management, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)¹

(School of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214122, China)²

Abstract Artificial neural networks, because of their many features and advantages, is now being widely concerned and used. But there are also artificial neural network learning process into local minimum easy, easy existence of a concussion and redundant network connections or nodes, and other defects. Against these deficiencies, a new neural network cascade MLP CATSMLP is better robust and highly explanatory than ATSMMLP, and is a panacea for approximation. And CATSMLP overcomes the general Multi-layer perception network with increased robustness of the middle floors to reduce the shortcomings. Lakes is the growth of algae and other water pollution degree of a direct manifestation. In some cases, even precision instruments can detect certain algae pollutants, we need a good method by experts, and scholars have more attention. Its algae pollution warning, simulation experiments show that its environmental pollution control is widely used.

Keywords Cascade MLP, Robustness, Explanatory, Chlorophyll

1 引言

国内外预测方面的研究文献主要涉及到人工神经网络、回归方法、马尔科夫链、模糊数学、时间序列、向量机、小波分析、数据挖掘、决策树方法、混沌方法、灰色理论、组合预测和智能代理等^[1,2]。

目前组合预测在预测文献中占很大的比重,在组合预测方法的部分研究成果中,存在着一些问题,主要表现在:预测、估计及平滑概念之间的区别;变权重的方法;权重的范围;权重的最优问题;预测精度的求取。人工神经网络也得到了广泛的应用。BP 神经网络是最为重要的一种人工神经网络。但是 BP 网络容易出现当网络训练误差很小的时候,一个新的输入会使网络的训练误差迅速加大,使预报误差加大,而且

BP 神经网络的学习过程易陷入局部极小、易出现震荡和网络存在冗余连接或节点等缺陷。可以说人们在藻类生长预测研究方面已经取得了一些进展,也提出了不少方法。但还是存在许多困难与问题,比如中长期预测能力还很差、预测不同对象时需要重新建模等等。

MLP 像传统的许多神经网络那样被看作是一个黑箱, D. Zhang 等^[3]构造了一种新的类 MLP 神经网络 ATSMMLP。与传统的 MLP 相比, ATSMMLP 神经网络的优点在于:它能够得到很好的解释而不再被看作是一个黑箱,并且在同样的目标下 ATSMMLP 需要更少的神经元结点和可调节参数。

级联结构能够有效地降低网络的计算复杂度并有效地克服“维数灾难”问题^[4,5]。CATMLP 神经网络是通过级联的方式把多个 ATSMMLP 组织起来。它与级联模糊推理系统之间

到稿日期:2008-05-13 本文受国家 863 计划基金项目(2007AA1Z158)自适应的多通道选择机制和用户模型关键技术,江南大学青年基金(2008LQN028)人工智能、模糊系统等技术应用于防治环境污染,温州市清洁生产及其管理信息系统研究与设计环保项目资助。

徐 华(1978-),女,博士生,讲师,主要研究方向为环境污染、人工智能和管理信息系统, E-mail:joanxh2003@163.com;薛恒新(1946-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为管理信息系统、CIMS、供应链管理、现代管理理论和方法等;须文波(1946-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为人工智能、计算机应用等。

的等价性使得该网络具有高度的可解释性,使其不再像传统的神经网络那样被认为是一个黑箱。CATSMLP 也是一个万能逼近器,其二级演绎模糊推理较一般的 if-then 模糊推理对于等量的噪音输入所造成误差具有更小的误差上界。CATSMLP 较 ATSMPLP 对于等量的噪音输入在误差上界方面有更好的鲁棒性。这些优点都是其它方法所不能比拟的,这种模型既适合于短期预测,也适合于中长期预测,且建模效率很高。

当前环境保护越来越受到人们重视,为了更有效地进行环境污染的防治,对其进行科学的预测是非常重要的。仿真试验表明此方法能得到较好的建模效果,很有潜力。

2 级联加法 TS 型 MLP 神经网络 CATSMLP

本节介绍这种新的 MLP 神经网络模型级联 ATSMPLP—CATSMLP^[6]。在 CATSMLP 中, M 个 ATSMPLP 以级联的方式被组织起来,每一个 ATSMPLP 作为 CATSMLP 中的一级。CATSMLP 神经网络的结构如图 1 所示。从图 1 中可以看出:CATSMLP 中前一级的输出同时又作为后一级的输入。 $x = (x_1, \dots, x_d)^T$ 对应于网络的输入,它只出现在第一级中。 $y^M = [y_1^M, \dots, y_{d_M}^M]^T$ 对应网络的输出,它只出现在第 M 级中。中间变量 $y^k = [y_1^k, \dots, y_{d_k}^k]^T (k = 1, 2, \dots, M-1)$ 即作为第 $k (k=1, 2, \dots, M-1)$ 级的输出又同时作为第 $k+1$ 级的输入。

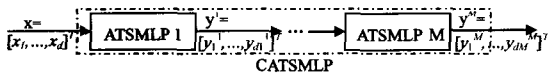


图 1 CATSMLP 神经网络结构

使

$$y^0 = [y_0^0, y_1^0, \dots, y_{d_0}^0]^T = [1, x_1, \dots, x_d]^T \quad (1)$$

$$y^k = [y_1^k, y_2^k, \dots, y_{d_k}^k]^T, k=1, \dots, M-1, y_0^k \equiv 1 \quad (2)$$

那么,图 1 中 CATSMLP 神经网络第 k 级的输出可表示为:

$$y^k = (y^{k-1})^T g^k = \sum_{i=0}^{d_{k-1}} g_{i,s}^k y_i^{k-1} = \sum_{i=0}^{d_{k-1}} \left(\sum_{j=1}^{M_k} v_{ij,s}^k \varphi \left(\sum_{h=0}^{d_{k-1}} w_{ih}^k y_h^{k-1} \right) \right) y_i^{k-1}, k=1, \dots, M, s=1, \dots, d_k \quad (3)$$

其中 d_k 表示网络第 k 级输出向量的维数, M_k 表示网络第 k 级中 S 型隐层所包含的结点数目, $v_{ij,s}^k = [v_{ij,s}^k]_{(1+d_{k-1}) \times M_k} (s=0, 1, \dots, d_k, i=0, 1, \dots, d_{k-1}, j=1, \dots, M_k), w^k = [w_{ih}^k]_{M_k \times (1+d_{k-1})}, j=1, \dots, M_k, h=0, 1, \dots, d_{k-1}$ 为第 k 级中的连接权矩阵。

MLP 网络与 CATSMLP 网络最大的不同在于:传统的 MLP 网络的中间层结点采用的全部是 S 型(Sigmoid)激活函数,而 CATSMLP 网络的中间层结点采用既有 S 型激活函数又有线性激活函数。

文献[6]的研究已经证明,CATSMLP 网络具有如下优点和性质:1)给定任意的 CATSMLP 神经网络,必存在对应的 CATSFIS 模糊系统,它们是完全等价的。2)它是一个万能逼近器。3)CATSMLP 较 ATSMPLP 对于等量的噪音输入在误差上界方面有更好的抗噪能力,更好的鲁棒性。4)具有高度的可解释性等等。

3 藻类污染预警实例

通过藻类监测水体污染在水生生物监测中占有重要的地位。叶绿素 a 是藻类的特征色素之一,它在一切藻类中约占

有机物干重的 1%~2%,是估算藻类浓度的一个非常好的指标,大多数的学者建议以叶绿素 a 作为替代藻类计数的水质参数。

现将 CATSMLP 和 ATSMPLP 分别用于某市的一条重要河流叶绿素变化的预测。为了比较公平,两种网络均含有相同数目的隐节点。同时为了简便而又不失一般性,所使用的 CATSMLP 含有两级 ATSMPLP。采用 2000 年 8 月 10 日到 2003 年 10 月 1 日叶绿素的日监测数据。其中前 600 天的数据作为训练样本,后 580 天的数据作为检验样本。

将水分分为高藻期和低藻期。从图 2 和图 3 可以看出,2,3,4,5 月份水中的藻类含量基本上都低于 20mg/m³,属于低藻期;而 6,7,8,9,10,11,12 和 1 月份水中的叶绿素 a 含量高于 20mg/m³ 的频率较高,属于高藻期。从图 3 可以看出 CATSMLP 预测效果更好,而且具有更好的可解释性,对噪音输入有更小的误差上界。

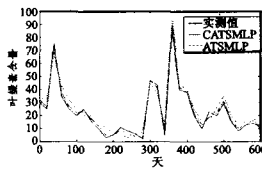


图 2 训练样本的拟合结果

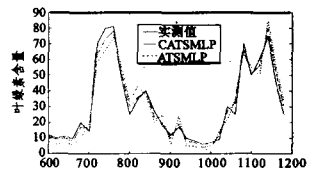


图 3 检验样本的拟合结果

国务院将各类突发公共事件按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等,划分为 4 级:特别重大、重大、较大和一般。因此水监测预警的级别也根据这个划分为 4 级,依次用红色、橙色、黄色和蓝色表示。一般认为,如果水中叶绿素 a 含量高于 20mg/m³,则会对水过滤效果产生影响,就要预警。

结束语 研究分析了 MLP, ATSMPLP 和一种新的级联 MLP 神经网络 CATSMLP。CATSMLP 的优点在于:(1)具有很好的泛化能力;(2)具有高度的可解释性和抗噪能力;(3)它克服了一般多层感知器网络随着中间层数增多鲁棒性降低的缺点;(4)它是一个万能逼近器。仿真试验中首次将它们运用于藻类污染,发现得到的误差指标较低,得到的预报值与实测值拟合得较好。而且所需的时间少,效率高,实用性强。表明该方法在建模中显示出其独特的优越性,并将会在污染预测等方面有很好的潜在应用价值,也可在其他领域中良好运用,值得推广和应用。

参考文献

- [1] 高卫峰,姚志红. 基于 BP 神经网络的藻类生长预测研究[J]. 微计算机信息, 2005, 21(10-1): 167-169
- [2] 陈华友,赵佳宝. 基于灰色关联度组合预测模型的性质[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2004, 134(11): 130-134
- [3] Zhang D, Li D, Cai K Y. Extended neuro-fuzzy models of multi-layer perceptrons[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2003, 137: 215-233
- [4] Duan J C, Chung F L. Cascaded fuzzy neural network model based on syllogistic fuzzy reasoning[J]. IEEE Trans. Fuzzy Syst., 2001, 9: 293-306
- [5] Chung F L, Duan J C. On multistage fuzzy neural network modeling[J]. IEEE Trans. Fuzzy Syst., 2000, 8: 125-142
- [6] Chung Fu-Lai, Wang Shitong, Deng Zhaohong, et al. CATSMLP: Toward a Robust and Interpretable Multilayer Perceptron With Sigmoid Activation Functions[J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2006, 36(6): 1319-1331