

Elman 神经网络及其在河口水质评价中的应用^①

范翠香¹, 张园园², 薛鹏松²

¹(西安理工大学 高等技术学院, 西安 710048)

²(西安联能自动化工程有限责任公司, 西安 710119)

摘要: 应用 Elman 神经网络对河口水质进行评价, 确定其水质级别及污染程度. 根据汾河入黄口的实际污染情况及因子选择的目的原则, 确定评价因子, 构建基于 Elman 神经网络的河口水质评价模型. 应用训练好的 Elman 神经网络河口水质评价模型对河津大桥监测断面 2010 年各月水质进行评价, 分析研究汾河入黄口处的水质污染状况, 结果表明, 汾河入黄口河津大桥监测断面 2010 年各月综合水质均为劣 V 类水, 因此, 汾河入黄口污染治理迫在眉睫, 应从源头加强汾河污染物入河量的控制. 水质识别实例表明 Elman 河口水质评价模型避免了传统神经网络无法实时改变模型结构和缺乏对未来突变情况适应性的缺点, 使得训练好的网络具有非线性和动态特性, 水质评价结果切合实际, 具有很好的实用性.

关键词: Elman 神经网络; 汾河入黄口; 水质评价; 评价因子; 污染物

Elman Neural Network and its Application in Estuarine Water Quality Assessment

FAN Cui-Xiang¹, ZHANG Yuan-Yuan², XUE Peng-Song²

¹(Faculty of High Vocational Education, Xi'an University of Technolog, Xi'an 710048, China)

²(Xi'an Lianneng Automation Engineering Co.Ltd, Xi'an 710048, China)

Abstract: Elman neural network was applied to evaluate estuarine water quality, and then the water quality and pollution levels were determined. According to the actual pollution of Fen River's estuary to Yellow River and the objective principle of factor selection, the evaluation factors were determined, and the estuarine water quality evaluation model which was based on Elman neural network was established. The trained model was used to evaluate the water quality of Hejin bridge monitoring section each month in 2010 and analyse the water pollution condition of Fen River's estuary to Yellow River. Results indicated that the comprehensive water quality of Hejin bridge monitoring section at Fen River's estuary to Yellow River each month in 2010 were inferior V. Therefore, the pollution control of Fen River's estuary to Yellow River is imminent, source control of pollutants into Fen River should be strengthened. The example of water quality identify shows that the model can avoid the shortcomings of traditional neural network model, such as traditional neural network model cannot change the structure of the model in real time and it lacks of adaptability to future mutations, and make the trained network with nonlinear and dynamic characteristics. The water quality evaluation results of this model are realistic. So, the model has a good usability.

Key words: elman neural network; Fen River's estuary to Yellow River; water quality assessment; evaluation factors; pollution

近年来, 河流径流量的锐减及大量未经处理的工业废水及生活污水排入河流, 造成干支流交汇的河口及近岸水体污染严重, 成为河流整治的难点部位^[1]. 河口水质评价是水环境规划、决策及治理的基础^[2]. 因

此, 对河口的水质进行评价具有重要的现实意义^[3]. 与传统的水质评价模型相比^[4-6], Elman 神经网络 (extreme learning machine, ELM) 克服了传统前馈神经网络算法训练速度慢、无法达到全局最小及对学习率

① 基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20126118110015)

收稿时间: 2014-06-30; 收到修改稿时间: 2014-08-20

的选择敏感等缺点, 具有学习速度快, 泛化性能好等优点, 在各领域得到了研究和应用^[7]. 韩建秋等^[8]构建了基于改进型 Elman 网络的污水处理过程关键水质参数智能模型, 仿真结果表明该模型用于污水处理系统的建模有良好的效果. 柴燕丽等^[9]利用 MATLAB 神经网络工具箱, 将人工神经网络引入水文预报中, 建立了淮河水域蚌埠段年径流量的 Elman 神经网络预测模型, 该模型具有较好的适应性和预报精度, 可为水资源评价和配置提供依据. 钱家忠等^[10]针对地下水化学特征, 以谢一煤矿为例, 分别建立了基于 Elman 网络与 BP 网络的突水判别模型, 结果表明, Elman 神经网络能够更好的反应地下水系统特性. 郑景华等^[11]将 RBF 与 Elman 神经网络应用于露天矿区地下水水质预测与评价中, 结果表明, RBF 与 Elman 预测模型均能很好的反映出地下水质的变化情况 & 水质污染状况.

本文根据汾河入黄口处的实际污染状况及因子选择的目的原则, 选择合适的评价因子, 采用 Elman 神经网络河口水质评价模型对河津大桥监测断面 2010 年各月的水质进行评价, 分析研究汾河入黄口处的水质污染状况, 为河口进一步治理提供参考数据及预警.

1 Elman神经网络水质评价模型

1.1 Elman神经网络的基本概念

Elman 神经网络是具有两层神经元的动态递归神经网络, 它是在 BP 网络基本结构的基础上, 通过储存内部状态使其具备映射动态特征的功能, 从而使系统具有适应事变特性的能力^[12]. Elman 神经网络的结构如图 1 所示.

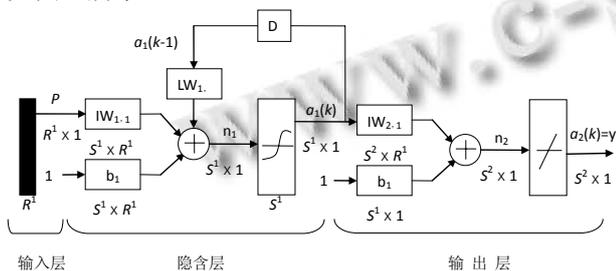


图 1 Elman 神经网络结构图

1.2 Elman神经网络的学习过程

Elman 神经网络包括输入层, 隐含层(中间层), 承接层和输出层, 以图 2(Elman 神经网络的模型^[13])为例的非线性状态空间表达式为:

$$x(k) = f(W^1 u(k-1) + W^3 x_c(k)) \quad (1)$$

$$x_c(k) = x(k-1) + \alpha \times x_c(k-1) \quad (2)$$

$$y(k) = g(W^2 x(k)) \quad (3)$$

Elman 神经网络的学习算法^[14]:

设第 k 步的实际输出为 $y_d(k)$, 则 Elman 网络的误差函数可用下式表述:

$$E(k) = \frac{1}{2} (y_d(k) - y(k))^T (y_d(k) - y(k)) \quad (4)$$

根据梯度下降法, 可推求得到 Elman 神经网络的学习算法, 如下:

$$\Delta w_{ij}^{l3} = \eta_3 \delta_i^0 x_j(k) \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\Delta w_{jq}^{l2} = \eta_2 \delta_j^q u_q(k-1) \quad (j=1, 2, \dots, n; q=1, 2, \dots, r) \quad (6)$$

$$\Delta w_{jl}^{l1} = \eta_1 \sum_{i=1}^m (\delta_i^0 w_{ij}^{l3}) \frac{\partial x_j(k)}{\partial w_{jl}^{l1}} \quad (j=1, 2, \dots, n; l=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$\delta_i^0 = (y_{d,i}(k) - y_i(k)) g_i'(\cdot) \quad (8)$$

$$\delta_j^h = \sum_{i=1}^m (\delta_i^0 w_{ij}^{h3}) f_j'(\cdot) \quad (9)$$

$$\frac{\partial x_j(k)}{\partial w_{jl}^{l1}} = f_j'(\cdot) x_l(k-1) + \alpha \frac{\partial x_j(k-1)}{\partial w_{jl}^{l1}} \quad (j=1, 2, \dots, n; l=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

其中, η_1, η_2, η_3 为 w^{l1}, w^{l2}, w^{l3} 的学习步长.

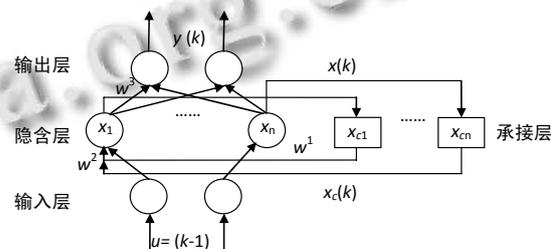


图 2 Elman 神经网络模型

1.3 Elman神经网络河口水质评价模型的构建

Elman 神经网络的河口水质评价模型的建立, 需要确定能够正确反映河流实际水质状况的评价因子作为水质特征的输入向量. 根据 Elman 神经网络模型的学习机理及较好的非线性分级能力, 对水质监测因子样本集进行水质评价. 基于 Elman 神经网络的河口水质评价流程如图 3 所示.

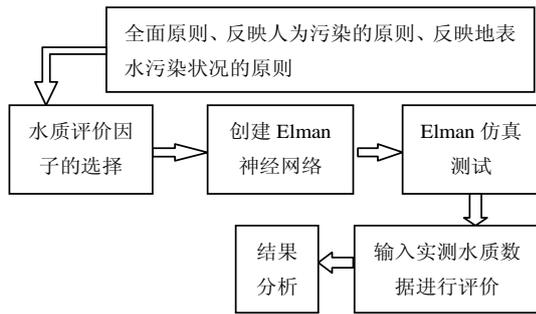


图 3 基于 Elman 神经网络模型的水质评价流程图

2 实例应用

汾河入黄口是具有滩地和浅槽的复式宽浅型河道(如图 4 所示),一方面,水流水质特征复杂,常形成河口滩,发生壅水、倒灌等会影响交汇处的水质,另一方面,由于沿程大量未经处理的工业废水及生活污水流入汾河,导致汾河入黄口及近岸水体污染严重,2010 年流域污染状况表明黄河水系汾河太原段、临汾段、运城段为重度污染.为了合理评价汾河入黄口处的水质的级别、污染程度,根据污染的实际情况以及《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002)^[15]定义劣 V 类水标准.其规定限值如表 1 所示.

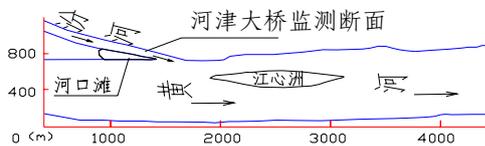


图 4 汾河入黄口及监测断面示意图

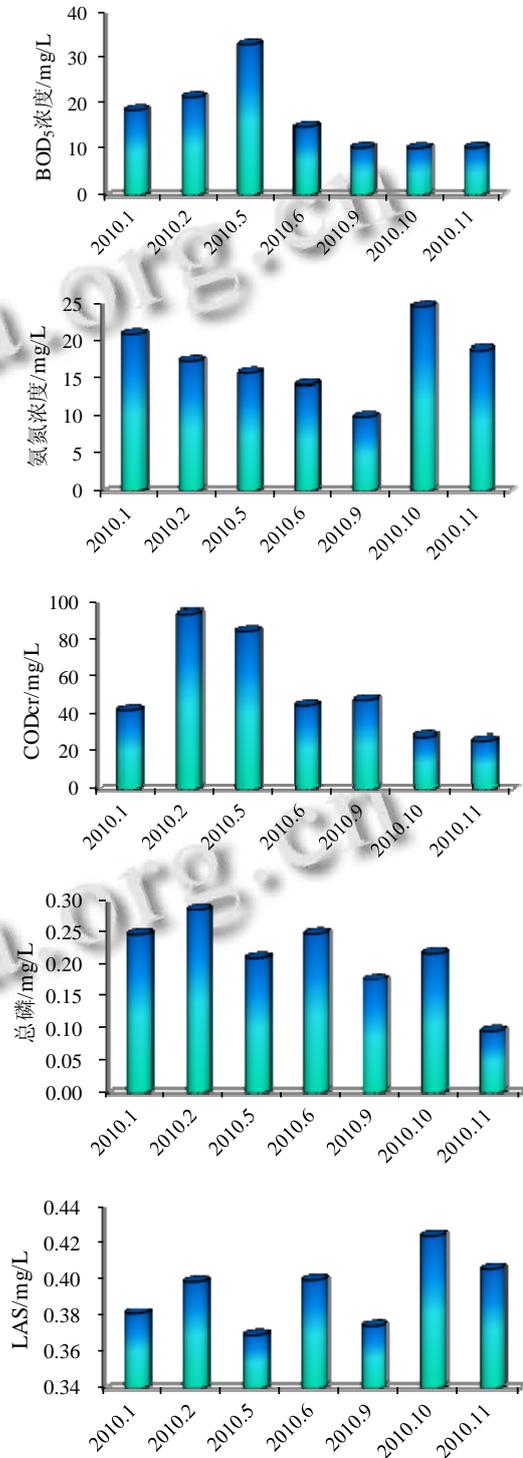
表 1 地表水环境质量标准 mg/L

级别	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类
COD _{Cr}	15	15	20	30	40	50
BOD ₅	3	3	4	6	10	15
氨氮	0.15	0.5	1	1.5	2	5
总氮	0.2	0.5	1	1.5	2	5
总磷	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
LAS	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4

2.1 评价因子的选择结果

按照因子选择的原则和方法^[16](参见文献 16),以所选因子的污染分摊率占所选 22 项污染因子污染分摊率的 85%为限计算出 2010 年河津大桥监测断的评

价因子分别为生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃-N)、化学需氧量(COD_{Cr})、总磷(TP)、总氮(TN)、阴离子表面活性剂(LAS). 2010 河津大桥监测断面各月水质浓度变化情况如图 5 所示.



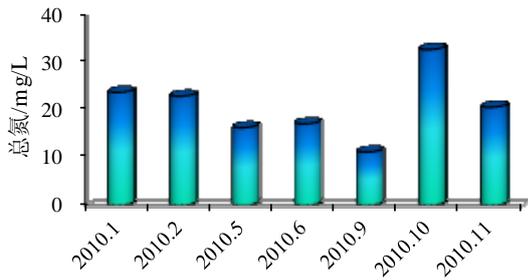


图 5 2010 河津大桥监测断面各月水质浓度变化情况

2.2 基于 Elman 神经网络的河口水质评价

在六级地表水环境质量标准内插形成 60 组数据, 随机选取其中 45 组数据作为训练样本, 15 组数据作为检测样本, 根据 Elman 神经网络输出的目标等级(如表 2 所示)及学习机理, 对网络进行训练、检测. 图 6、图 7 分别为 Elman 神经网络训练样本的训练过程及检测样本的拟合过程.

表 2 Elman 神经网络输出值的级别评价标准

水质级别	I	II	III	IV	V	劣 V
输出值	1	2	3	4	5	6

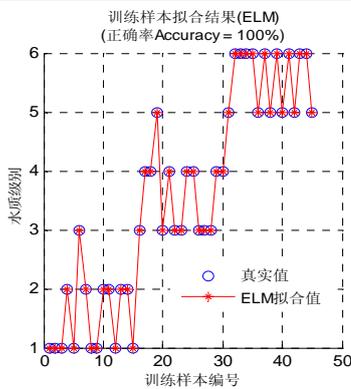


图 6 Elman 神经网络训练过程

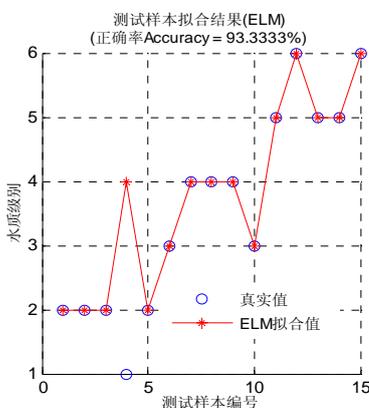


图 7 Elman 神经网络检测样本拟合过程

同时采用 BP 网络对训练集和测试集数据进行训练和检测, 通过计算训练集和测试集的正确率和运行时间, 对 Elman 的性能进行评价. 表 3 为 BP 网络与 Elman 网络结果对比.

表 3 结果对比表

网络名称	测试集正确率(%)	运行时间(s)
Elman 神经网络	93.33	0.12
BP 网络	86.67	0.22

运用训练好的网络对 2010 年河津大桥监测断面各月的水质进行评价, 参数 TYPE 设为 1; 参数 TF 设为 'Sig'、参数隐含层神经元个数取 20, 这是由于经过反复测算, 当隐含层神经元个数与训练集样本个数相等时, Elman 可以以零误差逼近所有训练样本, 但是, 并非隐含层神经元个数越多越好, 从测试集的预测正确率可以看出, 当隐含层神经元个数逐渐增加时, 测试集的预测率呈减少的趋势, 故需要进行折中选择. 水质评价结果如图 7 所示.



图 8 汾河入黄口河津大桥监测断面水质评价结果

由图 8 可知, 2010 年汾河入黄口河津大桥监测断面各月综合水质均为劣 V 类水. 分析汾河入黄口水质遭受污染的主要原因一方面是由于汾河沿岸排污口较多且排污量较大, 主要以城市污水、生活污水、缫丝、纺织、造纸等工业废水为主, 其中废水中含有的大量阴离子表面活性剂对水质造成较大的影响; 另一方面汾河的支流, 例如浍河, 由于偷排漏排现象严重, 其汇入汾河时水体已发黑发臭, 造成汾河水质进一步恶化, 由此可见, 从源头加强汾河污染物入河量的控制迫在眉睫.

3 结语

(1) 与 BP 网络相比, Elman 河口水质评价模型避

免了传统神经网络无法实时改变模型结构和缺乏对未来突变情况适应性、收敛速度慢、容易陷入局部极小的缺点,使得训练好的网络具有非线性和动态特性;同时, Elman 的预测正确率以及运行时间都优于 BP 网络,这表明 Elman 应用于分类及模式识别问题中具有较好的性能。

(2) 根据因子选择的原则及方法,以 85%为限计算出水质评价因子,并根据河口污染情况定义劣 V 类水标准,采用 Elman 神经网络模型对汾河入黄口水质进行评价,结果表明,河津大桥监测断面 2010 年各月综合水质均为劣 V 类水,河口污染治理迫在眉睫。

(3) Elman 神经网络具有学习速度快、泛化性能好、调节参数少等优点,水质识别实例表明 Elman 神经网络河口水质评价模型的可行性,评价结果切合实际,具有很好的实用性,可为河口进一步治理提供参考依据及预警。

参考文献

- 1 崔燕,张龙军,罗先香,等.小清河水质污染现状及富营养化评价.中国海洋大学学报,2013,43(2):60-66.
- 2 徐明德,卢建军,李春生.汾河太原城区段支流水质评价.中国给水排水,2010,26(2):105-108.
- 3 乔飞,孟伟,郑丙辉,等.长江流域污染物输出对河口水质的影响.环境科学研究,2012,25(10):1126-1132.
- 4 Karmakar S, Mujumdar PP. A two-phase grey fuzzy optimization approach for water quality management of a river system. Adv. Water Resour., 2007, 30(5): 1218-1235.
- 5 庞振凌,常红军,等.层次分析法对南水北调中线水源区的水质评价.生态学报,2008,28(4):1810-1819.
- 6 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究.同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):482-488.
- 7 阎平凡,张长水.神经网络与模拟进化计算.北京:清华大学出版社,2005.
- 8 韩建秋,乔俊飞.改进 Elman 网络的污水处理过程建模.计其机与应用化学,2011,28(7): 847-850.
- 9 柴燕丽,孟令建.基于神经网络的淮河流域年径流量预测模型.水资源与水工程学报,2009,20(1):58-61.
- 10 钱家忠,吕纯,赵卫东,等.Elman 与 BP 神经网络在矿井水源判别中的应用.系统工程理论与实践,2010,30(1):145-150.
- 11 郑景华,王李,刘志斌.RBF 与 Elman 在露天矿区地下水水质评价与预测中的应用.水资源与水工程学报, 2011,22(5):130-133.
- 12 Wen Y. Nonlinear system identification using discrete-time recurrent neural networks with stable learning algorithms. Information Sciences, 2004, 158(1): 131-147.
- 13 Guo RF, Huang GB, Lin QP, et al. Error minimized extreme learning machine with growth of hidden nodes and incremental learning. IEEE Trans. on Neural Networks, 2009, 20(8): 1352-1357.
- 14 史峰,王辉,郁磊,等.MATLAB 智能算法 30 个案例分析.北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- 15 GB 3838—2002.地表水环境质量标准.北京:中国环境科学出版社,2002.
- 16 罗海江,朱建平,蒋火华.我国河流水质评价污染因子选择方案探讨.中国环境监测,2002,18(4):51-55.