

基于自适应参数的 BP 神经网络架构的青岛近海环境监测及海洋灾害预警算法优化研究

谭晓楠

青岛黄海学院, 山东 青岛 266555

DOI: 10.61369/TACS.2026010012

摘 要 : 针对青岛近海环境监测数据复杂、灾害预警精度不足的问题, 本研究提出了一种基于自适应参数的 BP 神经网络优化算法。通过引入动态学习率与动量因子调整机制, 增强了网络对时序性海洋数据的拟合能力与收敛效率。将该模型应用于青岛近海水温、浊度及波浪高度等多源数据融合分析, 可对赤潮、风暴潮等典型海洋灾害进行早期预警。实验表明, 优化后的模型在预报准确率与稳定性方面都优于传统方法, 为区域性海洋环境管理提供可靠技术支持。

关 键 词 : BP 神经网络; 自适应参数; 海洋灾害预警; 青岛近海监测

Research on Optimization of BP Neural Network Architecture with Adaptive Parameters for Environmental Monitoring and Marine Disaster Early Warning in the Coastal Waters of Qingdao

Tan Xiaonan

Qingdao Huanghai University, Qingdao, Shandong 266555

Abstract : In response to the complexity of environmental monitoring data and the insufficient accuracy of disaster early warning in the coastal waters of Qingdao, this study proposes an optimized BP neural network algorithm with adaptive parameters. By introducing a dynamic learning rate and momentum factor adjustment mechanism, the network's fitting ability and convergence efficiency for time-series marine data are enhanced. This model is applied to the fusion analysis of multi-source data such as water temperature, turbidity, and wave height in the coastal waters of Qingdao, enabling early warning of typical marine disasters such as red tides and storm surges. Experiments show that the optimized model outperforms traditional methods in terms of prediction accuracy and stability, providing reliable technical support for regional marine environmental management.

Keywords : BP neural network; adaptive parameters; marine disaster early warning; environmental monitoring in the coastal waters of Qingdao

青岛近海生态系统复杂, 受人类活动与自然变化的影响, 赤潮、风暴潮等灾害频发, 对沿海经济与安全构成威胁。现有监测方法难以适应环境参数的动态变化, 导致预警误差比较高。^[1] 神经网络虽在环境预测中有所应用, 但其传统结构在训练效率与泛化能力上还有不足之处。为此, 本研究围绕 BP 神经网络的参数自适应机制改进, 通过建立动态调参策略, 提升对青岛近海多维度监测数据的解析能力。

一、青岛近海环境监测特征与挑战

青岛近海环境在自然禀赋与人类活动共同作用下, 形成了独特的复合型生态系统特征。从自然角度看, 半封闭的胶州湾地形导致水交换能力相对较弱, 使得污染物扩散与水体自净过程呈现特殊的规律。沿岸流系统与季节性的黄海冷水团在此交汇, 造成水温、盐度在水平与垂直分布上存在显著的时空异质性。^[2] 这种异质性在短时间尺度内, 如一次潮汐周期或一场降雨过后, 关键环境参数会发生剧烈波动。同时, 全国闻名的海水养殖业都集中于胶州湾、鳌山湾等海域, 养殖过程中产生的残饵、排泄物等带来了持续的陆源营养盐输入。青岛港作为世界级的综合性港口, 繁忙的航运活动伴随着船舶排放、压载水交换等过程, 引入了额外

的环境扰动因子。^[3]

尽管青岛已建立了由岸基观测站、海洋浮标、志愿观测船及卫星遥感组成的立体监测网络, 积累了海量的多源数据, 但在将这些数据转化为精准的预警信息时, 依然面临以下几个挑战:

- 数据多源异构: 监测数据来源于卫星遥感、岸边站点、浮标阵列等, 格式、精度与采集频率不一样, 融合难度比较大。^[4]
 - 时序非线性强: 海洋环境参数变化不是简单的线性, 如赤潮发生前常出现营养盐与叶绿素的协同波动, 传统统计模型难以摸清其中的动态规律。
 - 预警响应不及时: 大多数预警模型还是以历史均值阈值为主, 对突发性、渐进性灾害的敏感度不足, 无法满足实时决策需求。
- 总之, 这些特点要求预警算法不仅需具备强大的非线性拟合

能力，还应能适应数据流的动态变化，从而为后续神经网络优化指明方向。

二、传统 BP 神经网络在海洋预警中的局限性

尽管 BP 神经网络在理论上具备逼近任意非线性函数的能力，并被引入海洋环境预测领域，但将其直接应用在青岛近海的复杂场景时，在结构上的缺陷会逐渐暴露出来，难以满足实际业务对精度与时效性的要求。

（1）参数更新机制僵化

传统 BP 网络的训练算法依赖于预先设定且固定不变的学习率与动量因子。这一设定在面对青岛近海高度动态的环境数据流时显得尤为笨拙。^[6]例如，夏季台风过境前后，水文气象参数会在短时间内发生剧烈变化，此时模型需要快速调整权重以捕捉突变特征；而在冬季相对稳定的海况期间，则需要仔细的调参以避免震荡。固定的参数更新步长无法适应这种变化，常常导致训练过程要么在平坦的误差曲面区域进展缓慢，延误模型更新；要么在复杂区域剧烈震荡，甚至无法跳出，直接影响了模型的训练效率和最终收敛状态，使得预报的时效性与可靠性受到限制。

（2）对时序特征捕捉不足

海洋灾害的发生本质上是时序过程累积的结果，但以往的 BP 网络的标准结构缺乏对时间维度的显式建模能力。它将不同时间点的观测数据简单地看作是独立的特征向量输入，破坏了数据点之间内在的先后关联与因果联系。^[6]以赤潮预警为例，其发生主要看营养盐持续输入、适宜的水温维持足够长时间以及藻种特定的增长周期等一系列依时间展开的事件链。以往的网络无法学习这种“序列模式”，它可能识别出某个时刻的高叶绿素浓度，却无法判断这是持续增长的趋势还是偶然的峰值，导致对灾害的孕育阶段不敏感，只能进行近乎实时的“状态报告”。

（3）过拟合与泛化能力弱

青岛近海的实测数据可能包含仪器噪声、传输误差以及偶然的异常值。传统 BP 网络，特别是当隐层节点较多时，在训练中为了最小化训练集误差，往往会连同这些噪声一并“记忆”下来，导致过拟合。其结果就是模型在训练集上表现优异，但一旦应用于新的、未见过的验证数据或实际业务数据时，性能便显著下降，出现“虚警”或“漏报”。这一问题在海洋灾害预警中比较严峻，因为历史数据中真正的灾害事件样本往往非常稀少，数据分布不均衡。网络更容易被大量正常状态的数据所主导，而对稀少但关键的灾害前兆模式学习不足，在真实复杂环境中的能力薄弱，预警结果的稳定性与可信度难以保证。^[7]

三、自适应参数 BP 神经网络的设计与优化

为克服上述局限，本研究建立了一种参数可动态调整的 BP 神经网络模型。根据训练过程中的误差梯度变化，自动调节学习率与动量因子，并引入时序特征提取结构，增强对海洋数据动态规律预测能力。

（1）自适应学习率与动量机制

针对固定参数导致的收敛效率问题，本设计引入了一种基于梯度历史的自适应调整策略。其中，学习率 η 不再是一个常数，而是定义为关于最近数次迭代中误差变化率的函数： $\eta(t) = f(|\Delta E|)$ 。当误差下降迅速时（ $|\Delta E|$ 较大），表明当前处于误差曲面的陡峭区域，系统自动增大 $\eta(t)$ ，以加快收敛速度；当误差变化平缓或震荡时（ $|\Delta E|$ 较小），则减小 $\eta(t)$ ，进行精细搜索，防止在最优解附近振荡。动量因子 α 也进行了动态化处理，其值根据当前权重更新方向与历史平均方向的一致性进行调整。若方向持续一致，则适当增加动量以加速穿越平坦区；如果方向发生频繁反转，则减小动量以避免震荡，让网络在面对青岛近海季节性数据差异或突发天气事件引起的输入分布变化时，能够始终保持稳健且高效的训练动态。^[8]

（2）时序特征融合输入层

本研究设计了一个可调的滑动时间窗口，将某一预测时刻前连续 T 个时间步（如 $T=72$ ，代表过去三天每小时数据）的所有监测参数，共同建立为一个三维输入张量，使网络在训练中必须同时考虑多个变量的历史序列信息。

在数据送入网络之前，增设了一个特征工程模块。该模块对每个时序序列进行快速傅里叶变换分析，自动提取出其中显著的周期分量如全日潮、半日潮周期、日变化周期等，并将这些周期特征的幅度和相位作为额外的输入节点。^[9]这样，网络不仅能看到参数的“数值”，还能感受到其中的周期性规律，增强了对昼夜温差导致的水体层化等具有固有周期规律的海洋过程的理解与预测能力。

（3）正则化与早停策略

为提升模型在噪声环境下的泛化性能并抑制过拟合，在传统的均方误差损失函数基础上，增加了 L2 正则化项（权重衰减项），即新的损失函数为 $L = \text{MSE} + \lambda \sum ||w||^2$ 。其中 λ 为正则化系数。该项通过对网络所有权重值的平方和进行惩罚，倾向于让模型学习到更小、更分散的权重，从而约束模型的复杂度。在训练流程层面，实施了严格的基于验证集的早停对策。每完成一个训练周期（epoch），立即在独立的验证集上评估性能。监控验证集误差的变化，一旦其连续预设的轮次（如 10 轮）不再下降甚至开始上升，则立即终止训练，并回滚到验证集误差最低时对应的模型权重状态。确保了最终获得的模型是泛化能力最优的版本，在实际预警中表现出更高的稳定性与可靠性。

四、在青岛近海监测中的仿真与应用分析

研究基于青岛近海真实的业务化监测数据构建了仿真实验环境。数据集整合了山东省海洋监测网在胶州湾、崂山湾及邻近开阔水域布设的多个浮标与岸基站点于 2020 年 1 月至 2023 年 12 月期间的连续观测资料。选取了与赤潮、风暴潮关联紧密的 11 个核心参数，包括水温、盐度、溶解氧、pH、叶绿素 a 浓度、浊度、有效波高、波向、风速、风向及气压，时间分辨率为 1 小时，经严格质控后形成逾 3.2 万条有效时序记录。按照时间顺序，将前

80%（约2020.01–2022.10）的数据用于模型训练与验证，后20%（2022.11–2023.12）的独立数据作为测试集，以模拟对未来事件的预测能力。

（一）模型训练与收敛表现分析

在相同的硬件与初始条件下，传统模型采用经验设定的固定学习率（0.01）和动量因子（0.9），其训练损失曲线在前100轮迭代后下降明显放缓，且在整个训练周期中出现多次小幅回升，显示出收敛过程的振荡与停滞。相比之下，自适应模型通过动态调整机制，其训练损失在初期下降更为迅速，仅用约传统模型60%的迭代轮次便达到了相近的损失水平，整体收敛速度提升了约40%。而且其损失曲线平滑稳定，没有出现异常波动。当输入数据中出现如2021年“烟花”台风过境期间的参数剧变时段时，自适应模型能通过自动增大学习率快速调整权重，在后续时间步中迅速适应新的数据分布，而传统模型则表现出明显的预测误差滞后。这证明了动态调参机制提升了模型在非平稳时序数据环境下的学习效率。

（二）关键海洋灾害预警精度验证

传统BP模型的预测平均绝对误差为0.26 μg/L，且在浓度快速攀升阶段常出现低估。自适应优化模型将此误差降低至0.18 μg/L，精度提升31%。而且优化模型对两次实际发生的赤潮过程（2023年7月、2023年9月）均成功实现了提前12–18小时的预警，命中率达100%，而传统模型漏报一次早期增殖阶段。对于风暴潮，以实测潮位（经校正）超过蓝色警戒标准为预警目标，重点关注有效波高的序列预测。

基于时序窗口输入的优化模型，能够更准确地预测波高的增长趋势，将有效预警提前量从传统模型的平均3–4小时，稳定延

长至5–7小时。同时，在2022年冬季季风期，优化模型将因局地阵风引起的短期波高波动误判为风暴潮的“虚报”次数减少了约25%。

（三）原型系统集成与实际适用性探讨

本研究开发了一个集成的近海环境监测预警原型系统，它采用微服务架构，将优化后的自适应BP神经网络模型封装为独立的数据处理与分析引擎。系统实现了与模拟数据流的自动对接，每10分钟接收一次来自消息队列的最新多源监测数据，并驱动模型完成滚动预测，结果实时存入数据库。

前端基于Web的可视化驾驶舱，通过ECharts图表动态展示关键参数的时序曲线、模型预测轨迹及预警等级空间分布图。业务人员可通过该界面直观掌握灾害风险态势，进行快速研判。^[10]仿真运行表明，从数据注入到风险可视化输出的全过程延迟可控制在1分钟以内，满足近实时预警的响应需求。尽管实际业务部署尚需应对真实传感器网络的通信稳定性、数据缺值异常处理等工程挑战，但本次仿真从算法核心、处理流程到系统交互层面，完整验证了所提优化架构的可行性。

五、结论

本研究针对青岛近海环境监测与灾害预警的实际需求，对传统BP神经网络进行了参数自适应优化。通过建立动态学习率与动量调整机制、融合时序特征输入及引入正则化策略，提升了模型的数据拟合能力与预警精度。仿真实验表明，优化后的算法在赤潮、风暴潮等典型海洋灾害的预测中，表现出更高的准确率与稳定性。

参考文献

[1] 张梦茹. BP神经网络在换热站自动控制系统中的应用研究 [D]. 河北建筑工程学院, 2023.
[2] 唐宇, 黄海龙, 娄玲玉, 等. 误差逆传播的调和釜温度自适应调控技术研究 [J]. 机械设计与制造, 2025(11): 173–177.
[3] 曹卫东, 倪建军, 姜博严. 支持大数据的参数自适应支持向量回归方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(2): 511–521.
[4] 吕旭阳. 基于神经网络的高精度量子光源温控系统及控温算法研究 [D]. 山西: 山西大学, 2024.
[5] 陈一. 深度Spiking神经网络模型及其算法研究 [D]. 四川: 电子科技大学, 2023.
[6] 陈佳丽. 基于神经网络的轴流压气机失速预警研究 [D]. 江西: 江西理工大学, 2022.
[7] 李宗萱. 波浪滑翔器自适应航向控制研究 [D]. 青岛科技大学, 2022.
[8] 刘子华, 尤中义, 刘玖芬, 等. 基于BP神经网络模型的黄海水体叶绿素a质量浓度反演 [J]. 现代地质, 2025, 39(2): 420–428.
[9] 郑斌. 基于卷积神经网络融合扩展卡尔曼滤波的拖缆姿态解算算法研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2022.
[10] 黄子豪. 水声信号调制方式智能识别方法研究 [D]. 山东: 青岛科技大学, 2022.